



МИНИСТЕРСТВО ПО
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



АГЕНТСТВО ПО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ
СИНЬЦЗЯН-УЙГУРСКОГО
АВТОНОМНОГО РАЙОНА



НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ



АДМИНИСТРАЦИЯ ПО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ КИТАЙСКОЙ
НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

XI ҚАЗАҚСТАН-ҚЫТАЙ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ СИМПОЗИУМЫ
«ОРТА АЗИЯ АЙМАҒЫ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ПЕН
ҚАТЕРДІ БАҒАЛАУ, ЖЕР СІЛКІНІСІН БОЛЖАУ»

XI КАЗАХСТАНСКО-КИТАЙСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ»

XI KAZAKHSTAN-CHINESE INTERNATIONAL SYMPOSIUM
«EARTHQUAKE FORECAST, SEISMIC HAZARD AND SEISMIC RISK
ASSESSMENT IN CENTRAL ASIA»



26-28 September
ALMATY-2023

МИНИСТЕРСТВО ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АГЕНТСТВО ПО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ
СИНЬЦЗЯН-УЙГУРСКОГО АВТОНОМНОГО РАЙОНА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ
РЕСПУБЛИКИ

ХІ ҚАЗАҚСТАН ҚЫТАЙ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ СИМПОЗИУМЫ
*«Орта Азия аймағы бойынша сейсмикалық қауіпсіздік
пен қатерді бағалау, жер сілкінісін болжау»*

ХІ КАЗАХСТАНСКО-КИТАЙСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
*«Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности
и сейсмического риска в Центральной Азии»*

ХІ KAZAKHSTAN-CHINESE INTERNATIONAL SYMPOSIUM
«Earthquake forecast, seismic hazard and seismic risk assessment in Central Asia»

26.09.2023 - 28.09.2023

Организаторы:

Министерство по Чрезвычайным Ситуациям Республики Казахстан,
Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований

Алматы – 2023

УДК 550.34
ББК 26.21
К14

«ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ»; Алматы 2023. 546с.-рус.,англ.

Сборник содержит научные статьи из материалов XI Казахстанско-Китайского международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии», состоящегося 26-28 сентября 2023г в городе Алматы Республики Казахстан. Он предназначен для специалистов, занимающиеся вопросами сейсмологии, оценкой сейсмической опасности, риска и уменьшение ущерба от землетрясений. Особый раздел посвящен современным проблемам прогнозирования сильных землетрясений.

Редакционная комиссия

Председатель комиссии: д.г.-м.н. академик А.У. Абдуллаев;

д.ф.-м.н. Г.Я. Хачикян;

к.ф.-м.н. Н.Б. Узбеков

к.г.-м.н. PhD, Е.Ж. Есенжигитова

к.ф.-м.н. О.М. Белослудцев

секретарь редкомиссии:

С.Б. Жанабаева

С.Б. Алмаханова

А.Е. Уркембаева

"EARTHQUAKE FORECAST, SEISMIC HAZARD ASSESSMENT, AND SEISMIC RISK IN CENTRAL ASIA"; Almaty 2023. 546p., rus, eng.

The collection contains scientific articles from the materials of the 11th Kazakhstan-China International Symposium "Earthquake Forecast, Seismic Hazard Assessment, and Seismic Risk in Central Asia," held on September 26-28, 2023, in Almaty, Republic of Kazakhstan. It is intended for specialists involved in seismology, seismic hazard assessment, risk assessment, and earthquake damage reduction. A special section is dedicated to contemporary issues in predicting strong earthquakes.

Editorial Board

Chairman of the Board: Dr. Sci. Academician A.U. Abdullayev;

Dr. Sci. G.Ya. Khachikyan;

Ph.D. N.B. Uzbekov;

Ph.D., E.Zh. Esenzhigitova;

Ph.D. O.M. Belosludtsev

secretary of the Editorial Board:

S.B. Zhanabaeva

S.B. Almakhanova

A.E. Urkembraeva

ISBN 978-9965-9611-9-9

© «Institute of Seismology» LLP 2023

©ТОО «Институт сейсмологии» 2023

ISBN 978-9965-9611-9-9



СОДЕРЖАНИЕ

1	ПРЕДИСЛОВИЕ	12
2	Приветственное слово директора ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК Д.А. Сарсенбаева	13

СЕКЦИЯ 1		
ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ СЕЙСМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ		
1	<i>Aisa-Yisimayili, Chieh-Hung Chen, Zhiqiang Mao</i> SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF CONDUCTIVITY ANOMALIES BEFORE MS>6 EARTHQUAKES IN THE NORTH-SOUTH SEISMIC BELT OF CHINA DURING 2014 – 2019	15
2	<i>Ailixiati Yushan, Liu Daiqin, Abudutayier Yasen, ChenLi, ZhaoLei, Li Rui, LiJie, Li Bingye</i> ANOMALY ANALYSIS AND SOURCE RESOLUTION EXPERIMENT OF TIME-VARYING GRAVITY FIELD IN NORTHERN TIANSHAN	16
3	<i>Fang Lihua, Liao Shirong,</i> DEVELOPMENT OF A REAL-TIME INTELLIGENT SEISMIC PROCESSING SYSTEM AND ITS APPLICATION IN REGIONAL SEISMIC NETWORKS IN CHINA	17
4	<i>Fang Wei, Zhao Lei, Ding Yu</i> «CHARACTERISTICS OF RECENT VERTICAL DEFORMATION RATES AND DEFORMATION ACCUMULATION RATES IN THE NORTHERN TIANSHANREGION»	18
5	<i>Gao Mi, Li Dahu,</i> «THE VELOCITY STRUCTURE AND DEEP DYNAMIC MECHANISM OF THE PANZHIHUA-XICHANG RIFT ZONE ON THE SOUTHEASTERN MARGIN OF THE TIBETAN PLATEAU»	19
6	<i>Chen Huang, Abdelghani Meslem, Håkan Bolin, Vetle Refsum, Tina Kaschwich, Alberto Vezzoso, Bernd Weber, Davide Curone, Johannes Schweitzer, Volker Oye</i> THE TURNKEY SCIENTIFIC ENGINE, AN ADVANCED TOOL FOR EARTHQUAKE DISASTER MANAGEMENT	21
7	<i>Jia Donghui^{1*}; Yu Huaizhong; Zhao Binbin</i> THE ABNORMAL EVOLUTION OF THE GEOPHYSICAL FIELD IN THE SUB-INSTABILITY STAGE BEFORE THE JIASHIM_{5.4} EARTHQUAKE IN 2020	28
8	<i>Jia Yong-Bin, Huang Jian-ming, Wang Cheng-guo, Li Xin-yong, Li Si-yan, Wang Bin</i> COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY ON WATER RADON OBSERVING INSTRUMENTS: TAKING SHUIMOGOU 15 SPRING IN XINJIANG AS AN EXAMPLE	29
9	<i>Jiang Ningbo, Li Dahu,</i> A HIGH-RESOLUTION 3-D P-WAVE VELOCITY MODEL OF THE UPPER MANTLE, UNDERNEATH THE EASTERN MARGIN OF THE TIBETAN PLATEAU	31
10	<i>Li Guirong Li Jie, Li Rui, Sulitan Yusan</i> PRE-EARTHQUAKE HAZARD FACTOR CHANGES before the 2023 FEBRUARY 23rd TAJIKISTAN M_s7.2 EARTHQUAKE	33
11	<i>Li Jie, Li Rui, Sulitan-Yusan Sun, Xiaoxu, Ailixiati-Yushan, Yao Yuan, Wang Xiaoqiang, Li Guirong, Liu Daiqin</i> THE DEFORMATION CHARACTERISTICS RESEARCH ON KEPINGTAGEFOLD AND THRUST BELT IN SOUTHERN	35

	TIANSHAN FROM GPS OBSERVATIONS	
12	<i>Jin Li, Haikun Jiang, Qiong Wang</i> CRUSTAL ATTENUATION STRUCTURE OF THE TIANSHAN TECTONIC BELT AND ITS SPATIOTEMPORAL VARIATIONS	37
13	<i>LI Si-yan, WANG Xiao-fei, Li Gui-rong, FENG Wei, Abudutayier-Yasen</i> USING HILBERT-HUANG TRANSFORM AND TIME-DOMAIN LINEAR CORRELATION TO ANALYZE THE MICRO-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PRE-EARTHQUAKE DISPLACEMENT BASED ON GNSS DATA IN XINJIANG	41
14	<i>Yueshuai LiMingshuai Tang, Yunyun Wei;</i> ANALYSIS OF CRUSTAL STRUCTURE BELOW THE SOUTHWEST TIANSHAN BASIN RANGE JOINT PROFILE USING RECEIVER FUNCTION CCP METHOD	42
15	<i>Daiqin Liu, Zhenyu Wang, Guangyu Fu, Xiaofeng Liang, Yuan Yao ,Yan Hu, Jie Li</i> STUDY ON CRUSTAL DENSITY STRUCTURE AND FLEXURE MECHANISM IN TARIM BASIN	43
16	<i>LIU Jianming, YU Huaizhong, Wang Qiong, Li Jin, Gao Ge, Wu Guodong</i> SEISMOGENIC STRUCTURE AND RUPTURE PROCESS OF THE 2016 $M_s6.7$ AKTO XINJIANG CHINA EARTHQUAKE	44
17	<i>MA Rui, LI Ya-fang, CHEN Xiang-jun, ZHU Xiang-guo</i> IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATIC INSPECTION PLATFORM OF INFORMATION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE XINJIANG EARTHQUAKE INFORMATION NETWORK	50
18	<i>Niu Anfu ,Yan Wei, Zhao Jing, Yuan Zhengyi,</i> RESEARCH AND APPLICATION TEST OF SHORT-TERM EARTHQUAKE PREDICTION METHOD	53
19	<i>Ran Huimin, Gong Gubin, Li Wenqian,</i> PRELIMINARY STUDY ON THE SEISMOGENIC STRUCTURE OF THE KUCHEM$s4.7$ EARTHQUAKE	53
20	<i>Song Chunyan, Niexiaohong,</i> SEISMIC CHARACTERISTICS IN THE META-INSTABILITY STAGE OF THE 2020JIASHI, XINJIANG 6.4 EARTHQUAKE	62
21	<i>Jinbo Su,</i> USING LARGE VOLUME AIR-GUN SOURCE TO CORRECT THE TIME SERVICE OF SOME STATIONS IN XINJIANG SEISMIC NETWORK	63
22	<i>TANG Mingshuai, CHEN Yuxin, LI Yanyong, WEI Yunyun, CAO Changjun</i> STUDY ON S WAVE CRUSTAL VELOCITY STRUCTURE IN MIDDLE TIANSHAN AND ITS ADJACENT AREAS BASED ON AMBIENT NOISE SURFACE WAVE DIRECT INVERSION METHOD	64
23	<i>Hongwei Wang, and Ruizhi Wen</i> ATTENUATION CHARACTERISTIC AND SIMULATION OF GROUND MOTIONS FOR THE $M_w7.8$ TÜRKIYE EARTHQUAKE ON 6 FEBRUARY 2023	65
24	<i>YAN Xin-yi</i> QUALITY ANALYSIS OF EARLY WARNING RESULTS IN THE MIDDLE PART OF XINJIANG TIANSHAN MOUNTAINS	69
25	<i>ZHAI Shilong, HUANG Jing, LEI, Qing, MAIMAITIMIN, Tuergong, AISA Ismaili</i> CONSISTENCY ANALYSIS OF THE MONTH BY MONTH VARIATION BETWEEN CGGM GLOBAL GEOMAGNETIC FIELD MODEL AND THE STATION MAIN MAGNETIC FIELD	70
26	<i>Zhang Anhe, AisaYisimayili,</i> STUDY OF THERMAL INFRARED ANOMALIES OF SHAYA $M_s6.1$	71

	AND TAJIKISTAN M_s7.2 IN 2023	
27	<i>ZHANG Zhibin,</i> FOCAL MECHANISM SOLUTION AND TECTONIC STRESS FIELD CHARACTERISTICS OF THE MIDDLE TIENSHAN MOUNTAINS, XINJIANG	74
28	<i>Zhao Lei, Fang Wei, Aldak Kadelbek, Li Bingye,</i> PRECURSORY DEFORMATION ANOMALIES OF NORTH TIENSHAN MODERATE EARTHQUAKES AND CHARACTERISTICS OF POST-EARTHQUAKE VARIATION	77
29	<i>Xiaocheng Zhao</i> THE APPLICATION OF ISPAQ IN SEISMIC DATA QUALITY CONTROL OF EARTHQUAKE EARLY WARNING(EEW) PROJECT IN XINJIANG	79
30	<i>ZHUO Ruiqi, ZHANG Suxiang, WANG Bin, GUAN Dongxiao, ZHU Xiangguo, ZHANG Jiasheng</i> ON SEPTEMBER 8, 2017, THE M_w8.2 MAGNITUDE EARTHQUAKE IN MEXICO TRIGGERED THE SUBSEQUENT AFTERSHOCK	81
31	<i>Баталева Е.А.,</i> СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ	85
32	<i>Kamchybekov M.P., Yegemberdiyeva K.A., Murataliev N.M., Kamchybekov Y.P.</i> STRONG EARTHQUAKES IN AREAS ADJACENT TO BATKEN CITY, KYRGYZSTAN	90
33	<i>Khachikyan G. Ya.,</i> SOLAR ACTIVITY, GLOBAL AND REGIONAL SEISMICITY, (overview and possible perspectives)	95
34	<i>Vladimir Kossobokov and Anastasiya Nekrasova</i> THE DEADLY 06 FEBRUARY 2023 EARTHQUAKES: AN UNEXPECTED SURPRISE?	102
35	<i>Victor Novikov,</i> POSSIBLE INTERRELATION OF SPACE WEATHER AND SEISMIC ACTIVITY: AN IMPLICATION FOR SHORT-TERM EARTHQUAKE PREDICTION	107
36	<i>Рыбин А.К., Баталева Е.А., Непейна К.С.,</i> ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ (ТЯНЬ-ШАНЬ)	112
37	<i>Н.Т. Тарасов</i> ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ $M_s > 7$	118
38	<i>К.Н.Абдуллабеков, М.Ю.Муминов, М.З.Мирзоидов</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАНГА СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	124
39	<i>Абдуллаев А.У., Усупаев Ш.Э.</i> «ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОД ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ»	129
40	<i>Арифулова И.И., Суровцева Н.В., Нью В.А., Диханбаев А.Н.</i> СЕЙСМОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ: ВИДЫ НАБЛЮДЕНИЙ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА	141

41	<i>Багманова Н.Х., Миркин Е.Л.,</i> ОБЛАСТИ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	147
42	<i>Досайбекова С. К., Далебаева Ж. А., Досымбекова Ж. Б., Жунусова Ж.К.,</i> АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ СЕТЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА	150
43	<i>В.А. Зейгарник, В.Н. Ключкин, В.И. Окунев,</i> ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	155
44	<i>Р.С. Ибрагимов, Т.Л. Ибрагимова, М.А. Мирзаев,</i> ДОЛГОСРОЧНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 22.03.2023, M=6.0	160
45	<i>Кендирбаева Дж. Ж,</i> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ЭФФЕКТЫ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА	165
46	<i>Керамова Р.А., Кудрявцева Е.Н., Гулиева Ш.О., Керамова А.А.,</i> ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АЗЕРБАЙДЖАНА	170
47	<i>Колумбетова К.К., Амиров Н.Б. ТОО</i> СВЯЗЬ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ РАЗНОСТЕЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПУНКТОВ GPS ИЗМЕРЕНИЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУТОК	176
48	<i>Кудабаева А.Д.</i> ГИС В СЕЙСМОЛОГИИ	179
49	<i>Курскеев А.К.</i> НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	184
50	<i>Лютикова В.С., Литовченко И.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП АКТИВИЗАЦИИ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ	187
51	<i>Миркин Е.Л., Фролова А.Г., Багманова Н.Х.,</i> МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ	189
52	<i>Макки Кевин, Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С</i> РЕЗУЛЬТАТЫ КАЗАХСТАНСКО-АМЕРИКАНСКОГО ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 2021-2022Г.Г. В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ УСЛОВИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ	199
53	<i>Муралиев А.М.,</i> «МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИХ РАЗВИТИЕ»	205
54	<i>Нурматов У.А., Юсупджанова У.А.,</i> «РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ»	209
55	<i>Омуралиев М., Омуралиева А.,</i> «ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ: ВРЕМЯ, СИЛА, МЕСТО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТУРЦИИ MW7.8, 06.02.2023 НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА»	214
56	<i>Омуралиева А.,</i>	219

	«ЛОКАЛЬНАЯ СКОРОСТНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ»	
57	<i>Полешико Н.Н., Бектурганова Б. Б., Мырзагазиева Г.М.</i> «ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ»	223
58	<i>Семенов А.Е., Семенов М.Е., Надёжка Л.И., Ефременко М.А., Пивоваров С.П., Золототрубова Э.И., Иванков О.Е.</i> «ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ» (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)	226
59	<i>Сайлаубаева З.А., Катубаева А.М.,</i> «СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И КАРТЫ ИЗОСЕЙСТ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА»	232
60	<i>Серазетдинова Б.З., Мыркасимова А.С., Суровцева Н.В.,</i> «ВАРИАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВОЛНИСТЫХ ПОПУТАЙЧИКОВ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ Г. АЛМАТЫ»	236
61	<i>Г.Х. Даурбаева, А.О. Сылкканова,</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЖАМБЫЛ	241
62	<i>Усупаев Ш.Э., Туркбаев П.Б.,</i> НООСФЕРНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОНОМИЯ УДАРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ ЗЕМЛИ И СЕЙСМОСФЕРА В ЕДИНОЙ ТЕОРИЯ ПАЛЕОПРОЧНОСТИ МИРОЗДАНИЯ	245
63	<i>Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И.,</i> НАИВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ	254
64	<i>Токтосопиев А.М., Гребенникова В.В.,</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛОМОВ СДВ – ЗОНДИРОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ	259
65	<i>Усупаев Ш.Э.,</i> КАТАСТРОФОВЕДЕНИЕ: УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШКАЛА И КАРТЫ СЕЙСМОГЕОНОМИИ В ТИПИЗАЦИИ «УЯЗВИМОСТИ- РИСКА-ОПАСНОСТИ-ТРЕВОГИ» НА ЗЕМЛЕ	265
66	<i>Фремд А.Г., Гаипова А.Б., Талгарбаева Д.Н.,</i> СОЗДАНИЕ КАРТ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СЕЙСМООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА ЦМР SRTM (на примере Северо-Тянь-Шаньского региона)	273
67	<i>Хайдаров М.С.,</i> ТОО «Казахмониторинг», - ДУПЛЕТ РАЗЛОМОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АНАТОЛИЙСКОЙ ПЛИТЫ	283
68 9	<i>Юсупов В. Р.,</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В КАЧЕСТВЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	288
69	<i>Nekrasova, V. Kossobokov, I. Tsvetkov</i> ACTIVE FAULT SYSTEMS AND EARTHQUAKE EPICENTERS	296
70	<i>Жетписбай А.Н., Шманов А.А., Бұдырышев Д.К.,</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	301
71	<i>Гашимов Р. А., Шиман Д. В., Ескендиоров Д. А.,</i> КОМПЛЕКСНЫЕ ПОЛЕВЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ	306

	ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	
72	<i>Жунусова А.Ж., Гашимов Р.А., Ескендиоров Д.А.</i> АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ УСТАНОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ	309
73	<i>Калинин В.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА АЛМАТИНСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ	314
74	<i>Lukianova P., Siylkanova A., Daurbaeva G.</i> VARIATIONS IN IONOSPHERIC ELECTRON DENSITY AND TROPOSPHERIC AEROSOL DURING THE NOVEMBER 14, 2014 KALJISAI EARTHQUAKE: CONJUGATED OBSERVATIONS OF THE SWARM AND SUOMI NPP SATELLITES	317
75	<i>Kanatbek Abdrakhmatov, Christoph Grutzner, Aidyn Mukambayev, Richard Walker, Roberta Wilkinson,</i> EARTHQUAKE HAZARD AND RISK IN THE ALMATY REGION: USING THE PAST TO INFORM THE FUTURE	323
76	<i>Акжалов Ж.Б., Аширов Б.М.</i> ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПЯТИ СЕЙМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ КАЗАХСТАНА	327
77	<i>М.С. Ельдеева, К.Е. Абдрахматов,</i> КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЧНЫХ ТЕРРАС ТЯНЬ-ШАНЯ И ДЖУНГАРСКОГО АЛАТАУ КАК ОСНОВА ДЛЯ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ	335
78	<i>Виляев А.В.</i> ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ GPS СТАНЦИЙ НА ОЦЕНКУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ	339
79	<i>Белослюдцев О. М., Виляев А.В., Бахарева Л.Т.</i> КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДАННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	345
80	<i>Садькова А.Б., Абдуллаев А.У, Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В АЛМАТИНСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ	355
<u>СЕКЦИЯ 2</u>		
ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ		
1	<i>LI Shuai,</i> ANALYSIS ON THE CAUSE OF LANDSLIDE ON THE WEST BANK OF KALASU RIVER IN ZHAOSU	362
2	<i>Xinjian Shan, Jiao Liu, Yingfeng Zhang, Wenyu Gong, Tao Li</i> REVIEW OF GEODESY IN EARTHQUAKE RESEARCH OF CENTRAL ASIA AND TIAN SHAN, OPPORTUNITY AND CHALLENGE	364
3	<i>Song Lijun, Shen Jun, Tang Lihua, Hu Weihua, Luna, Nie Xiaohong</i> THE MAGNITUDE 6.1 EARTHQUAKE AT THE BORDER BETWEEN CHINA AND KAZAKHSTAN ON DECEMBER 1, 2003 AND ITS SEISMIC DAMAGE CHARACTERISTICS.	366
4	<i>Yuan Yao, Jie Chen, Tao Li, Ning Di, Guiming Hu, Weiheng Zhang</i> DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES, THE UNIVERSITY OF	376

	HONG KONG, POKFULAM ROAD, HONG KONG, CHINA - GEOMETRY AND KINEMATICS OF ACTIVE KASHA BACKTHRUST FAULT SINCE LATE PLEISTOCENE: IMPLICATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE URUMQI FOLD-AND-THRUST BELT, NORTHERN TIANSHAN	
5	<i>Yingfeng Zhang, Xinjian Shan, Wenyu Gong, Guohong Zhang, Chunyan Qu, Tao Li</i> , STRAIN ACCOMMODATION AND SEISMIC HAZARDS OF THE KALPIN FOLD-AND-THRUST BELT, SOUTHWESTERN TIAN SHAN FORELAND, CHINA: INSIGHTS FROM THE 2020 MW 6.0 KALPIN EARTHQUAKE	380
6	<i>Zuo Hong</i> , STUDY ON SIGNIFICANT SEISMIC ACTIVITY AND RUPTURE SCALE IN THE REGION OF SOUTHEASTERN SICHUAN	382
7	<i>Абдуллаев А.У., Борисов В.Н., Есенжигитова Е.Ж., Маркин М.Ю.</i> ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКСХАЛЯЦИИ ПОЧВЕННОГО РАДОНА В РАЙОНЕ ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСК В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКИМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕМ	387
8	<i>Данабаева А. Т., Абдрахматов К. Е., Силачева Н.В., Сыдыков А., Нурмагамбетов А.</i> , ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «OPENQUAKEENGINE» ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ (ВОСО) ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОГО РЕГИОНА	398
9	<i>Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А., Ашуров С.Х.</i> , КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА	410
10	<i>Литовченко И.Н.</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОЧАГАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	415
11	<i>Михайлова Н.Н., Узбеков А.Н.</i> К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА	420
12	<i>N.V. Silacheva, U.K. Kulbayeva, N.A. Kravchenko, L.S. Kaliyeva,</i> STRONG MOTION OBSERVATIONS IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN	427
13	<i>N.V. Silacheva,</i> PROBABILISTIC DETAILED SEISMIC ZONING OF REGIONS IN KAZAKHSTAN (PGA CASE)	431
14	<i>Степаненко Н.П., Кайдаш Т.М., Курилова О.К., Еркинова А.Б.</i> , СТРУКТУРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА	436
15	<i>М.Ю.Маркин</i> , ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИ РАЗЛОМОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ УСТЬ-КАМЕНОГОРСК (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)	441
16	<i>Ребецкий Ю.Л.</i> , ОПЫТ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ РАЗЛОМОВ ПО УРОВНЮ КУЛОНОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	447
17	<i>Д.А. Сарсенбаев, А.Б. Садыкова, Н.Б. Узбеков., Силачева Н.В., А.Т.Данабаева,</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ	453

КАЗАХСТАНА		
СЕКЦИЯ 3		
ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ДЕЙСТВИЯ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ.		
1	<i>CHEN-Jianbo*</i> <i>WU-guodong HUANG-Shuaitang MA-jian WEN-heping,</i> INTRODUCTION TO THE RESULTS OF ACTIVE FAULT DETECTION AND EARTHQUAKE DISASTER RISK SURVEY IN KEY CITIES OF THE NORTH SLOPE ECONOMIC BELT OF TIANSHAN MOUNTAINS	460
2	<i>Zhibin Zhang, Bin Wei, Xiaocheng Zhao,</i> EARTHQUAKE EARLY GENERAL INTRODUCTION OF XINJIANG EARTHQUAKE, EARLY WARNING SYSTEM	462
3	<i>LI Jinxiang, TAN MingLI Bo LI YueshuaiGulizipa-Mulati, ZHANG Jinyan</i> COMBINING U-NET MODEL AND CHANGE DETECTION METHODS FOR DAMAGE BUILDING IDENTIFICATION USING GF REMOTE SENSING IMAGES	465
4	<i>Luo Yong, Yang Li, Zhang Xian, Chen Ailin, Hu Bin</i> FEATURE EXTRACTION OF URBAN BUILDINGS USING MASK R-CNN	465
5	<i>Wang Fanxia, Zhu Xiangguo, Ma Rui, Liu Dongya</i> PRELIMINARY STUDY ON ZERO-TRUST NETWORK SECURITY MODEL FOR EARTHQUAKE INDUSTRY NETWORK IN XINJIANG	468
6	<i>Wen Heping Li Shuai Zhao Jiangtao,</i> THE PRELIMINARY ANALYSIS ABOUT THE POPULATION LOSSES OF HISTORICAL EARTHQUAKE IN XINJIANG	469
7	<i>XIE Jiang-li, A Bu Du Wa Li Si . A Bu Du Wa Yi Ti, ZHANG Wen-xiu</i> PRELIMINARY STUDY ON THE ATTENUATION RELATIONSHIP OF EARTHQUAKE INTENSITY WITH DIFFERENT SOURCE RUPTURE MODES-A CASE STUDY OF XINJIANG	471
8	<i>Yang Li, Luo Yong, Zhang Xian, Chen Ailin, Hu Bin</i> A METHOD FOR PREDICTING EARTHQUAKE DAMAGE OF MULTI- STORY MASONRY STRUCTURE BUILDINGS BASED ON BP NEURAL NETWORK	472
9	<i>Тилеккызы Гулкайыр,</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДА БИШКЕК, НА ПРИМЕРЕ СУУСАМЫРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	475
10	<i>Абаканов Т., Суровцева Н.В.</i> МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РЕГИОНАХ ПУТЕМ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ	480
11	<i>Иброгимов Ф.И., Хамидов Х.Л., Мухаммадқулов Н.М.,</i> БАЗА ДАННЫХ ПО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЯМ ПЛОТИН И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ ВОДОХРАНИЛИЩ	485
12	<i>Исмаилов В.А., Ёдгоров Ш.И., Хусомиддинов А.С., Ядигаров Э.М., Актамов Б.У.,</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН	490
13	<i>Исмаилов В.А., Тешаева Р.Б., Исламова Н.Ф.,</i> ОЦЕНКА СЕЙСМОГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ГОРОДА НУРАФШАНА	495
14	<i>Максудов С. Х. , Туйчиев А. И. ,</i> МОНИТОРИНГ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ	501

	НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	
15	<i>Молодобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., ЗубовичА .В., Шаршебаев А.К., , Алтынбекулуу Талант ,</i> СИСТЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СЕЙСМОКАТАСТРОФ АЗИИ НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСТАНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	504
16	<i>Надежка Л.И., Косинова И.И. Ежова И.Т., Сафронич И.Н., Колесников И.М., Пивоваров Р.С., Мохова В.В.,</i> СЕЙСМИЧЕСКИЕ РИСКИ ТЕХНОГЕННО-НАГРУЖЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)	510
17	<i>Хамидов Л.А., Анварова С.Г., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р.</i> НАПРЯЖЕНИЯ СБРОШЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЗЛОМАХ ВОКРУГ ВОДОХРАНИЛИЩ	515
18	<i>Абдуллаев А.У., Смоляр В.А., Борисов В.Н.,</i> СЕЙСМООБУСЛОВЛЕННЫЕ ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ	521
19	<i>ӘділханБ.Н. , Сартаев Д.Т., Турашова Ж.Е.,</i> АВТОЗАПРАВочные СТАНЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ г.АЛМАТЫ КАК ОЧАГИ ВТОРИЧНЫХ СЕЙСМООБУСЛОВЛЕННЫХ ФАКТОРОВ	525
20	<i>Сальменов Е.З. , Кулбекова Ш.А., Сарсенбаев Д.А.</i> СОБЛЮДЕНИЕ СТАДИЙНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМООБУСЛОВЛЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ И УЯЗВИМОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ	530
21	<i>М.С. Хайдаров, А.К. Бектемиров</i> ГЛОБАЛЬНЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ДО АВАРИИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС	534
22	<i>Ядгоров Ё.Х., Аминзода П.</i> ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	540

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые коллеги!

Предлагаемый Вашему вниманию сборник является научными трудами очередного XI Казахстанско-Китайского международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии». Первый такой международный симпозиум прошел с 24 по 30 сентября 1992г. в городе Алматы, 30 лет назад и в этом же смысле данный симпозиум является юбилейным. Первый международный симпозиум был организован в рамках договора о долгосрочном научно-техническом сотрудничестве в области сейсмологии между Институтом сейсмологии НАН РК и Сейсмологическим бюро СУАР КНР, который в дальнейшем стал проводится через каждые три года поочередно в гг. Алматы и Урумчи. За эти годы он превратился в авторитетную международную площадку для обсуждения самых актуальных вопросов науки и практики в сейсмологии и оказал серьезное влияние на развитие сейсмологической науки и комплексного сейсмомониторинга в странах Центральной Азии и КНР. Он также послужил хорошей формой общения учёных в этих странах через доклады и публикации. За все эти годы основными направлениями в работе прошедших симпозиумов были: различные аспекты теории и практики прогнозирования сильных землетрясений, оценка сейсмической опасности на различных уровнях, уменьшение ущерба и риска от воздействия произошедших разрушительных землетрясений. По всем этим направлениям на симпозиумах сообщались серьезные успехи

На данном XI Казахстанско-Китайском симпозиуме были заявлены более 130 докладов, в том числе от Китайских учёных-коллег более 35 докладов. На этом форуме принимали участия более 110 научных сотрудников Казахстана, России, Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана. Доклады этих учёных были заслушаны в трёх секциях: прогноз землетрясений; оценка сейсмической опасности; уменьшение ущерба и риска от разрушительных землетрясений. Ввиду ограниченности времени определенное количество докладов было продемонстрировано в форме стендовых докладов, которые также вошло в настоящий сборник.

Следует отметить, что редколлегия при рассмотрении каждого доклада по мере возможности оставляла их текст в авторской редакции, чтобы не исказить первоначальные замыслы авторов.

В целом материалы данного сборника трудов XI Казахстанско-Китайского симпозиума представляют весьма ценный и новый научный материал для обмена идеями и методическими вопросами между учёными и практиками сейсмологической науки и сейсмомониторинга. Они будут весьма полезными для докторантов и магистрантов, обучающихся по специальности сейсмологии, геофизики и современной геодинамики.

А.У. Абдуллаев, Н.Б. Узбеков

**Приветственное слово директора ТОО «Институт сейсмологии»
МЧС РК Д.А. Сарсенбаева участникам 11-го Тянь-Шанского Международного
Симпозиума по землетрясениям**

Уважаемые коллеги, дамы и господа!

Сердечно приветствую участников 11-го Тянь-Шанского Международного Симпозиума по землетрясениям!

Мы сегодня очень рады видеть большую делегацию учёных из разных стран ближнего и дальнего зарубежья, нашей республики, что говорит о весьма серьёзном потенциале мероприятия.

Также рады видеть руководителей служб чрезвычайных ситуаций и представителей ряда областей Казахстана, с которыми мы постоянно сотрудничаем по вопросам сейсмической безопасности.

От имени Института сейсмологии МЧС РК разрешите выразить всем участникам огромную благодарность за проявленный интерес и участие в данном симпозиуме, за представленные вами доклады по развитию сейсмологической науки.

Прежде всего, позвольте выразить искреннюю признательность оргкомитету симпозиума, руководству Администрации по землетрясениям СУАР КНР во главе с господином Люй Чжунюан за оказываемое доверие и сотрудничество, Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан в лице министра Шарипханова Сырыма Дюсенгазиевича за помощь в организации конференции.

Как мы знаем, наиболее опасные геодинамические процессы проявляются в регионах внутриконтинентальных орогенов, одним из таких регионов является Тянь-Шань. В этой связи, именно Тянь-Шанский Международный сейсмологический Симпозиум завоевал заслуженное признание и стал весьма авторитетной и востребованной площадкой среди научного сообщества сейсмологов.

Институт сейсмологии Казахстана является давним партнером и активным участником Международного Симпозиума по землетрясениям. Поэтому мы придаем особое значение тесному практическому сотрудничеству с международными организациями в данной сфере науки.

Уважаемые коллеги! Твердо уверен в том, что представленные вами научные доклады внесут весомый вклад в развитие сейсмологической науки, комплексного сейсмомониторинга, систем предупреждения землетрясений, в расширение двусторонних и всеобъемлющих трансграничных связей. Безусловно, решение этих проблем актуально не только для Казахстана и Китая, но и для других стран, где существуют проблемы сейсмической опасности.

Желаю организаторам и участникам симпозиума успешной результативной работы и дальнейшего плодотворного сотрудничества!

Спасибо за внимание!

СЕКЦИЯ 1

**ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ,
КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ СЕЙСМОАКТИВНЫХ
ОБЛАСТЕЙ**

SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF CONDUCTIVITY ANOMALIES BEFORE MS>6 EARTHQUAKES IN THE NORTH-SOUTH SEISMIC BELT OF CHINA DURING 2014 – 2019

Changes of underlying conductivity around hypocenters are generally considered to be one of the promising mechanisms of seismo-electromagnetic anomaly. Parkinson vectors (Induction vectors) (Parkinson, 1959, 1962) are an indicator of high conductivity materials underground. The vectors can be computed by using 3-component geomagnetic data and generally direct toward the ocean (Parkinson and Jones, 1979). This is caused by induction field excited by significant discrepancy in electric conductivity between sea water and rocks and called by the magnetic coast effect. Parkinson vectors are also utilized to study discrepancy in electric conductivity on land. Chen et al. (2013) computed Parkinson vectors at a magnetic station in Taiwan Island by using a short-term temporal moving window and found the vectors not only direct toward ocean but also a location with electrical conductivity underground larger than its surrounds. Meanwhile, variations of Parkinson vectors in direction can be referred to earthquake occurrence due to stress accumulation in seismogenic zones deriving changes of underlying electric conductivity. Chen et al. (2013) reported that the vectors can point toward epicenters a few days before and after earthquakes after a removal of interferences from the magnetic coast effect and underlying electrical structures. Chen et al. (2015) found that Parkinson vectors also can point backward epicenters before earthquakes. An intersection area can be determined by using the toward direction together with the backward direction of Parkinson vectors from three stations. The intersection is located about 32 km away from the epicenter one day before the earthquake (Chen et al., 2015). These suggest that Parkinson vectors are sensitive to locations of earthquakes and can be simultaneously observed by multiple geomagnetic stations whether increase or decrease of underlying conductivity around epicenters.

The North-South Seismic Belt of China is one of the most highly seismic areas on the Chinese continent. More than ten strong earthquakes ($M_s > 6$) have occurred in this region since 2010 (AISA et al., 2020, 2021). However, Earthquake-related conductivity anomalies are rarely reported for those earthquakes. In this study, 3-component geomagnetic data recorded at sixty geomagnetic stations are selected to compute the Parkinson vectors to monitor the changes of conductivity before and after the earthquakes. Considering most geomagnetisms have only been installed since 2014, we concentrate on six $M_s > 6$ earthquakes occurred during 2014–2019. To mitigate artificial disturbances, low noise data during the 00:00 – 5:00 LT are utilized. We compute the background distribution and monitoring distribution using the azimuth of the Parkinson vectors at each station within six years (2014 – 2019) and a 15-day moving window, respectively. The background distribution is subtracted from the monitoring distributions to mitigate the influences of underlying inhomogeneous tectonic structures. The obtained difference distributions binned by 10° within 400 km from each station are superimposed during 60 days before and after the earthquake to construct integrated maps. To analyze the potential frequency characteristics, we compute the results from low to high frequency band. The results show that for four earthquakes, the conductivity anomalies areas appear near the epicenter 10 to 20 days before earthquakes, while the rest two earthquakes have no anomaly. The conductivity anomalies appear at all study frequency band from 0.0005 Hz to 0.1 Hz, and significantly at 0.001 – 0.005 Hz before earthquakes. Meanwhile, we find that the lower frequency band

Fund: The Earthquake Tracking Task of CEA (2023010415) ; The Special Training Project of National Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022D03031) .

About the Author: Aisa Yisimayili (1985~) , male, uygur, engineer. Granted M. Sc degree by China University of Geosciences in 2014, major is study of seismoelectromagnetism and earthquake prediction. E-mail: aisa@cug.edu.cn

corresponds to larger anomalies area. These results suggest the change of underlying conductivity near the hypocenter is a common phenomena for strong earthquakes, and it can be detected by numbers of magnetometers. The frequency characteristics of the seismo-conductivity anomaly during the earthquake are helpful to understand the pre-earthquake anomalous phenomena.

References

- [1] Parkinson, W. Directions of rapid geomagnetic fluctuations. *Geophysical Journal International* 1959, 2, 1-14, doi:10.1111/j.1365-246X.1959.tb05776.x.
- [2] Parkinson, W. The influence of continents and oceans on geomagnetic variations. *Geophysical Journal International* 1962, 6, 441-449, doi:10.1111/j.1365-246X.1962.tb02992.x.
- [3] Parkinson, W.; Jones, F. The geomagnetic coast effect. *Reviews of Geophysics* 1979, 17, 1999-2015, doi:10.1029/RG017i008p01999.
- [4] Chen, C H, Hsu, H.L,Wen S,et al. Evaluation of seismo-electric anomalies using magnetic data in Taiwan[J], *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2013, 13(3), 597-604.
- [5] Chen CH,Lin C H,Hsu H L et al. Evaluating the March 27, 2013 M 6.2 Earthquake Hypocenter Using Momentary High-Conductivity Materials[J], *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2015, 26(1), 1-9.
- [6] AISA Yisimayili, CHEN Jie-hong, MAO Zhi-qiang.Evaluation of the 2017 M 6.6 Jinghe earthquake epicenter based on the Parkinson vector[J]. *jgg*,2021,41(01):74-78+88.
- [7] AISA Yisimayili, CHEN Jie-hong, MAO Zhi-qiang. Using Parkinson Vector Analysis to Detect the Geomagnetic Changes in the Sichuan Changning 6.0 Earthquakes of June 17, 2019[J]. *Earthquake*, 2020, 40(2): 91-99.

**Ailixiati Yushan^{1,2}, Liu Daiqin^{1,2,3}, Abudutayier Yasen^{1,2},
ChenLi^{1,2}, ZhaoLei^{1,2}, Li Rui^{2,3}, LiJie^{2,3}, Li Bingye^{1,2}**

¹Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

²Xinjiang Pamir Intracontinental Subduction National Observation and Research Station, Urumqi 830011, China

³Urumqi Institute of Central Asia Earthquake, China Earthquake Administration, Urumqi 830011, China

ANOMALY ANALYSIS AND SOURCE RESOLUTION EXPERIMENT OF TIME-VARYING GRAVITY FIELD IN NORTHERN TIANSHAN

Terrestrial gravity measurement is an important tool to study the material transport and mass change inside the Earth, while terrestrial gravity measurement cannot form a regular equidistant network due to the influence of geomorphological topography, traffic conditions and other factors, resulting in different shapes of gravity measurement networks with different recognition capabilities for field source mass change. In order to determine the field-source resolution of the time-varying gravity monitoring network in northern Tianshan, the Tesseroid grid model was used to construct the gravity anomaly disturbance checkboard model with different resolutions under the condition of setting field-source anomaly body parameters, and the gravity field modeling experiment was carried out. Based on the result of field source resolution experiment, the variation of observed gravitational field was calculated using terrestrial gravity measurement data from 2020-2022, and systematically analyzed the dynamic change of regional gravity field from different spatial-temporal scale. The results show that:

(1) Since the first deployment of mobile gravity lines in the Tianshan region in 1978, the seismic gravity network in Xinjiang has gone through three stages of development, namely, the initial stage from 1978 to 2004, the network formation stage from 2005 to 2013, and the integrated development stage from 2014 to the present. Through the three stages of development, the seismic gravity network in Xinjiang region has completed the development from decentralized lines to rings, from rings to networks, and finally from networks to a unified

overall network, covering the seismic-prone areas in the north and south Tianshan Mountains and the northeast edge of the Pamir.

(2) Under the assumption of the existence of field source anomalies with density difference of $\pm 1 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ at 10 km below the surface, the northern Tianshan gravity network is fully capable of identifying field source anomalies of $0.75^\circ \times 0.75^\circ$, the magnitude of the equivalent surface observable gravity anomaly is about $29 \mu\text{Gal}$. The most of area in the network have the ability to identify $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ anomalies, the magnitude of the equivalent surface observable gravity anomaly is about $23 \mu\text{Gal}$. Only the densely distributed areas have the ability to identify $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ anomalies, the magnitude of the equivalent surface observable gravity anomaly is about $11 \mu\text{Gal}$.

(3) Based on the results of field source resolution capability of the North Tianshan gravity network, the best optimization plan of the $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ resolution network was finally determined by considering the existing network shape, topography, traffic conditions and other factors. By deploying 11 measurement points in the blind area of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ field source monitoring in Tuokexun and west of Hejing, the ability of the North Tianshan gravity network to identify field source anomalies can be effectively improved, and the ability of identifying field source anomalies in the central-eastern part of the network can be increased to $23 \mu\text{Gal}$.

(4) The gravity changes from August 2021 to July 2022 shows that the gravity variation in the whole measurement area of the Northern Tianshan ranges from -10 to $+50 \mu\text{Gal}$, and the overall positive gravity variation is dominant, with the maximum variation occurring in Xinyuan and the area to the east. Three zero-value lines of gravity variation appear in Dushanzi, the edge of Turpan Basin and the area from Kuerle to Kuche, respectively, while the zero-value lines of gravity variation appearing in the area from Kuerle to Kuche are closer to the direction of tectonic distribution in the region, and the gravity high value anomalies in and around Xinyuan are close to the zero-value lines located north of Kuche. The two-year gravity variation changes from August 2020 to July 2022 shows that the positive and negative gravity variations are symmetrically distributed throughout the measurement area, with positive gravity variations around Hutubi, Dushanzi, and Yili, and negative gravity variations around Tulufan Basin and Kuerle, with variations between -60 to $+60 \mu\text{Gal}$. The Dushanzi and Xinyuan areas show a large range of positive gravity variation.

The time-varying gravity field source modeling experiment conducted in this paper quantitatively evaluates the field source resolution capability of the mobile gravity observation network in the North Tianshan region and analyzes the characteristics of time-varying gravity field anomalies in the North Tianshan region in recent years. The research methods and conclusions of this paper can help guide the design of the seismic gravity observation network system and the improvement of the observation network displacement, and lay the foundation for further research on gravity field variation and fault motion, crustal deformation, strong earthquake preparation and material change.

Acknowledgements: This work is funded by the Spark Program of Earthquake Sciences (XH22007YA), Key R&D Program of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2020B03006-2) and Strategic Priority Research Program (B) of Chinese Academy of Sciences (XDB18000000).

Fang Lihua¹, Liao Shirong²,

1). Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing, 100081

2). Fujian Earthquake Agency, Fuzhou, 350003

**DEVELOPMENT OF A REAL-TIME INTELLIGENT SEISMIC PROCESSING
SYSTEM AND ITS APPLICATION IN REGIONAL SEISMIC NETWORKS IN
CHINA**

Abstract: This report introduces a real-time seismic processing system based on artificial intelligence. The system uses the deep learning method to detect earthquakes. It includes earthquake detection, phase arrival picking, association, earthquake location and magnitude measurement. It can process continuous seismic waveform data and dense seismic sequences in real time and off-line modes. The obtained earthquake catalog shows significant improvement in location accuracy, completeness and consistency compared to manually determined catalog. For the 2021 Yangbi Ms6.4 earthquake sequence in Yunnan Province, the system can produce earthquake catalog within 2-4 minutes after the earthquake. The number of detected earthquakes is 2-3 times more than those of obtained from manual processing. The location accuracy is equivalent to the results of manual processing. The uncertainty of the estimated magnitudes is small and the lower limit of magnitude can reach $\sim M_L 0.0$. After more than 5 years of research and testing, the system has been deployed and operated in more than 20 regional seismic networks across the country, and has played an important role in the emergency response to major earthquakes such as the Yangbi earthquake, the Maduo earthquake, and the Luding earthquake. The system can be used not only for regional seismic network, but also for real-time data process of seismic network with different purposes, such as dense seismic observations in reservoir, mining and volcano areas. Based on the outputs of the system, we can further calculate the change of b -value, analyze the temporal and spatial evolution characteristics of earthquakes, and carry out real-time precise earthquake sequence relocation, to provide important data for earthquake emergency, earthquake prediction and related scientific research. The system is of great significance to optimize the automatic processing flowchart of seismic data and improve the automation level of seismic cataloging in China.

Fang Wei¹, Zhao Lei¹, Ding Yu¹

Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

CHARACTERISTICS OF RECENT VERTICAL DEFORMATION RATES AND DEFORMATION ACCUMULATION RATES IN THE NORTHERN TIANSHAN REGION

Active faults in Xinjiang are mainly distributed in the north and south of the Tianshan Mountains, the Kunlun Mountains, the Altun Mountains, and the Altai Mountains, especially the pre-mountain areas are widely distributed. The North Tianshan seismic zone described in this paper mainly includes the Junggar South Rim Fault, the Huoerguosi Fault, and the Dushanzi-Anjihai Fault. The nature of the faults is mainly reverse-fault or reverse-slip type, and there have been many earthquakes of magnitude 6 or higher in history.

At the beginning of this century, several moderate-to-strong earthquakes occurred in the North Tianshan region, especially since 2011 when moderate-to-strong seismic activity was obvious. 14 earthquakes of magnitude 5 or higher and 3 earthquakes of magnitude above 6 occurred in Xinjiang from June 2011 to September 2012, 5 of which occurred in the Tianshan seismic zone, and the Hutubi 6.2 magnitude earthquake on December 8, 2016 and the Jinghe 6.6 on August 9, 2017 earthquakes occurred in the North Tianshan seismic zone, so this seismic zone has the characteristics of high frequency, high intensity, shallow source, and zonal distribution.

At present, there are more than 10 leveling deformation observation sites in the region, with good data continuity and the accident mean square error in the observation data per kilometer is between 0.20 mm and 0.25 mm, which ensures the reliability and accuracy of the data. Many domestic scholars have carried out scientific research work in this area and achieved a number of valuable scientific research results, which has laid a good foundation for the subsequent research. It provides the basis of deformation precursors for the tracking work in the key risk area of North Tianshan.

In this paper, based on previous studies, the latest cross-fault level data from 2012 to 2023 in

the North Tianshan Mountains were selected, and the activity rates and deformation accumulation rates of major active faults in the 10-year scale North Tianshan seismic zone were calculated using the analysis methods of fault deformation rate and deformation accumulation rate, and the process of changes in annual fault deformation rate and deformation accumulation rate were analyzed.

The results show that the fault displacement in the region is either tensioned or compressed at different times, or there are alternating changes of tension and compression, and the frequency of earthquakes in areas with relatively large activity rates is significantly higher than that in areas with small activity rates, and there is a significant relationship between the incubation of earthquakes and fault activity, and the strength of fault activity rates responds to moderate to strong earthquakes. The Dc value of the accumulation rate varies among sites in the region, with high and low values coexisting. The earthquake cases indicate that earthquakes occur in areas with relatively large and concentrated Dc values and significant spatial differences, and areas where the annual rate of change and the accumulation rate of change are significantly enhanced at the same time. The earthquake cases show that the earthquakes occurred in the areas with relatively large and spatially significant differences in Dc values.

Gao Mi, Li Dahu

Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China

THE VELOCITY STRUCTURE AND DEEP DYNAMIC MECHANISM OF THE PANZHIHUA-XICHANG RIFT ZONE ON THE SOUTHEASTERN MARGIN OF THE TIBETAN PLATEAU

1. Introduction. Located at the southeast margin of Tibetan Plateau, Panzhihua-Xichang rift zone is the important constituting part of the boundary zone of the ladder pattern landform in east and west parts of China (Li et al., 2015), The traditional range of the Panzhihua-Xichang rift zone starts from Mianning of Sichuan to the north, and goes through Xichang, Miyi and Panzhihua, until Yuanmou of Yunnan, with about 300km in a south – north way, limited by the Ganluo – Xiaojing fault and the Chenghai – Jinghe boundary fault zone on both sides of east and west, with the width of dozens or a hundred kilometers(Figure 1). Due to the extremely complicated geological tectonic features, the frequent seismic activities and the intense Mesozoic – Cenozoic tectonic deformation, a long term and tough process is needed to have correct understanding. By collecting the observation data of totally 634 stations (arrays) such as digital seismic networks in regions such as Sichuan and Yunnan as well as flowing seismic arrays such as “China Earthquake Science Array Detection – South Section of the North – South Seismic Belt” (Stage I of the “Himalaya” project), with the method of joint inversion of the regional earthquake and the teleseismic(Zhao *et al.*, 1994), we obtains the three-dimensional P-wave velocity structure of the Panzhihua-Xichang rift zone on the southeast margin of Tibetan Plateau.

2. Data and method. This research has collected the 18530 regional earthquakes and 754 teleseismic events recorded by 634 stations (arrays) of the regional digital seismic networks set in Sichuan Province, Yunnan Province and the perimeter zones as well as China earthquake scientific arrays, By adopting the travel-time tomography method proposed by Zhao et al, this article utilizes the joint inversion of the regional earthquake and the teleseismic (Zhao et al., 1994), to obtain the velocity structure of the three-dimensional P-wave on thePanzhihua-Xichang rift zone at the southeast margin of Tibetan Plateau. According to our three-dimensional P-wave velocity structure, the velocity feature in the crust of the Panxi tectonic zone has significant un-uniformity, especially in Miyi, Panzhihua and Huidong region, which is on the core part of the tectonic zone(Figure 2).

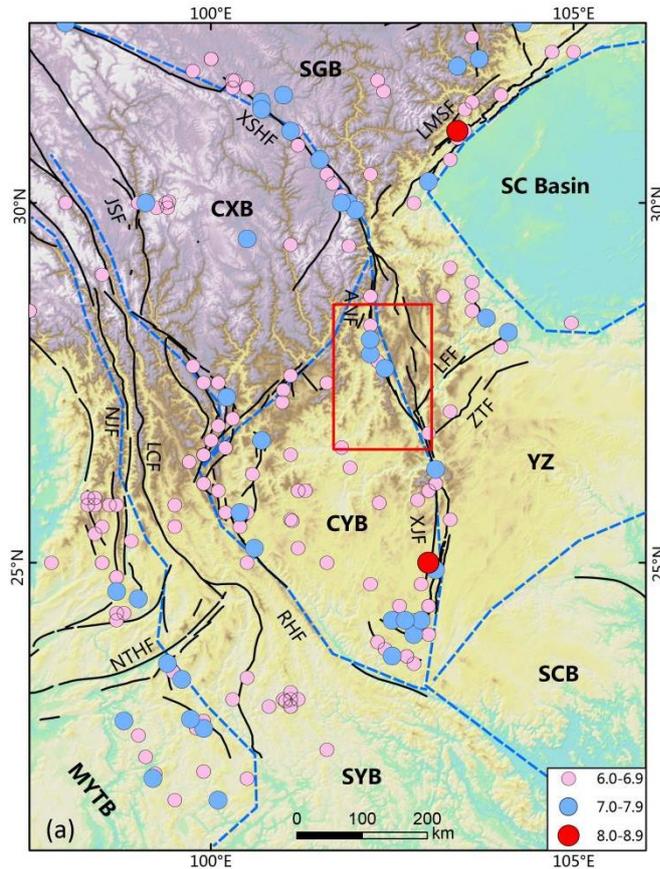


Figure 1 Research area and station distribution map (The red box represents the research area)

The 10 km velocity structure drawing reveals the local high velocity abnormality features of Shimian – Xichang – Panzhihua regions, and the both sides of the Xiaojiang fault are located at the low velocity abnormality region; the low velocity abnormality on the east side of the fault is especially significant. As the boundary of the third-level tectonic unit, both sides of the Pudu River fault have different velocities and structures; the Wuding – Yimen folded uplift region and the Kunming – Jianshui folded uplift region show relatively high velocity and relatively low velocity abnormality distribution. At the 20km depth, the low velocity abnormality range near to the Xiaojiang fault zone is further expanded, and the upper crust shows the overall low velocity feature, which is consistent to the result revealed by the body wave imaging, the background noise and the deep seismic section (Liu *et al.*, 2014). At the depth of 30km, the forms of some abnormalities have significant changes, and the main direction of the high velocity abnormality near to 102°E shows the approximately SN direction distribution, and extends to Yuanmou region to the south; the abnormality boundaries on east and south sides are limited by the Zemuhe fault and the Gold River – Jinghe fault; Panzhihua and Miyi show high velocity abnormality, which is especially significant on the depth of 40km-60km. The positive normality on west side of Qiaojia and Huidong is gradually connected with the positive abnormality near to Panzhihua with the increase of the depth; at the same time, the leading edge of the abnormality is extended to the south. The depth of 80km reveals the high and low interphase velocity structure feature of the Panxi tectonic zone, where the high velocity abnormality near to Panzhihua disappears, replaced with low velocity abnormality feature.

3. Conclusion. P-wave velocity structure illustrates that there are a large range high velocity abnormality distribution in the crust of the Panzhihua-Xichang rift zone, which is deduced by us to be related with the intrusion of the large amount of basic and superbasic mantle source matters into the crust during the mantle plume activity period of the Neopaleozoic. During the crust doming process, the intrusion of the large amount of mantle sources increases

the mechanical strength of the crust medium, and forms the hard block within the crust by taking Panzhihua as the core; the axis region has a series of layered basic and ultrabasic intrusion rock masses of Hercynian period, which are preferable evidences.

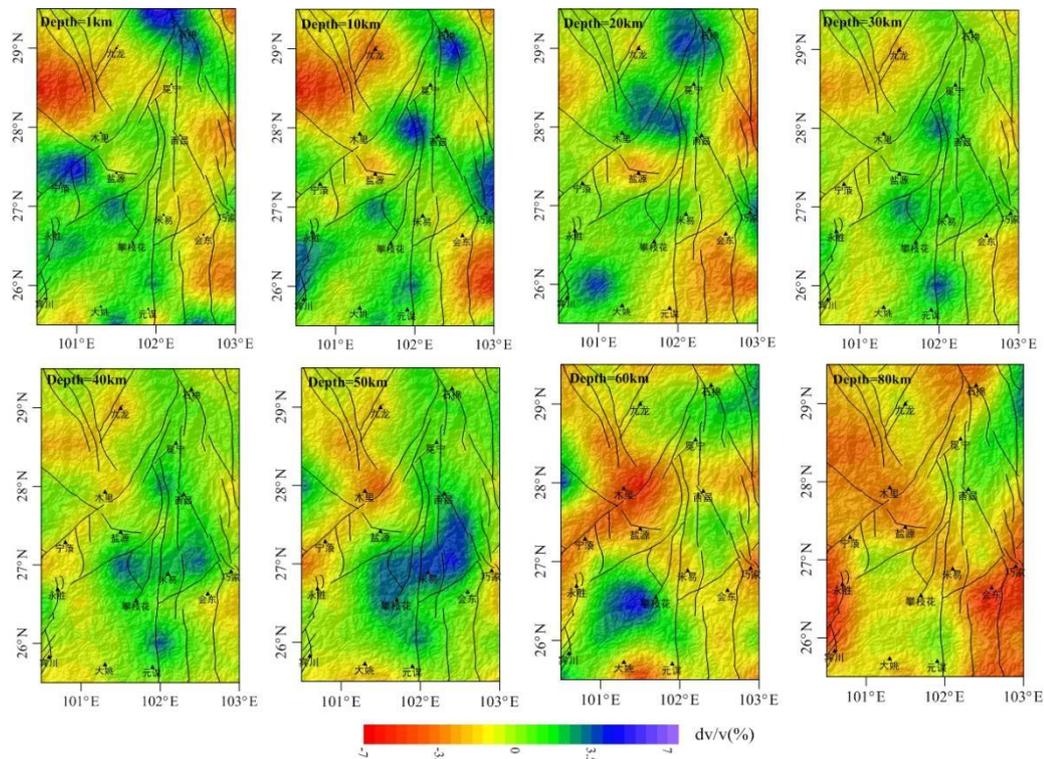


Figure 2 P wave velocity perturbation image of Panzhihua-Xichang rift zone

Reference

- [1] Zhao D P, Hasegawa A, Kanamori H. Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99(B11): 22313-22329.
- [2] Li Dahu, Ding Zhifeng, Zhan Yan, Wu Pingping and Ye Qingdong, 2015. Deep seismogenic environment in the southern section of the Longmenshan fault zone on the eastern margin of the Tibetan Plateau and Lushan Ms 7.0 earthquake. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(2): 801-812.
- [3] Qiyuan Liu, Robert D. van der Hilst, Yu Li et al. Eastward expansion of the Tibetan Plateau by crustal flow and strain partitioning across faults. *Nature Geosci.* <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2130> (2014); published online 30 March 2014; corrected online 2 April 2014

Chen Huang¹, Abdelghani Meslem^{1,2}, Håkan Bolin¹, Vette Refsum¹, Tina Kaschwich¹, Alberto Vezzoso³, Bernd Weber⁴, Davide Curone⁵, Johannes Schweitzer^{1,6}, Volker Oye^{1,6}

¹NORSAR, Kjeller, Norway; ²Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Ås, Norway; ³Beta 80 Group, Milan, Italy; ⁴Gempa GmbH, Berlin, Germany; ⁵YETITMOVES, Pavia, Italy; ⁶University of Oslo, Oslo, Norway

THE TURNKEY SCIENTIFIC ENGINE, AN ADVANCED TOOL FOR EARTHQUAKE DISASTER MANAGEMENT

Abstract:

The TURNkey scientific engine is a useful tool for earthquake disaster management. Building upon state-of-the-art methodologies in seismic hazard assessment, risk evaluation and decision-support systems, the scientific engine effectively supports earthquake forecasting, early warning and rapid response actions. This study introduces the three main features of the TURNkey scientific engine. Through case studies, the unique services provided by the scientific engine to the stakeholders are demonstrated. It is shown that the engine improves situational awareness in operational earthquake forecasting (OEF),

earthquake early warning (EEW), and rapid response to earthquake (RRE) and thus facilitates earthquake disaster management.

Научная система TURNkey является полезным инструментом в ликвидации последствий стихийных бедствий. Основанная на современных методологиях оценки сейсмической опасности, оценки риска и систем поддержки принятия решений, эта научная система эффективно поддерживает прогнозирование землетрясений, раннее предупреждение и действия по быстрому реагированию. Это исследование представляет три основных особенности научной системы TURNkey. С помощью тематических исследований демонстрируются уникальные услуги, предоставляемые научной системой заинтересованным сторонам. Показано, что предложенная система улучшает ситуационную осведомленность в оперативном прогнозировании землетрясений (ОПЗ), раннем предупреждении о землетрясениях (ППЗ) и быстром реагировании на землетрясения (БРЗ), что облегчает ликвидацию последствий стихийных бедствий.

1 Introduction.

Within the TURNkey project funded by the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme, the TURNkey FWCR (Forecasting – Early Warning – Consequence Prediction – Response) platform was developed. It is a multi-sensor-based earthquake information system, facilitating earthquake forecasting and enabling early warning and rapid response actions. This platform can assist identified disaster management authorities to react at the earliest stage to earthquake events to reduce the direct and indirect (follow-up) impacts and consequences. Integrated with the instrumental network and a cloud-based graphical interface, the scientific engine provides unique services for disaster management.

The scientific engine of the FWCR platform can handle four processes: operational earthquake forecasting (OEF), earthquake early warning (EEW), rapid response to earthquake (RRE) and a simulation stage to test specific earthquake scenarios. In the earthquake disaster management timeline, as shown in Figure 1, the emergency management authority can run the simulation before any earthquake event to facilitate disaster planning for various earthquake scenarios. The OEF process can be run on request to forecast a potential increase in seismic hazard during the aftershock sequence and after a major earthquake. It is worth pointing out that an earthquake forecast is not an earthquake prediction. OEF, similar to the weather forecast can estimate where earthquakes may be likely to strike by calculating probabilities. OEF cannot predict when or where an earthquake will occur. The EEW process is triggered after an earthquake event (e.g., mainshock and aftershock) of a potentially severe impact through GEMPASeisComP system[1] and other earthquake monitoring systems. If the peak ground acceleration (PGA) value is above a certain threshold for a site and may cause damages, the RRE process is activated and it continuously runs throughout the disaster management cycle (e.g., weeks after the mainshock or until the user resets the system). The OEF process can also be triggered after an earthquake to forecast heightened seismic hazards using the updated event catalogue during the short-term disaster response phase.

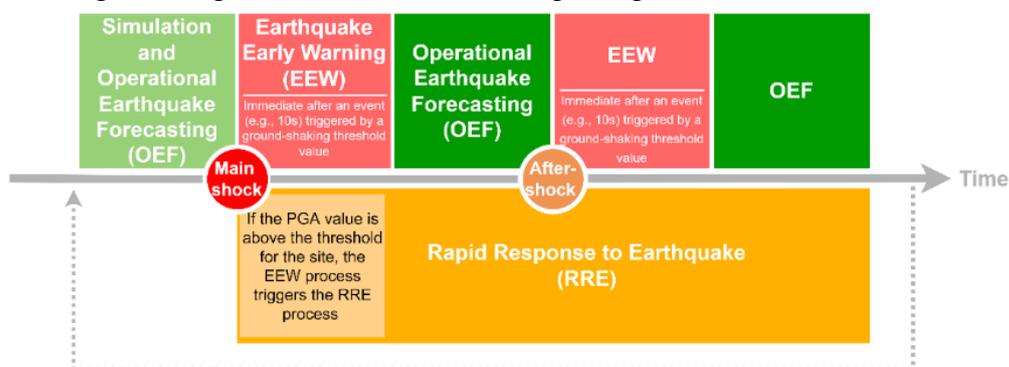


Figure 1 Illustration of the chronological sequence of Operational Earthquake Forecasting (OEF), Earthquake Early Warning (EEW), Rapid Response to Earthquakes (RRE) and simulation.

2 Main features of the TURNkey scientific engine

2.1 Short-term time-dependent probabilistic seismic hazard analysis

The probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) is a commonly used method for the quantification of seismic hazard of a given area, as it accommodates various sources of uncertainties [2]. The PSHA is performed employing the following equation (1):

$$\lambda(IM > x) = \sum^{n_s} \lambda(M_i > M_{\min}) \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_0^{r_{\max}} P(IM > x|m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dr dm (1)$$

where $\lambda(M_i > M_{\min})$ is the rate of occurrence of earthquakes greater than M_{\min} from the source i , $\lambda(IM > x)$ is the rate of intensity measure $IM > x$, n_s is the number of sources, $f_{M_i}(m)$ and $f_{R_i}(r)$ is the magnitude and distance distributions for source i , respectively.

Compared to the conventional PSHA, the scientific engine can use the current seismicity rate estimated from both seismic and non-seismic data to perform the short-term time-dependent PSHA. Specifically, the $\lambda(M_i > M_{\min})$ term in equation (1) is substituted by the seismicity rate estimated from the Bayesian spatiotemporal epidemic type aftershock sequences (ETAS) forecasting model [3] and takes into account the influence of non-seismic data (i.e., radon data).

Thanks to the dense TURNkey instrumental network, near real-time earthquake information (e.g., magnitude and location) from the seismic sensors is streamed to the TURNkey platform and the scientific engine accesses the latest earthquake catalogue in the monitored area. The spatiotemporal ETAS model can update the ETAS parameter estimates and capture the uncertainties using the current earthquake catalogue before the forecasting interval. Moreover, the model can simulate the sequence of events within the prescribed forecasting time interval and thus provide a space-dependent seismicity forecast.

In addition, the TURNkey system incorporates radon measurement devices in the Bucharest city in Romania [4]. The continuous measurement of the radon data can be used to monitor the occurrence of small-to-moderate earthquakes. The correlation analysis within the TURNkey project showed that the seismic activity rate for the magnitude range $3 \leq M \leq 6$ can be estimated directly from the radon time series and an empirical model was developed to compute the daily seismic activity rate using radon measurements. Including radon data in the PSHA study through the logic tree approach [5] allows a comprehensive estimation of the seismic hazard.

2.2 Rapid mapping and near real-time updating of ground shaking and seismic risk

The mapping of the ground shaking is generally performed through ground-motion models (GMMs), given the parameters of rupture (e.g., magnitude), path (e.g., source-to-site distance), and site (e.g., site classification). Compared to other known shake map algorithms, such as the USGS ShakeMap [6], the scientific engine uses a Bayesian network algorithm [7] to generate the shake map as correlated Gaussian fields, which can be updated with the observations to generate a posterior distribution of the ground motion at each grid point.

The scientific engine can access both the near real-time ground-motion intensity measures or IMs (e.g., PGA and spectral accelerations) recorded at the sensor locations and the macroseismic intensities reported in the felt reports collected through the TURNkey partner's server and other providers (i.e., UNIBG, USGS and EMSC) with the associated uncertainties. This information is treated as evidence in the Bayesian network to update the posterior distribution of the IM of interest. With the incorporated comprehensive libraries, the scientific engine allows the hazard and risk analyst and relevant disaster management authorities to select GMMs and ground motion-to-intensity conversion equations (GMICEs) suitable for the target region to minimize epistemic uncertainties. During the emergency response period, the scientific engine constantly updates the maps in terms of PGA and macroseismic intensity when new observations are available, providing a current shake map for the stakeholders.

2.3 Building-specific multi-criteria decision support system

Given the maps of ground shaking, the scientific engine utilizes the libraries of building-level fragility functions (with capacity functions if applicable) or vulnerability functions and damage-to-loss functions to evaluate the potential seismic risk and loss, following the SELINA methodology

[5]. The risk and loss results include the physical vulnerabilities (e.g., vulnerability level, damage grade, amount of debris, functionality) and socio-economic vulnerabilities (e.g., economic loss, casualty, number of homeless, number of shelters). The risk and loss due to the earthquake correspond to the worst scenario in the case of no action being taken.

The disaster management authorities can define risk-mitigation actions and their mitigating effect with respect to the no-action scenario and select the suitable risk and loss results (e.g., economic loss and casualty) as consequence criteria. Using the multi-criteria decision-making (MCDM) methodology developed within the TURNkey project [8], the scientific engine can help to identify the optimal risk mitigation measures among the proposed actions. Moreover, given the cost of the actions and the monetary values of the selected criteria, the scientific engine also performs a cost-benefit analysis (CBA) for each action and assigns a cost-benefit class based on the benefit-to-cost ratio for each action. Combining the MCDM and CBA for a building-specific decision support system presents a better picture of the possible benefit and consequences of the risk-mitigation actions. This is particularly useful for operators of critical infrastructure to evaluate and plan the emergency response.

3 Case study

A synthetic case is presented to demonstrate the EEW and RRE. The simulated scenario is a M_w 6.5 mainshock occurs within the fictitious study area, Icelandopolis. The scientific engine will provide the near real-time shake map, and seismic risk estimation to facilitate emergency response, considering the instrumental data, Did-You-Feel-It (DYFI) reports and eyewitness reports. A retrospective study of the June 2000 South Iceland earthquake sequences is used to illustrate the OEF. 17 June 2000 M_w 6.4 and 21 June 2000 M_w 6.5 are the major seismic activity in Iceland for 88 years. It is worth noting that, though the examples presented are for demonstration only, the scenarios and exposure are rooted in historical data and the current states of the region, respectively. To obtain a realistic estimation of the seismic hazard for the end users, the input data and parameters should be carefully selected and tuned based on site-specific seismological and engineering considerations (e.g., the fault is assumed to North-South striking faults based on historical data).

3.1 Hypothetical site and earthquake scenario

The Icelandopolis is a hypothetical site composed of: (1) georeas (e.g., towns) where the information about the general buildings is aggregated; (2) numerous essential facilities (e.g., hospitals); and (3) critical infrastructures (e.g., bridges). This static data (e.g., vulnerability level, economic cost, population) for the site is stored in the database during configuration

3.2 EEW

In the simulation, a magnitude M_w 6.5 event occurs in Icelandopolis and the source location is indicated by the red symbol in Figure 2. The earthquake is detected by the monitoring network and four free-field stations of the network are indicated by yellow markers, the EEW process is automatically instantiated. A preliminary estimate of the ground shaking (Figure 2) is computed quickly based on its magnitude and hypocentral depth through empirical ground-motion models to provide the stakeholder with an initial overview of the affected area. If the earthquake has damaging potential (i.e., expected shaking high than the pre-defined threshold), the engine will send out an alarm and initiate the RRE process.

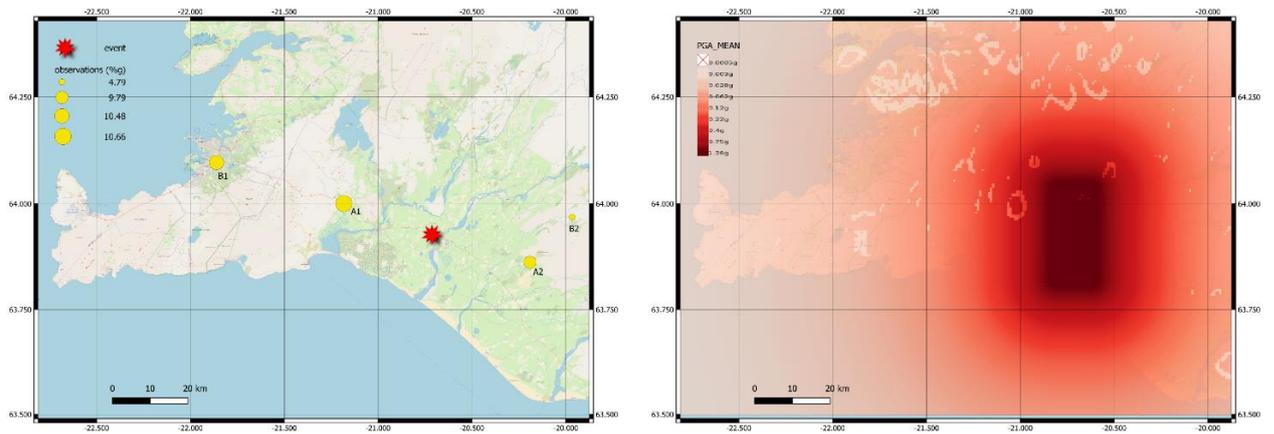


Figure 2 Left: The MW 6.5 earthquake (red star) occurs in the study area and four stations (yellow circles) of the network detected the event and reported the PGA values in %g (corresponding to circle size). Right: The preliminary PGA map.

3.3 RRE

With the propagation of seismic waves, stations A1 and A2 within the instrumental network are among the first stations to send the observed IMs (e.g., PGA and spectral accelerations) to the scientific engine. When receiving the instrumental data stream, the scientific engine updates the estimates of ground shaking considering the observations (i.e., instrumental data, DYFI reports and eyewitness reports), as shown in Figure 3. Subsequently, the scientific engine produces a seismic risk estimation to facilitate emergency response, as shown in Figure 3.

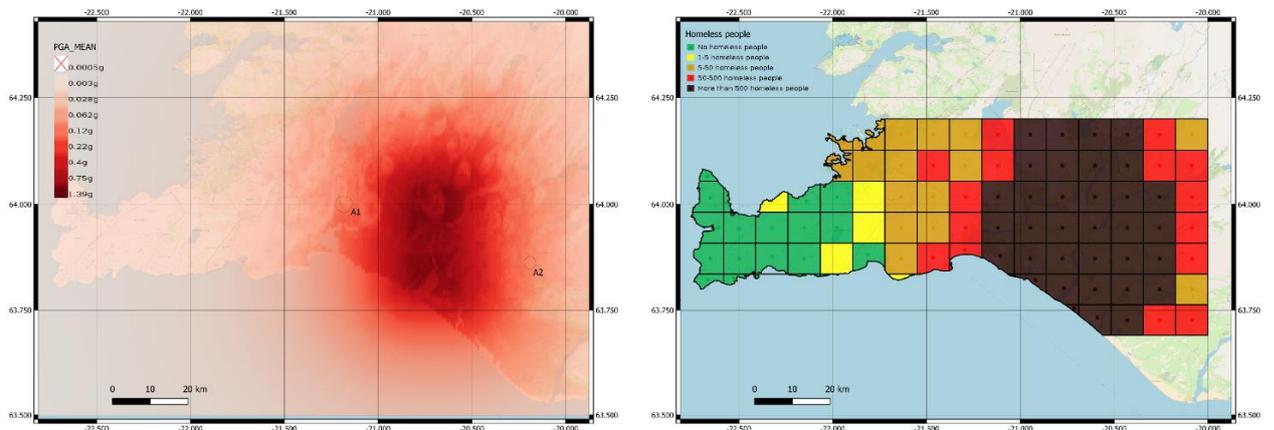


Figure 3 Left: The updated PGA map based on the instrumental data at stations A1 and A2. Right: The risk estimation-the expected number of homeless people estimated based on the map on the left.

As time goes by, more and more observations become available. In addition to A1 and A2 stations, stations B1 and B2 send instrumental data to the scientific engine. The estimate of ground shaking is updated given these four data streams, as shown in Figure 4. Station B1 may be located on thick sediments, which amplifies the ground motion significantly, resulting in larger ground shaking observations than expected. The impact of this large-amplitude observation on the shake map is noticeable in

Figure 4. Correspondingly, the seismic risk estimations are updated and a higher number of homeless people is expected around station B1.

During and after a damaging earthquake, the scientific engine constantly updates the seismic hazard estimates, considering instrumental recordings and DYFI data. Moreover, through the TURNkey platform and the mobile application, the first responders/emergency personnel in the field can submit eyewitness reports to likewise update the risk and loss estimates.

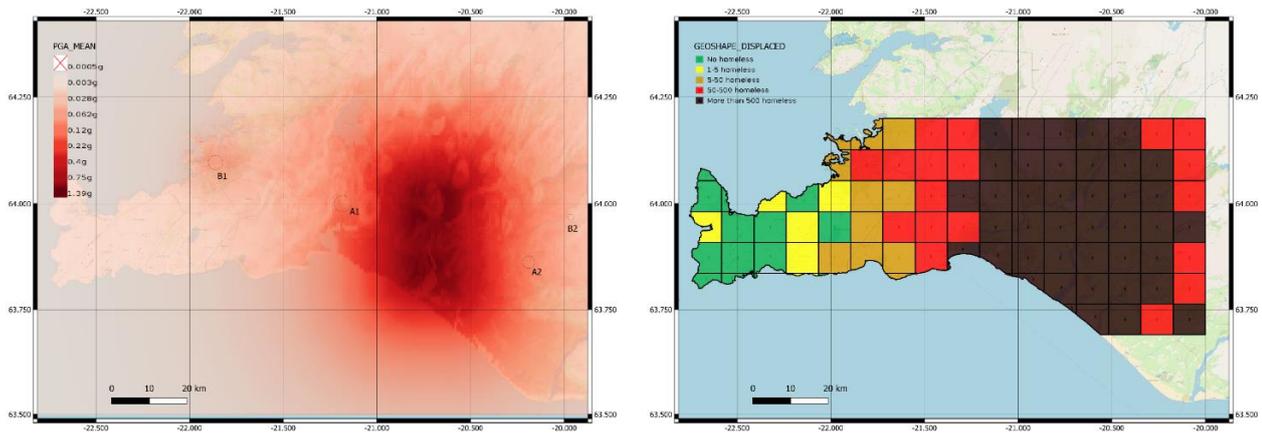


Figure 4 Left: The updated PGA map based on the instrumental data of stations A1, A2, B1, B2. Right: The updated risk estimation-the expected number of homeless estimated based on the map on the left.

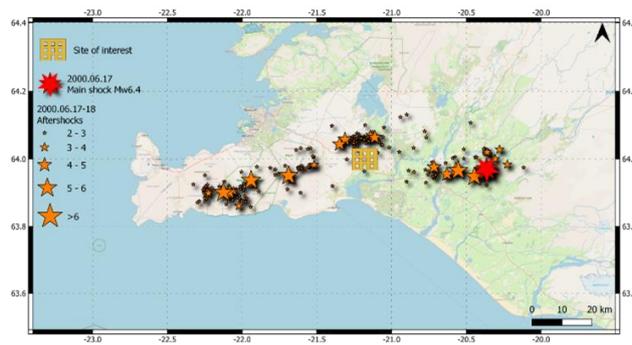


Figure 5 The 17 June mainshock (red star) and the aftershock sequences till 18 June (orange stars).

3.4 OEF

The retrospective OEF uses the June 2000 South Iceland earthquake sequences. The 17 June mainshock and the subsequent aftershocks up to 18 June are shown. The forecast seismicity rate $\lambda_t(M \geq 4.5)$ for 18-19 June is computed using both Iceland zonation map and the Bayesian spatiotemporal ETAS model for comparison as shown in Figure 6. The Iceland zonation map provides statistical estimates of the long-term seismicity characteristics (i.e., a-value and b-values) and the forecasted seismicity is relatively low in the aftershock region, without accounting for the recent seismic activities. On the contrary, the Bayesian ETAS model is calibrated based on the 17-18 June mainshock-aftershock sequences. The forecasted seismicity is heightened in the study area, accounting for both short-term and long-term seismicity. Moreover, the forecasted seismicity from Bayesian ETAS model is consistent with the observed seismicity activities on 18-19 June denoted by orange stars as shown in Figure 6.

Using the updated seismicity rate, we can perform the short-term PSHA and compute possible decision indicators (e.g., the daily probability of $\text{PGA} \geq 0.05g$). Such indicators can inform the authorities or property owners about the heightened seismicity, based on which they can, for example, issue a warning of the potential seismic hazard.

Having understood the seismic risk landscape at different phases of the earthquake disaster management in case of no action is taken, the disaster management authorities can propose various risk mitigation actions to reduce the negative impact of earthquakes at the structure, geounit, or area level. To use the MCDM method, the stakeholders need to anticipate how the seismic risk landscape change with respect to each possible action. Moreover, stakeholders need to provide their selection of evaluation criteria (from the computed physical and social vulnerability metrics) and the associated weightings. The scientific engine will identify the optimal actions through the MCDM method based on user input and preference. The CBA module can evaluate if the action is cost-effective.

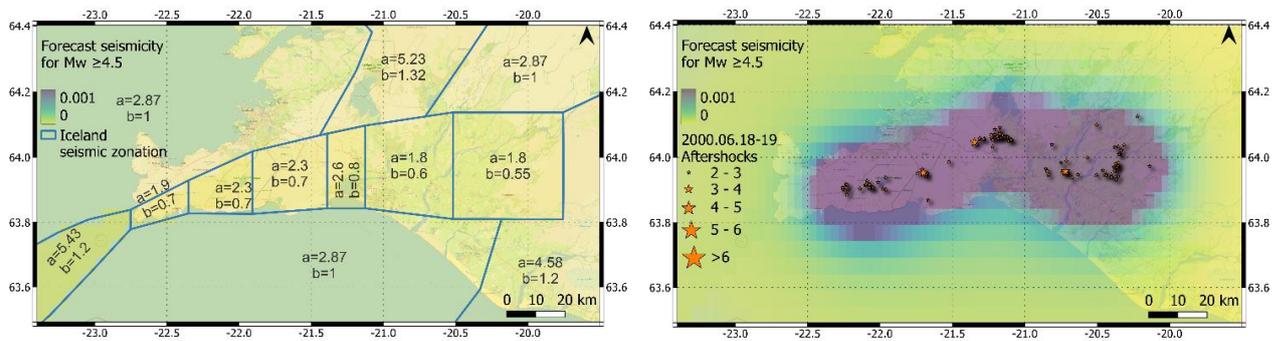


Figure 6 The forecasted seismicity rate $\lambda_i(M \geq 4.5)$ for 18-19 June. Left: Results based on Iceland zonation map with long-term seismicity characteristics in blue polygons. Right: Results from the Bayesian spatiotemporal ETAS model with observed seismicity activities on 18-19 June in orange stars.

4 Conclusion

The TURNkey scientific engine is a comprehensive tool incorporating state-of-the-art methodologies in hazard assessment, risk evaluation and decision-support system to enable earthquake forecasting, early warning and rapid response actions. This paper provides an overview of the scientific engine components and highlights the main features of the engine. The main features of the TURNkey scientific engine are (1) short-term time-dependent probabilistic seismic hazard analysis, (2) rapid mapping and near real-time updating of earthquake shaking and seismic risk, and (3) a building-specific multi-criteria decision support system. Through a synthetic case study and a retrospective analysis of the June 2000 South Iceland earthquake sequences, this study illustrates the functionality of the scientific engine in the EEW, RRE and OEF phases. The scientific engine can present near-real-time the seismic hazard risk landscape, improve situational awareness and facilitate decision-making in earthquake disaster management.

Reference

- [1] Helmholtz-Centre Potsdam -GFZ and German Research Centre for Geosciences gempa GmbH (2008) The SeisComP seismological software package. GFZ Data Services. Doi: 10.5880/GFZ.2.4.2020.003
- [2] Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis. Bull Seismol Soc Am, 58(5), pp. 1583-1606.
- [3] Ebrahimian, H. & Jalayer, F., 2017. Robust seismicity forecasting based on Bayesian parameter estimation for epidemiological spatio-temporal aftershock clustering models. Scientific Reports, 7(1), pp. 1-15.
- [4] Toader, V. E. et al., 2021. Implementation of a radon monitoring network in a seismic area. Atmos., 12(8), p. 1041.
- [5] Molina, S., Lang, D. H. & Lindholm, C. D., 2010. SELENA—An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. Comput Geosci, 36(3), pp. 257-269.
- [6] Worden, C., Thompson, E., Hearne, M. & Wald, D., 2020. ShakeMap Manual Online: technical manual, user's guide, and software guide, USGS.
- [7] Gehl, P., Douglas, J. & D'Ayala, D., 2017. Inferring earthquake ground motion fields with Bayesian Networks. Bull Seismol Soc Am, 107(6), p. 2792-2808.
- [8] Cremen, G. & Galasso, C., 2021. A decision-making methodology for risk-informed earthquake early warning. Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng., 36(6), pp. 747-761.

Jia Donghui^{1*} ; Yu Huaizhong² ; Zhao Binbin¹

Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region.Urumq830011,China;

2.China earthquake networks center.Beijing 100045,China.

* Correspondence: jdh830000@163.com.

THE ABNORMAL EVOLUTION OF THE GEOPHYSICAL FIELD IN THE SUB-INSTABILITY STAGE BEFORE THE JIASHI_S6.4 EARTHQUAKE IN 2020

Jiashi_S 6.4 earthquake (77.21°E, 39.83°N) occurred at 21:27 on January 19, 2020 in Xinjiang, China, with a focal depth of 16 km. The earthquake is located at the intersection of the western part of the southern Tianshan Mountain and the TarimBasin.Under the push of the Indian plate and the Eurasian plate, the Tarimblock is inserted northward into the Tianshan Mountain, and the regional deformation is strong and the strong earthquake activity is frequent. The Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region has set up different geophysical field observation instruments in this area, including crustal deformation, underground fluid, rock temperature, magnetotelluric field and other observations, which provides an opportunity for studying the abnormal evolution law of strong earthquake geophysical field.

In this paper, the observation data recorded by the geophysical field observation instrument within 300 km around the epicenter of the Jiashi_S6.4 earthquake are used to sort out the abnormal changes before the earthquake. From the perspective of ' field source combination ' and the relationship between time and space evolution, combined with the sub-instability theory, the abnormal evolution of multi-parameter geophysical field before the earthquake is analyzed. From the perspective of geophysical field observation, the development process of strong earthquake preparation is studied, and the evolution law of geophysical anomalies before the earthquake is summarized.After combing and analyzing, there are 9 short-term and medium-term anomalies before the earthquake, including underground fluid, crustal deformation, electromagnetic, rock temperature and other observation items. The anomalies are mainly concentrated within 4 months before the earthquake. From the temporal and spatial development relationship, the location of the anomaly gradually migrates to the epicenter with the change of time(Fig1). This shrinkage migration trend is basically consistent with the previous research results, which may be caused by the control of the seismogenic body or the slip of the fault.

From the perspective of the order of occurrence of abnormal items, the first is the abnormal change of water temperature in high-temperature spring. This may be because hot spring generally come from deep sources and can reflect the information of deep crustal activity. In view of the incompressibility of liquid, stress accelerates fluid migration. Secondly, there are abnormal changes in crustal deformation, rock temperature and geomagnetic observation. Based on the theory of sub-instability, there are four main stages of rock stress extrusion : elastic deformation stage, plastic deformation stage, sub-instability stage and instability stage.Rock is deformed by stress, and rock temperature changes will occur in the process of elastic and plastic deformation. The crustal deformation is accompanied by the change of the density of the crustal medium, and the magnetotelluric field will also be affected. Finally, the abnormal change of gas in the fault soil is abnormal. The increase of stress promotes more cracks in the rock mass, forming a gas migration channel, and the abnormal change is caused by the upward movement of deep gas along the channel.From the perspective of spatial and temporal characteristics of anomalies, the occurrence of rock temperature, electromagnetic, fault gas anomalies and orderly epicenter migration trends in a short period of time before the earthquake may be a manifestation of fault synergy. The sub-instability stage is the approaching stage before the failure of rock, and the accelerated synergy of faults is the main feature of the sub-instability stage. Therefore, based on the observation of earthquake development based on geophysical field, it may be necessary to pay attention to the orderly coordinated development and change of geophysical field anomalies, which will help to further understand the mechanism of earthquake nucleation.

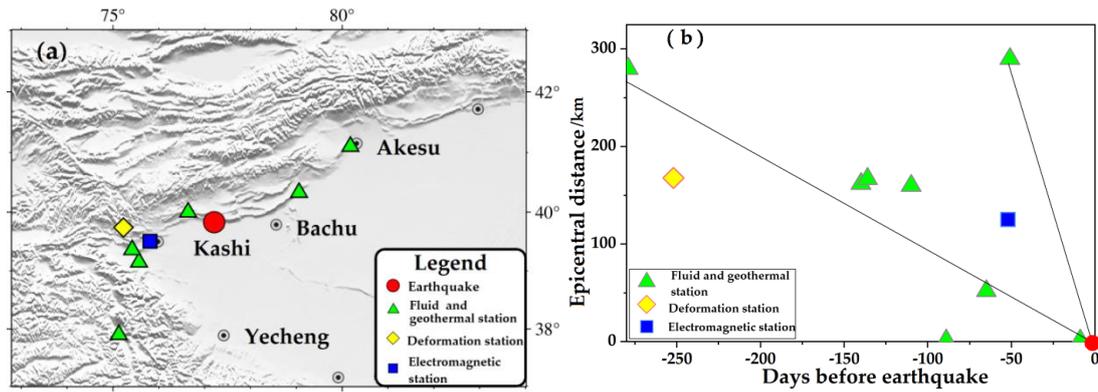


Figure 1 Spatiotemporal evolution of geophysical field anomalies.
 (a): Spatial distribution of geophysical field anomalies;
 (b): The relationship between anomaly epicenter distance and time.

Reference:

- [1] Meng, Lingyuan; Yuan, Zhengyi; Song, Zhiping et al.. Summary of the Jiashi M_s 6.4 earthquake in Xinjiang on January 19, 2020. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2020, 41(02): 63-89. (In Chinese)
- [2] Yan, Yucong; Zhou, Xiaocheng; Zhu, Chengying; et al.. Hydrogeochemical characteristics of hot springs in Jiashi area before and after the M_s 6.4 earthquake in Jiashi, Xinjiang in 2020. *Earthquake Research*, 2022, 45(02): 229-240. (In Chinese)
- [3] Zhao, Binbin; Gao, Ge; Aisa, Yisimayili. Analysis of the anomaly characteristic of geophysical observation before the Jiashi M_s 6.4 earthquake in Xinjiang on January 19, 2020. *Inland Earthquake*, 2022, 36(01): 1-8. (In Chinese)
- [4] Chen, Shunyun; Song, Chunyan; Yanwei; et al.. Bedrock temperature changes before and after the Jiashi M_s 6.4 earthquake on January 19, 2020. *Seismology and Geology*, 2021, 43(02): 447-458. (In Chinese)
- [5] Ma, Jin; Ma, Shaopeng; Liu, Peixun; et al.. Identification of thermal field signatures of fault activity and instability-Laboratory evidence. *Seismology and Geology*, 2008(02): 363-382. (In Chinese)
- [6] Ma, Jin; Guo, Yanshuang. Laboratory evidence and earthquake examples of fault accelerated cooperativity before instability. *Seismology and Geology*, 2014, 36(03): 547-561. (In Chinese)
- [7] Ren, Yaqiong; Ma, Jin; Liu, Peixun; et al.. Experimental study on thermal field evolution and instability location identification in stick-slip process of straight fault. *Seismology and Geology*, 2016, 38(01): 65-76. (In Chinese)
- [8] Zhang, Shuliang; Wang, Xia; Guo, Wenfeng; et al.. Sub-instability phenomenon in various geophysical field observation data. *Jilin university journals (Earth Science Edition)*, 2021, 51(02): 571-583. (In Chinese)

**Jia Yong-Bin, Huang Jian-ming, Wang Cheng-guo,
 Li Xin-yong, Li Si-yan, Wang Bin**

(Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY ON WATER RADON OBSERVING INSTRUMENTS: TAKING SHUIMOGOU 15 SPRING IN XINJIANG AS AN EXAMPLE

The underground fluid room of the Geophysical Observation Center of the Xinjiang Seismological Bureau currently uses the instrument FD-125 for radon measurement, which was purchased on February 1, 1979. Due to severe aging caused by prolonged use of the instrument, there is no backup instrument and no manufacturer has produced or replaced it. If the instrument malfunctions and is not repaired in a timely manner, the lack of backup observation instruments will result in data interruption. This will result in a decrease in the reliability, stability, and

continuity of observation data, affecting the overall scientific quality of the observation data. Therefore, taking the 15 spring water samples from Shuimogou, Xinjiang as the measurement object, the DDL-2 radon meter was introduced to detect and conduct comparative experimental research with the FD-125 radon meter under the same environmental conditions. Research has shown that the DDL-2 radon meter has stable performance, a small fluctuation range of measurement values, and has the same variation pattern and trend as the FD-125 radon meter observation data. It can meet the requirements of precursor observation standards and accurately reflect the changes in radon content in groundwater. At the same time, due to the automation of background measurement, bubbling, counting, and calculation during the measurement process, the DDL-2 radon meter is more convenient to operate. This article believes that the DDL-2 radon meter can be used as an updated replacement instrument for the FD-125 radon meter.

1.Comparison of daily experimental operations. The daily experimental operations of water radon mainly include sampling, background measurement, bubbling, counting, calculation, etc. During the measurement process, the DDL-2 and FD-125 radon detectors were simultaneously sampled at Xin15 Spring to measure background, bubbling, and number. Among them, when measuring with the DDL-2 water radon meter, the main sample and auxiliary sample water samples are first connected to the trachea. On the display interface of the DDL-2 water radon meter, click on the test main sample and auxiliary sample bottom. After the background test is completed, click on the main sample test and auxiliary sample test to open the JWTQ-1 automatic circulation bubble degasser the switch on the starts automatic bubbling. According to the automatically set time, the main sample starts automatic bubbling first, and after 10 minutes, the gas path automatically switches. The main sample bubbling stops, and the secondary sample starts automatic bubbling. After 20 minutes, the bubbling ends and the air pump automatically turns off. After 60 minutes, the main sample radon concentration will be automatically measured, after 70 minutes, the secondary sample radon concentration will be automatically measured, and after 80 minutes, the vacuum pump will be started to exhaust for 10 minutes. Finally, pour out the water sample and complete the experimental testing. The FD-125 instrument adopts negative pressure sampling for sampling, and the bubbling time is artificially controlled at 10-11 minutes. Compared to the traditional FD-125 radon meter, the DDL-2 radon meter achieves automation in measuring background, bubbling, counting, and calculation during the measurement process, making the operation process more convenient.

2.Comparative analysis of observation data. (1) The trend changes of the observed data from the two sets of instruments are consistent, with most of the values measured by the FD-125 radon meter being higher than those measured by the DDL-2 radon meter (Figure 1).

(2) The radon content measured by the DDL-2 radon meter ranges from 47.2 to 55.10 Bq/L, with an average of 50.9 Bq/L; The radon content measured by the FD-125 radon meter ranges from 50.4 to 57.6 Bq/L, with an average of 54.6 Bq/L. The data shows that the radon content values measured by the DDL-2 and FD-125 radon meters are basically similar, and the consistency between the two sets of instruments is relatively good. They can meet the requirements of precursor observation standards, reflect the true changes in radon content in groundwater, and capture abnormal information on changes in radon content in groundwater.

(3) Due to the consistency of the radon content measured by the DDL-2 and FD-125 radon meters, as well as the prolonged use of the FD-125 radon meter, the instrument is severely aged and has no backup equipment, and there is no manufacturer to replace it. If the instrument malfunctions and is not repaired in a timely manner, it will cause data interruption and seriously affect the overall scientific quality of the observation data. Therefore, through comparative analysis of data, this article believes that the DDL-2 radon meter can be used as a replacement instrument for the FD-125 radon meter.

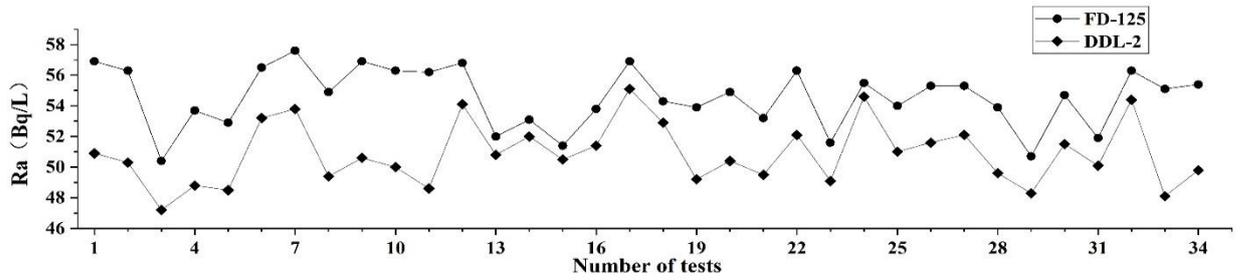


Figure 1 Comparison of measurement data between DDL-2 water radon measuring instrument and FD-125 radon measuring instrument

3. Conclusion.(1) In terms of observation data, the DDL-2 radon meter and FD-125 radon meter have the same variation pattern and trend. The FD-125 radon meter values are basically greater than the DDL-2 radon meter values. This article believes that the DDL-2 radon meter adopts atmospheric pressure sampling measurement, which will cause a small amount of radon loss in the collected samples during the water sample collection process. Therefore, under the same environmental conditions, the values measured by the FD-125 radon meter using vacuum negative pressure method for collecting water samples are basically higher than those measured by the DDL-2 radon meter.

(2) In terms of instrument operation, the DDL-2 radon meter is more advanced than the FD-125 radon meter. JWTQ-1, as the bubbling instrument of the DDL-2 radon meter, achieves automatic bubbling and degassing during the radon measurement process, automatic testing, and then automatic exhaust cleaning of the sensor, effectively solving human experimental errors. The DDL-2 radon meter effectively solves the problem of easy contamination in the scintillation chamber of the scintillation method radon meter, and its sensor is far less contaminated than the scintillation method. At the same time, the DDL-2 radon meter has improved the ionization chamber by adopting a dual ionization chamber working mode, achieving simultaneous observation of the main and secondary components without interference, ensuring long-term stable operation of the instrument.

(3) In terms of performance, the DDL-2 radon meter can meet the requirements of precursor observation standards. The ionization method detects the radon content of dissolved gas in water, and its performance is better than that of the scintillation method, which can accurately reflect the changes in radon content in groundwater. This article believes that the DDL-2 radon meter can be used as a replacement for the FD-125 radon meter.

Jiang Ningbo, Li Dahu
Sichuan Earthquake Agency

A HIGH-RESOLUTION 3-D P-WAVE VELOCITY MODEL OF THE UPPER MANTLE, UNDERNEATH THE EASTERN MARGIN OF THE TIBETAN PLATEAU

1.Introduction. Located at the boundary of the Tibetan Plateau, the eastern margin of the Tibetan Plateau has undergone complex tectonic deformation, and several destructive earthquakes have happened in this region. The main geological units include the Chuan-Dian diamond block in the central part of this region, the Qiangtang block in the northwest, the Songpan-Ganzi block in the north, the Yangtze Craton in the east, and the Indochina block in the south. These blocks are separated by several large active faults, such as the Jinshajiang fault, Red-River fault, Xianshuihe fault, Anninghe fault, Zemuhe fault, Xiaojiang fault, and Longmenshan fault. Nonetheless, the tectonic deformation and dynamic process of the Tibetan Plateau are still unclear. In order to reveal mantle dynamics and tectonic deformation in eastern

margin of the Tibetan Plateau, the detailed information of the deep structure is very critical. we need to use large-scale dense seismic array to determine a high-resolution 3-D P-wave velocity model of the upper mantle.

2.Data and method. In this study, data from a total of 356 mobile seismic stations deployed by the ChinArray Project in the eastern margin of the Tibetan Plateau, 224 permanent stations operated by the regional digital seismic network of Sichuan-Yunnan Province and its adjacent area, and 30 newly built seismic stations in the Ganzi Plateau of western Sichuan were used. A total of 145,254 relative travel time residuals from 1360 teleseismic events were measured using waveform correlation method. By utilizing a large-scale dense seismic array, a high-resolution 3-D P-wave velocity model of the upper mantle was determined. Our research provides more detailed information for understanding the mantle dynamics in the easternmargin of the Tibetan Plateau.

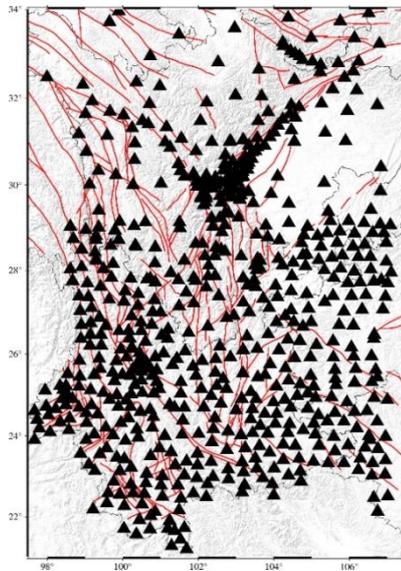


Figure 3 Research area and station distribution map.

We applied fast marching teleseismic tomography (FMTT) to invert the teleseismic relative travel-time residuals for a 3-D P-wave velocity structure underneath the eastern margin of the Tibetan Plateau. FMTT tomography is a newly developed method to study the heterogeneous structure of the earth's interior, and it has many applications and has achieved good results (Rawlinson et al., 2006; Mao et al., 2016; Zhang et al., 2013). This method is a kind of travel-time tomography based on ray theory, it uses the fast marching method for ray tracing, and the ray path is obtained by solving the numerical solution of the eikonal equation (Rawlinson et al., 2006). Its core idea is to simulate the evolution of the wave-front by using a narrow band composed of wave-front nodes. In the inversion calculation, we used a conjugate-gradient algorithm LSQR with damping and smoothing regularizations to resolve the large and sparse system of observational equations (Paige and Saunders. 1982).

3. Conclusion. On May 12, 2008, the Wenchuan Ms8.0 earthquake occurred in the Longmen Shan fault zone, Longmen Shan fault zone is the boundary between the SE Tibet and Sichuan Basin (Zhang et al., 2003). The unique tectonic deformation and basin-mountain interactions in western Sichuan have attracted the worldwide attention of geoscientists (Xu et al., 1992;). Studying the deep tectonic differences between the SE Tibet and Sichuan Basin is important for understanding deep dynamic processes and basin-mountain interaction. In this study, we obtained the high-resolution 3-D P-wave velocity structure of the upper mantle in the depth range of 50-450 km beneath the eastern margin of the Tibetan Plateau. These results provide additional information for understanding the mantle dynamics in the eastern margin of the Tibetan Plateau.

According to the 3D P-wave velocity structure obtained in this study, the lithospheric velocities of the Songpan-Ganzi block and Chuan-Dian diamond block are low, while the lithospheric velocity of the Sichuan Basin (in the eastern part of the study area) is high. The 31°E profile also suggests possible intrusion of the soft material in the upper mantle of the Songpan-Ganzi block into the lower layer of the Sichuan Basin lithosphere. In the Sichuan Basin, the existing tomographic results show high-velocity anomalies in the upper mantle of this region. The high-velocity anomaly below the Sichuan Basin is thinning westward, with the thickness of 350 km below eastern Sichuan Basin decreasing to 150 km to the west (Fig. 2). The low-velocity anomaly below the Songpan-Ganzi block tilts eastward and extends to beneath the Sichuan Basin, indicating possible intrusion of the Songpan-Ganzi block upper mantle soft material into beneath the Sichuan Basin lithosphere. During the extrusion processes, the eastward mantle flow of eastern Tibetan Plateau encounters the rigid barrier of the Sichuan Basin, and escapes partly into plateau region around the Sichuan Basin

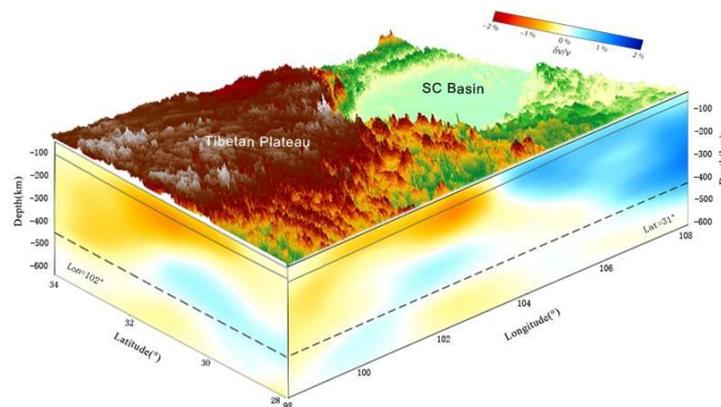


Figure 4 Velocity structure results for 102° E and 31° N

Reference

- [1]. Mao, H., Lei, J., Teng, J., 2016. Teleseismic P-wave tomography of the upper mantle along the north-south profile under the northern Ordos basin. *Chin. J. Geophys.* 59 (6), 2056–2065. <https://doi.org/10.6038/cjg20160612> in Chinese.
- [2]. Rawlinson, N., Reading, A.M., Kennett, B.L.N., 2006. Lithospheric structure of Tasmania from a novel form of teleseismic tomography. *J. Geophys. Res.* 111 (B2), n/a–n/a.
- [3]. Zhang, F., Wu, Q., Li, Y., 2013. The traveltimes tomography study by teleseismic P wave data in the Northeast China area. *Chin. J. Geophys.* 56 (8), 2690–2700. <https://doi.org/10.6038/cjg20130818>. (in Chinese).
- [4]. Zhang, Z., Yuan, X., Chen, Y., Tian, X., Kind, R., Li, X., Teng, J., 2010. Seismic signature of the collision between the east Tibetan escape flow and the Sichuan Basin. *Earth Planet. Sci. Lett.* 292 (3–4), 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.01.046>.

Li Guirong^{1,2,3}, Li Jie^{1,2,3}, Li Rui^{1,2,3}, Sulitan Yusun^{1,2,3}

1. National Field Scientific Observatory of Subduction in the Pamir Plateau, Xinjiang; 2. Urumqi Institute of Seismology, China Earthquake Administration; 3. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region

PRE-EARTHQUAKE HAZARD FACTOR CHANGES before the 2023 FEBRUARY 23rd TAJIKISTAN M_s 7.2 EARTHQUAKE

Abstract: According to the China Earthquake Network, a 7.2 magnitude earthquake occurred in Tajikistan at 8:37 on February 23, 2023. The epicenter was located 10 kilometers deep and approximately 82 kilometers from the border of China. There were three GNSS reference stations within a 300-kilometer

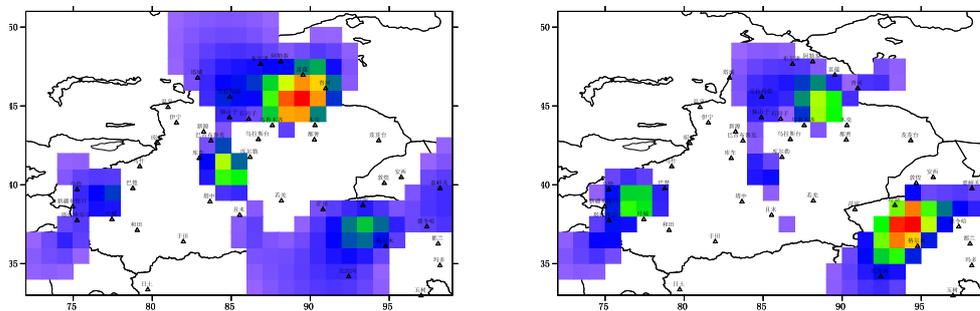
radius of the epicenter, with the nearest one being Buerun (XJBL), which is 167.5 kilometers away from the epicenter; the next closest one is Tashkurgan (TASH), which is 175.3 kilometers away from the epicenter; and the farthest one is Uchqu (XJWU), which is 260.2 kilometers away from the epicenter.

On the basis of calculating displacement time series of various monitoring points using GAMIT/GLOBK software and introducing Kriging interpolation method to gridize the displacement field, a linear, unbiased, and optimal interpolation estimation algorithm is used to solve the strain field. The maximum shear strain and surface expansion time series curves are obtained. Combining the weakened maximum shear strain and increased surface expansion may indicate potential earthquake-prone areas in the future. We call this index "hazard factor". This area is located outside China, with the nearest domestic GNSS reference stations being Buerun, Tashkurgan, and Uchqu. Therefore, it can be clearly judged that the hazardous grids related to earthquake preparation may be around these three stations.

This paper calculates the strain parameters from January 1, 2011 to December 31, 2019. To obtain the cumulative effect of changes in strain parameters, this paper also calculates the strain parameters from January 1, 2020 to December 31, 2020, from January 1, 2021 to December 31, 2021, and from January 1, 2022 to December 31, 2022. With a step size of 30 days and a window length of one year, all settings are set with a fixed starting time. The accumulated time for hazard factors obtained is different, resulting in significant differences in magnitude values. To facilitate comparison, all grid-based hazards are standardized by setting zero to those without risks and one to the highest value of risk.

The Xinjiang region is divided into 486 grids of $1^\circ \times 1^\circ$ size, which provides strain parameters and hazard factors for each grid. From the figure, we can see that the danger level near the $M_S7.2$ earthquake in Muduo has increased significantly from 2019 to 2020. The danger level near the $M_S7.2$ earthquake in Tajikistan has also increased gradually from 2019 to 2022. Analogously, considering the distance between the $M_S7.2$ earthquake in Muduo and the high value area of hazard factor, it is believed that the risk factor in the southern part of the Tianshan Mountains and the intersection of western Kunlun Mountains may have a higher correlation with the birth of the $M_S7.2$ earthquake in Tajikistan and can reflect the increase in danger before strong earthquakes. The hazard factor for the 168 grids was 0.174 from 2011 to 2019, increased to 0.317 from 2011 to 2020, remained unchanged at 0.307 from 2011 to 2021, and greatly increased to 0.577 from 2011 to 2022 before the occurrence of the $M_S7.2$ earthquake in Tajikistan, showing a clear change in increasing danger level.

The analysis of the Tajikistan $M_S7.2$ earthquake shows that the change in strain parameters obtained through GNSS observations can better demonstrate the time and spatial changes in strain before earthquakes of magnitude 7 or higher, providing a reliable reference for regional seismic trend analysis.



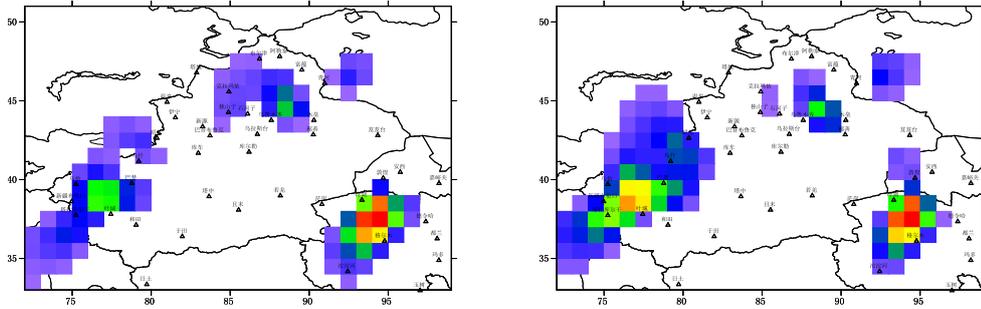


Figure 1: Cumulative Change of Hazard Factor (Upper Left: 2011-2019; Upper Right: 2011-2020; Lower Left: 2011-2021; Lower Right: 2011-2022)

References:

Hong Min, Shao Desong, Li Chunguang, and Wang Lingling. Application Study of Continuous Observation Data of GNSS Reference Stations in Yunnan Province [J]. *Seismological Research*, 2012, 35 (4): 535-539.

Shao Desong, Hong Min, Zhang Yong, Wang Lingling, and Qian Xiaodong. Extraction of Short-Term Anomaly Indexes from Deformation Observation Data in Yunnan Area [J]. *Wuhan University Journal of Information Science Edition*, 2017, 42 (9): 1223-1228.

**Li Jie^{1,2)} Li Rui^{1,2)} Sulitan· Yusan^{1,2)} Sun Xiaoxu³⁾ Ailixiati· Yushan^{1,3)}
Yao Yuan^{1,2)} Wang Xiaoqiang³⁾ Li Guirong^{1,2)} Liu Daiqin^{1,3)}**

- 1) Xinjiang Pamir Intracontinental Subduction National Field Observation and Research Station, Beijing, China ;
- 2) Urumqi Institute of Central Asia Earthquake, China Earthquake Administration, Urumqi, China ;
- 3) Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, China.

THE DEFORMATION CHARACTERISTICS RESEARCH ON KEPINGTAGE FOLD AND THRUST BELT IN SOUTHERN TIANSHAN FROM GPS OBSERVATIONS

Abstract: Located in front of the South Tianshan Mountains, the Keping block has a typical significance during the Cenozoic tectonic evolution of the Tianshan Mountains. Although many scholars from different countries have obtained a broad understanding of the GPS deformation rate in the Tianshan area, which ranges from 10 to 20 mm/a. However, the interior of the Kepingtage Fold was split into two different regions by the Piqiang fault with crustal shortening rate and seismic activity. These problems are still remain unclear. Limited by the natural traffic conditions in the study area, the GPS points are sparsely distributed and with large space that lead to few GPS-based geodetic survey results in this area.

Based on the GPS points by us observed from 2014 to 2020 totally 4period data around the research area, we takes the Kepingtage Fold as the main research object and use the GAMIT/GLOBK software to calculate the velocity field results relative to Eurasia, which filled and enriched the GPS research results in this area to some extent. Based on this, we can make use of profile method to obtain the activity rate of multiple rows of thrust nappies in the fold. By using the mature negative dislocation inversion software, we can calculate the locking coefficients and sliding loss distribution characteristics of the Kepingtage fault, Piqiang fault and Maidan fault in the study area, which has certain reference significance.

Using the latest observation data from 87 GPS stations in the area of the Kepingtage fold-and-thrustbelt, the current crustal movement velocity field in the Keping block under the relative Eurasia reference framework and the Tarim block reference framework was obtained. The results of velocity field show that the crustal shortening deformation is the largest in the basin-range junction zone of Keping in South Tianshan, and gradually decreases towards the interior of the

mountain. The GPS movement rate in the Keping block does not gradually decrease from west to east, but shows uneven movement along the east and west sides of the Piqiang fault. The GPS velocity field on the east side of the Piqiang fault is faster than that on the west side, and showing an obvious trend of high in the east and low in the west. The active rate of the Piqiang fault in the thrust nappe is estimated by using the one-dimensional elastic dislocation model. The Piqiang fault has obvious sinistral strike-slip characteristics, and the slip rate gradually increases from 1mm/a to 4mm/a from south to north, which is consistent with the segmented distribution of seismic activity inside Kelpintag.

Across inherited complex fold-and-thrust belts (FTBs), shortening may be accommodated at different rates depending on structural style variations; such cases have rarely been documented. We present the example of the Kepingtage FTB in southern Tianshan, which is bisected by the NNW-trending leftlateral strike-slip Piqiang Fault (PQF) into eastern and western segments. The 1.45 ± 0.31 – 2.10 ± 0.42 mm/a shortening rate of the eastern segment is accommodated in a diffuse-deformation pattern within the five-row thrust-anticlinal zone and the 2.36 ± 0.23 – 3.70 ± 0.59 mm/a shortening rate of the western segment is accommodated within the two-row thrust-anticlinal zone at the FTB front. To accommodate the latitudinal variability, the PQF exhibits a 2.30 ± 0.20 – 4.10 ± 0.40 mm/a segmentation strike-slip rate. The 2.35 ± 0.33 – 4.20 ± 0.45 mm/a shortening rate of the Kepingtage FTB and southern Tianshan Fault is one-third of the total convergence rate between the Tarim Basin and Kazakh Platform at 77° – 79° E; hence, the complex Tianshan deformation occurred mainly at the FTB.

From the perspective of the maximum and minimum principal compressive strains, the places with the largest principal and tensile strains are concentrated in the Keping block. The place with the highest shear strain rate is on the west side of the north end of Piqiang fault, with a value of $(20\sim 30) \times 10^{-9}$. According to the existing research results, the place with the largest shear strain rate usually indicates the possibility of earthquake.

The Kepingtage fault has a stable change in fault locking, with a complete locking depth within 20km, a partial fault locking between 20 and 40km, and a fully creeping state below 40km.

The Piqiang fault has a fault locking depth of less than 10 km, a partial locking state between 10 and 30 km, and a fully creeping state below 30 km. The slip deficit rate is between 0 and 2 mm/a, which is greater than 1 mm/a at 0 to 15km, and less than 1 mm/a at 15 to 30km. When reached to 30 km below, the slip deficit rate becomes zero finally.

The fault locking situation of the Maidan fault is complicated, and there are obvious stratification phenomena. The fault locking depth gradually decreases from the southwest segment to the northeast end, and gradually decreases from 35km to less than 10km. The slip deficit rate is between 0 and 3 mm/a across the whole fault. The slip deficit rate in the southwest segment is between 2 and 3 mm/a and the depth gradually transitions from 35km to about 20km. The depth of the slip loss rate at the southwestern end of the Maidan fault (75° – 76°) is obviously low, which is likely to be affected by the deep structure of the large dextral strike slip fault—the Talas-Fergana fault zone.

Acknowledgments

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (42274014, 41874015), Key R&D Program of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022B03001-1, 2020B03006-2), National Key Research and Development Program of China (2022YFC3003703), National Programs for Foreign Talent (G2022045013L), Xinjiang third scientific expedition (2022xjkk1305)

CRUSTAL ATTENUATION STRUCTURE OF THE TIANSHAN TECTONIC BELT AND ITS SPATIOTEMPORAL VARIATIONS

The quality factor value (Q) of the crustal medium, which can describe the anelasticity within the Earth's interior, is a sensitive indicator of changes in the crystalline structure induced by temperature and phase transformations. Although the velocity structure of the Tianshan region in Central Asia has been extensively studied, studies regarding its Q values are limited. These studies focus mainly on the crustal attenuation structure of the Tianshan region; however, their results are limited to the qualitative analyses of the local areas or averages over large areas. Therefore, in this study, we conducted seismic attenuation tomography to create a Q map of the crust underneath the Tianshan tectonic belt (TTB) at a resolution of $0.8^\circ \times 0.8^\circ$ using data from 24,273 near-source waveforms recorded by 51 observation stations of the Xinjiang regional seismic network from 2009 to 2020.

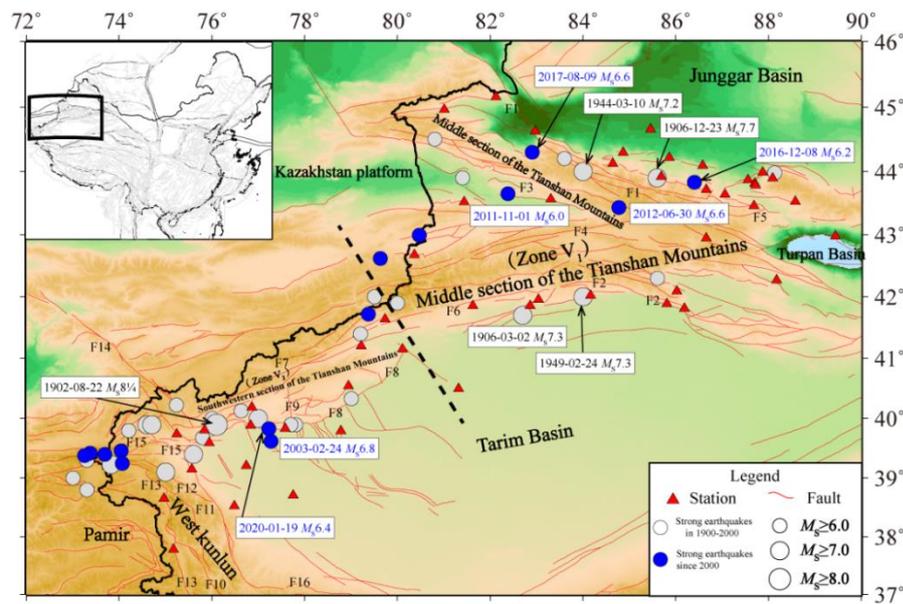


Figure 1. Map illustrating the Tianshan tectonic belt (TTB) and its adjacent tectonic units, along with the geographical distributions of the historical earthquakes and seismic observation stations in the region.

The results showed that the lateral variations in Q are associated with the thickness of the sedimentary layer, intensity of crustal movements, and nature of the medium (Sun et al., 2012). In this study, we performed Q -imaging of the Tianshan crust through attenuation tomography, at a resolution of $0.8^\circ \times 0.8^\circ$, using seismic data from January 2009 to December 2020 (Figure 2). The value of Q_s ranged from 300 to 800, with an average Q_0 value for the entire TTB of 523. This result is consistent with the average Q_0 value (520) reported by Li et al. (2017) for the middle Tianshan region using the same method, but higher than the average Q_0 value (460) for the middle Tianshan region reported by Zhao et al. (2011).

The crustal Q values of the TTB region exhibited significant lateral variations (Figure 2). The distribution of these Q values and the corresponding variations in crustal attenuation were

strongly associated with surface tectonics in this region. The main area of the TTB exhibited high Q values, whereas the parts adjacent to the basins in the south and north and the basin margins were characterized by low Q values, which was in line with the results obtained for other regions of China (Wang et al., 2008; Sun et al., 2012). For example, the regions having thick sedimentary layers, such as the North China Plain, Songliao Basin, and Hailar Plain, are associated with low Q_0 values (high attenuation), whereas regions, such as the Yanshan, Taihang, and Xingmeng fold belts, exhibited high Q_0 values (low attenuation), due to the presence of thin sedimentary layers or bedrock outcrops (Sun et al., 2012).

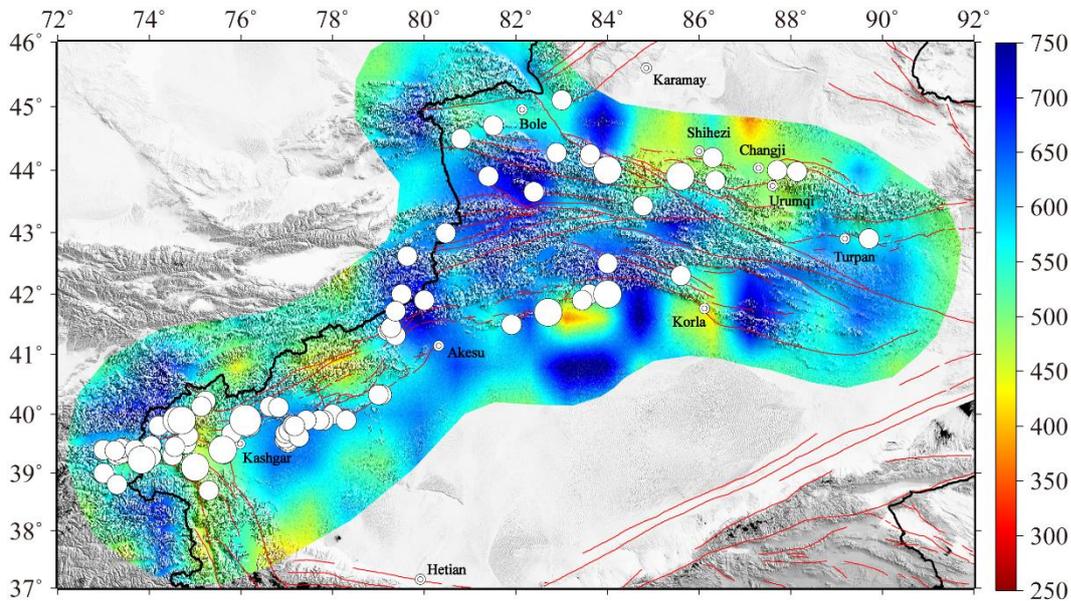


Figure 2. Distribution of S-wave-derived Q values for the Tianshan tectonic belt (TTB) in 2009–2020. White circles indicate the epicenters of earthquakes of magnitudes ≥ 6.0 that occurred after 1900.

Previous studies reported a positive correlation between seismicity and the regional average Q value (Pei et al., 2010; Wang et al., 2016). As the TTB exhibits significant lateral variations in Q , during the analysis it is often divided along the Kashgar–Aksu and Baicheng–Kuqa thrust systems to form two zones, namely V_1 (middle Tianshan) and V_2 (southwestern Tianshan), which have distinct tectonic and seismic characteristics (Figure 1) (Yin et al., 1998; Chen et al., 2001). This zonation has been used in many previous studies (Yang et al., 2008; Gao et al., 2010; Qu et al., 2010; Wang et al., 2011). The temporal variation in the regional average Q of these zones is shown in Figure 3. The average Q value in zone V_1 (red curve) ranged from 490 to 560, showing an upward trend since 2009 (except for the 2011–2012 period). Conversely, the average Q value (blue curve) in zone V_2 was relatively stable, in the range of 490–530 for most of the study period. In addition, the average Q value in zone V_1 was higher than that of zone V_2 during most time periods (except for 2009–2010). The regions with intense tectonic activity and frequent strong earthquakes were characterized by low Q values (Hearn et al., 1991, 2008; S.Y. Wang et al., 2007, 2008, 2016; Ma et al., 2007; Pei et al., 2010). Haydar et al. (1990) have indicated that the active fault areas in the New Madrid seismic zone and its surrounding areas exhibited low Q values and strong seismic-wave attenuation, whereas the tectonically stable areas were associated with high Q values and weak attenuation. Our findings are in agreement with the results of Haydar et al. (1990); zone V_2 portrayed lower Q values than zone V_1 , and the tectonic activity in zone V_2 was also more intense than that in zone V_1 .

Regions with high stress accumulation are typically associated with frequent and intense seismic activities (Wan et al., 2009; Yi et al., 2013). Several studies have shown that the variations in the regional Q value tend to be strongly correlated with the local seismicity. In the Sichuan-Yunnan region, temporal variations in the regional average Q correlate significantly and

positively with the number of earthquakes with magnitudes ≥ 4.5 that occurred during the corresponding period (Pei et al., 2010). In Hainan Island and its adjacent areas, the increase and decrease in the moving average Q_s values generally coincide with the increase and decrease in the local earthquake frequency (Wang et al., 2016).

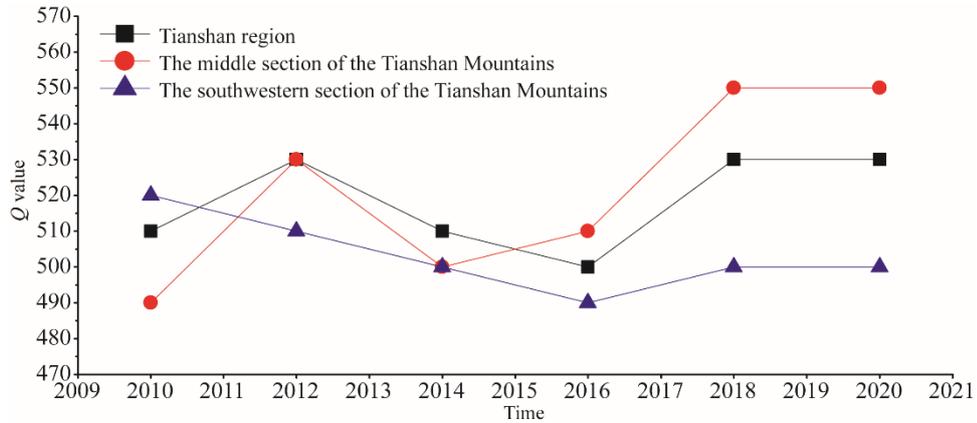


Figure 3. Temporal variations in the regional average Q values in the Tianshan tectonic belt (TTB), middle Tianshan (zone V_1), and southwestern Tianshan (zone V_2) regions.

Based on the abovementioned results, we tallied the numbers of moderate and strong earthquakes in zones V_1 and V_2 over the six two-year time periods (Table 1). There was a strong positive correlation between the regional average Q and the number of earthquakes having magnitudes ≥ 4.0 , in each zone and period (Figure 4). This result was consistent with the findings for the Sichuan–Yunnan region (Pei et al., 2010) and Hainan Island (Wang et al., 2016), where an increase in the Q value was generally accompanied by an increase in the number of earthquakes. However, the causal relationship between the Q value and the number of earthquakes remains ambiguous, because no existing studies could determine whether the increase in the earthquake frequency was caused by an increase in the Q value, or vice versa. In regions where moderate–strong earthquakes are frequent (e.g., the Sichuan–Yunnan region), some scholars are of the opinion that the former (increases in the Q value increase the earthquake frequency) is a better fit for their observations (Pei et al., 2010). That is, the pre-earthquake increase in stress can induce expansions in the rock volume (Scholz et al., 2002), resulting in the initiation, growth, and propagation of microcracks, until the rock is fractured and changes the regional Q value.

Table 1. Earthquake numbers and Q_0 values observed in the middle and southwestern regions of the Tianshan Mountains

Time period	$M_S \geq 3.0$		$M_S \geq 3.5$		$M_S \geq 4.0$		$M_S \geq 4.5$		Average Q_0 value/errors			
	Zone V_1	Zone V_2	Q_0 of Zone V_1	errors	Q_0 of Zone V_2	errors						
2009–2010	80	114	27	44	12	22	3	6	490	13	520	13
2011–2012	119	98	52	33	24	17	10	8	530	16	510	14
2013–2014	102	118	30	33	12	12	3	6	500	12	500	14
2015–2016	118	173	43	45	24	18	9	7	510	15	490	11
2017–2018	174	122	53	39	30	18	14	9	550	18	500	13
2019–2020	156	137	50	51	25	25	13	13	550	17	500	13

*Notes: zones V_1 and V_2 refer to the middle and southwestern sections of the Tianshan Mountains, respectively.

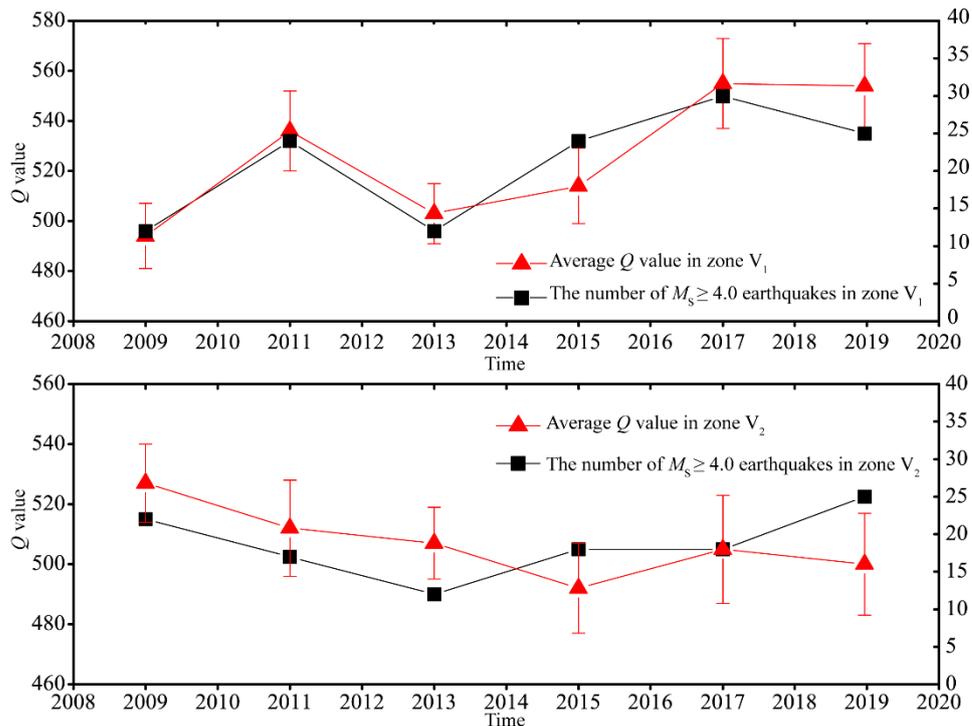


Figure 4. Correlation between average Q values and the number of earthquakes in the Tianshan tectonic belt (TTB) over the study period.

References

- Chen, J., Ding, G. Y., Burbank, D.W., Scharer, K., Rubin, C., Sobel, E., et al. (2001). Late Cenozoic Tectonics and Seismicity in the Southwestern Tianshan China. *Earthq. Res. China* 17, 134-155.
- Gao, G. Y., Nie, X. H., and Long, H. Y. (2010). Discussion on the characteristics of regional tectonic stress field of Xinjiang From 2003-2008. *Seismol. Geol.* 32, 70-79.
- Haydar, J., Al-Shukri, and Mitchell, B. J. (1990). Three dimensional attenuation structure in and around the new Madrid seismic zone. *Bull. Seis Soc. Amer* 80, 615-632.
- Hearn, T. M., Beghoul, N., and Barazangi, M. (1991). Tomography of the western United States from regional arrival times. *J. Geophys. Res.* 96, 16369-16381.
- Hearn, T. M., Wang, S. Y., Pei, S. P., Xu, Z. H., Ni, J. F., and Yu, Y. X. (2008). Seismic amplitude tomography for crustal attenuation beneath China. *Geophys. J. Int.* 174, 223-234.
- Li, J., Zhou, L. Q., Wang, H. L., and Xiang, Y. (2017). Tomography for Q of eastern section of the Tianshan area from high-frequency attenuation of S wave. *Earthq. Res. China* 33, 229-238.
- Ma, H. S., Wang, S. Y., Pei, S. P., Liu, J., and Hua, W. (2007). Q₀ tomography of S wave attenuation in Sichuan, Yunnan and adjacent regions. *Chin. J. Geophys.* 50, 465-471.
- Pei, S. P., Liu, J., Ma, H. S., Gao, X., and Su, J. R. (2010). Dynamic variation of S-wave Q value beneath Sichuan-Yunnan, China. *Chin. J. Geophys.* 53, 1639-1652. doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.07.015.
- Qu, Y. J., Wang, Q., and Nie, X. H. (2010). Research on the structural belts and earthquake activity state in the south part of Xinjiang. *Inland Earthq.* 24, 298-306.
- Scholz, C. H. (2002). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, 2nd ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Sun, L., Li, Y. H., Wu, Q. J., and Wang, S. Y. (2012). Q₀ tomography of S wave attenuation in Northeast China and adjacent regions. *Chin. J. Geophys.* 55, 1179-1185, doi: 10.6038/j.issn.0001-5733.2012.04.014.
- Wan, Y. G., Shen, Z. K., Sheng, S. Z., and Xu, X. F. (2009). The influence of 2008 Wenchuan earthquake on surrounding faults. *Acta Seismol. Sinica* 31, 128-139.
- Wang, H. L., Xu, X. F., Zhou, L. Q., Zhang, X. D., Shen, F. L., Li, Z. X., et al. (2016). Crustal Qs tomography in Hainan Island and adjacent region. *Seismol. Geol.* 38, 631-645.
- Wang, Q., Qu, Y. J., and Nie, X. H. (2011). Analysis on Seismicity State of Tectonic Regions in the Northern Part of Xinjiang. *Northwest. Seismol. J.* 33, 137-142.
- Wang, S. Y., Pei, S. P., Thomas, M. H., Xu, Z. H., James, F. N., and Yu, Y. X. (2008). Crustal S-wave Q

- estimated from ML amplitude II : Q lateral variation in China. *Chin. J. Geophys.* 51, 133-139.
- Wang, S. Y., Pei, S. P., Xu, Z. H., Zhang, G. M., Yu, Y. X., and Pan, H. (2007). Crustal S wave Q estimated from ML amplitude I: attenuation in different tectonic regions of China. *Chin. J. Geophys.* 50, 1740-1747.
- Yang, S. M., Li, J., and Wang, Q. (2008). The deformation pattern and fault rate in the Tianshan Mountains inferred from GPS observations. *Sci. China Earth Sci.* 51, 1064-1080.
- Yi, G. X., Wen, X. Z., Xin, H., Qiao, H. Z., and Gong, Y. (2013). Stress state and major-earthquake risk on the southern segment of the Longmen Shan fault zone. *Chin. J. Geophys.* 56, 1112-1120, doi: 10.6038/cjg20130407.
- Yin, A., Nie, S., Craig, P., Harrison, T. M., Ryerson, F. J., Qian X. L., et al. (1998). Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan. *Tectonics* 17, 1-27.
- Zhao, C. P., Chen, Z. L., Hua, W., Wang, Q. C., Li, Z. X., and Zheng, S. H. (2011). Study on source parameters of small to moderate earthquakes in the main seismic active regions, China mainland. *Chin. J. Geophys.* 54, 1478-1489, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.06.007.

LI Si-yan¹, WANG Xiao-fei¹, Li Gui-rong¹, FENG Wei², Abudutayier·Yasen²
 (1. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China ; 2. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

USING HILBERT-HUANG TRANSFORM AND TIME-DOMAIN LINEAR CORRELATION TO ANALYZE THE MICRO-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PRE-EARTHQUAKE DISPLACEMENT BASED ON GNSS DATA IN XINJIANG

Taking the examples of the Aketao 6.7-magnitude earthquake in the West Kunlun seismic zone on November 25, 2016, and the Hutubi 6.2-magnitude earthquake in the North Tianshan seismic zone on December 8, 2016, the study selected continuous GNSS observation station data around the epicenters. By combining methods such as seismic source mechanism analysis, baseline time series analysis, Hilbert-Huang Transform, and time-domain linear correlation, the study investigated the characteristics of pre-earthquake abnormal changes and obtained the following preliminary understanding and conclusions.

1. The GNSS time series are decomposed into a set of joint signals consisting of time, instantaneous frequency, amplitude, and energy using the Hilbert-Huang Transform (HHT). Taking Jinghe 6.6 magnitude earthquake on August 9, 2017 with a dense distribution of stations near the epicenter as an example, the GNSS time series from four stations (Bayinbuluk, Dushanzi, Xinyuan, and Yining) in the same block are analyzed using HHT. Multiple sets of comparative analysis are performed on different filtering frequency bands within the same reference framework. By applying the HHT bandpass filter in the frequency range of

Project :

Xinjiang Earthquake Science Foundation (202211)

Brief introduction:

Li Si-yan, female, Engineer, engaged in earthquake forecast research. E-mail: 65609280@qq.com
 3.8580×10^{-7} to 6.4300×10^{-8} Hz (equivalent to a period of 30-180 days), slight displacements higher than the average motion level are observed in the north-south and vertical directions 42 days before the earthquake. The increased magnitude of horizontal motion confirms the compressional stress acting in the north-south direction on the fault zone, which is consistent with the focal mechanism of the Jinghe 6.6 magnitude earthquake suggesting a nearly east-west distribution. This may contribute to the occurrence of the earthquake. This filtering frequency band effectively captures the pre-seismic anomalous abrupt signal.

2. The time-domain linear correlation analysis, based on the HHT, filters the time series into the amplitude and instantaneous frequency within a one-year time scale. The selection

of pairwise correlated stations is combined with the seismic structure and fault distribution. By calculating the amplitude, squared coherence function, and correlation coefficient of pairwise correlated stations, the following results are observed: For the Aketao 6.7 magnitude earthquake, high values of correlation coefficient and squared coherence are observed as precursory abnormal information 55 days before the earthquake. The abnormality ends before the earthquake occurs. The correlation characteristics between Bulunkou-Wuqia, perpendicular to the fault distribution direction, are more significant than those between Tashikuergan-Bulunkou, which are parallel to the fault distribution. For the Hutubi 6.2 magnitude earthquake, the squared coherence function values are significantly higher than the background value around 25 days before the earthquake. The variations in amplitude and correlation coefficient of Urumqi-Wulasitai, perpendicular to the fault distribution, are more indicative. The abnormal variations in Shihezi-Urumqi, parallel to the fault distribution, and Shihezi-Wulasitai, forming an angle of approximately 45° with the fault, show similar abnormal characteristics. These findings can be used to assess earthquake hazard.

3. Through the time-domain linear correlation analysis of the Aketao 6.7 magnitude earthquake and the Hutubi 6.2 magnitude earthquake, which are located in different seismic zones, the following common characteristics are observed: when two stations have consistent motion directions and their amplitude values are close or nearly equal, the correlation coefficient between them is higher. Conversely, when there is a significant difference in amplitude values, the correlation coefficient is lower. The value of the squared coherence function depends on the amplitude variation, with larger amplitude differences resulting in higher values of the coherence function. Rapid increases in the value of the squared coherence function and higher correlation coefficients can be considered as indicators of pre-seismic anomalies.

4. The application of time-domain linear correlation analysis in the Xinjiang region is still in the exploratory stage. The analysis of the Aketao 6.7 magnitude earthquake and the Hutubi 6.2 magnitude earthquake indicates that the results of the time-domain linear correlation analysis are related to and different from those of baseline sequence analysis. The similarity lies in the selection of stations, which is dependent on the fault distribution direction. The difference is the varying sensitivity of obtaining abnormal information from the same stations in the same direction. Additionally, time-domain linear correlation analysis extracts HHT-filtered data within a one-year period before the earthquake, which reveals the subtle changes in pre-seismic displacements and suggests the presence of anomalies. In practical applications, both methods should be combined to provide a basis for earthquake trend prediction.

References:

[1] Chieh-Hung Chen, Strong Wen, Jann-Yenq Liu, Katsumi Hattori, Peng Han, et al. Surface displacements in Japan before the 11 March 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 80:165-171.

Yueshuai Li Mingshuai Tang Yunyun Wei

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 830011, China

ANALYSIS OF CRUSTAL STRUCTURE BELOW THE SOUTHWEST TIANSHAN BASIN RANGE JOINT PROFILE USING RECEIVER FUNCTION CCP METHOD

The junction of the southwest Tianshan Basin is located in the connecting zone of two tectonic units in the Tianshan fold belt and the Tarim Basin, and it is also one of the areas with the strongest new tectonic movement and deformation in the western tectonic joint zone. The arc-shaped Pamir Plateau and the Tian Shan Mountains near EW direction are the uplift units of the region, and the unique tectonic characteristics and tectonic movements that are still active today make this area occupy a very important position in the study of continental dynamics and

orogenic belt deformation. The study of the crustal structure in the study area is of great significance for the dynamic mechanism and seismicity analysis of the uplift of orogenic belts in this area. The common conversion point (CCP) imaging method based on ray backprojection can improve spatial resolution, obtain intuitive stacked profiles, and study the lateral changes in the velocity discontinuity between the crust and upper mantle. This method is suitable for profiles with dense linear distribution. In this paper, the following conclusions are drawn by analyzing the recorded data of 10 stations in the Tianshan Phase II data, calculating the receiving function, and using the CCP superposition method to calculate the burial depth of the shell intersection under the basin-mountain junction station in the southwest Tianshan and Tarim Basin:

(1) The thickness of the earth's crust under the profile of the Tianshan Phase II data generally showed the characteristics of thin east and thick west, the depth of the Moho surface in the east of the profile was about 50km, and the depth of the western mountainous area was about 55km, and obvious errors occurred at the Tot Gongbaiz fault.

(2) The junction of the southwest Tianshan Mountains and the Tarim Basin may have a gap between about 10-20km inside the earth's crust, and this intermittent surface also has obvious faults at the Tot Gongbaiz fault.

(3) There was a significant correlation between the burial depth of the earth's crust at the junction of the basin and mountains of the Tianshan Mountains in southwest China, and the higher the altitude of the area, the deeper the crust burial depth.

**Daiqin Liu^{1,2,3,4}, Zhenyu Wang⁵, Guangyu Fu⁶,
Xiaofeng Liang⁷, Yuan Yao^{2,3,4}, Yan Hu¹, Jie Li^{2,3,4}**

¹School of Earth and Space Sciences,

University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

²Xinjiang Pamir Intracontinental Subduction National Observation and Research Station,
Urumqi 830011, China

³Urumqi Institute of Central Asia Earthquake, China Earthquake Administration,
Urumqi 830011, China

⁴Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

⁵Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

⁶School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing, 100083,
China ⁷Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

STUDY ON CRUSTAL DENSITY STRUCTURE AND FLEXURE MECHANISM IN TARIM BASIN

Since the Cenozoic era, the corridor between the southwest Tianshan Mountains and the West Kunlun Mountains has gradually closed, making the Tarim Basin an inward flow area. The resulting drape sedimentation is an important reason for the formation of the present layered crustal structure of the Tarim Basin. The observation results of background noise imaging, Induced seismicity, magnetotelluric, etc. show that the strata on the south and north sides of the Tarim Basin have obvious subsidence, which is related to the deflection caused by the uplift of the Tianshan Mountains and the West Kunlun Mountains. At present, the composition of deep bedrock materials in the Tarim Basin is still a hot topic. Some scholars believe that the deep structure of the Tarim Basin can be regarded as a whole, and the material of the whole basin is uniform. However, some scholars believe that the basin is composed of two independent blocks in the south and north, and the suture area in the middle has high electromagnetic and gravity anomaly.

The research group carried out joint observation of relative mobile gravity and GNSS dynamic difference along the desert highway running through Tarim Basin from north to south. The whole survey line is about 900 km, with point spacing of 1- 2 km, and 728 high-precision

and high-resolution gravity and elevation observation points have been obtained. The Bouguer gravity anomaly in the study area is obtained by combining the surface observation data and satellite data and making various corrections. The crustal density structure and effective elastic thickness are obtained by joint inversion and flexure analysis with seismic data, and a model of tectonic evolution process in Tarim basin is proposed. The result shows that:

(1) The Bouguer gravity anomalies of the survey lines are all negative, showing the characteristics of high in the middle and low in the south and north sides of the Tarim Basin. The Bouguer gravity anomaly at the south end of the survey line is the smallest, reaching -330 mGal; The Bouguer gravity anomaly gradually increases northward along the survey line and reaches the highest value of -130 mGal in the central part of Tarim Basin. Bouguer gravity anomaly in the north of Tarim Basin is relatively flat, maintained between -220~-240 mGal; The Bouguer gravity anomaly decreases again to -316 mGal in the southern Tianshan Mountains. Tumuxiuke deep fault is an important boundary zone of Bouguer gravity anomaly.

(2) All strata in the central Tarim Basin show a convex shape, corresponding to the high value of Bouguer gravity anomaly. The thickness of the sedimentary layer in the central part of Tarim Basin is the smallest, about 5km, while the thickness in the southern part is larger, up to 10km.

(3) The Moho surface under the flat Tarim Basin is undulating, with a maximum undulation of about 10km.

(4) The effective elastic thickness of the lithosphere in the central Tarim basin is 40 km, and that in other regions is about 50 km. The effective elastic thickness of lithosphere changes little to the north of Tumuxiuke deep fault, but it changes much to the south.

(5) The results of gravity anomaly, density inversion and flexure analysis show that the Tarim basin is not a whole, but composed of two independent blocks in the north and south, and its boundary is the Tumuxiuke deep fault.

(6) According to the inversion of crustal density structure and the results of flexure simulation, the evolution of Tarim basin has gone through two important stages. In the first stage, the bottom of lithosphere in Tarim basin was invaded by the upwelling of deep asthenosphere material, which made the crust in the middle of Tarim basin thin. In the second stage, the Tarim basin was subjected to the vertical loading and horizontal compression of the Tianshan and Kunlun mountains, resulting in flexural deformation and further uplift of the crustal structure in the middle.

Acknowledgements: This work is funded by the Key R&D Program of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2020B03006-2), Strategic Priority Research Program (B) of Chinese Academy of Sciences (XDB18000000), and Spark Program of Earthquake Sciences (XH22007YA).

**LIU Jianming¹, YU Huaizhong², Wang Qiong¹, Li Jin¹,
Gao Ge¹, Wu Guodong¹**

¹Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

²China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

SEISMOGENIC STRUCTURE AND RUPTURE PROCESS OF THE 2016 M_S 6.7 AKTO XINJIANG CHINA EARTHQUAKE

According to the China Earthquake Network Center, on November 25, 2016, at 02:24:30, an M_S 6.7 earthquake occurred in Akto County, Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China (referred to as the Akto earthquake). The epicenter was located at 39.27°N, 74.04°E and the focal depth was 10 km. The earthquake was 116 km from Wuqia County and 169 km from Kashgar City, and the earthquake was strongly felt in Akto, Wuqia and Kashgar, causing one death, several injuries and serious direct economic losses (Yao

et al., 2018). As of 24:00 on February 28, 2017, the Xinjiang Digital Seismic Network has recorded 924 aftershocks of $M_S \geq 0$ earthquakes, including 1 M_S 5.0–5.9 earthquake, 3 M_S 4.0–4.9 earthquakes, and 61 M_S 3.0–3.9 earthquakes.

High-precision earthquake location, focal mechanism solution and the spatiotemporal distribution of earthquake rupture can provide more accurate information on the spatial distribution, the geometry of the deep and shallow seismogenic fault, the source time function, and the slip evolution on the fault plane. These provide an essential seismological basis for exploring the seismogenic structure and kinematic characteristics of the earthquake, as well as revealing the structural deformation status and the dynamical evolution process of the region. In the study, based on the relocation results of the Akto earthquake sequence, the focal mechanism solution, and the regional geological structure background, the seismogenic structure of this earthquake is discussed. At the same time, by integrating the rupture process with the focal characteristics of the Akto earthquake are further discussed.

1 Methods and data. To obtain a relatively accurate earthquake sequence catalog, the double-difference earthquake location method (Waldhauser and Ellsworth, 2000) was used to relocate the Akto earthquake sequence. The method is a relative location technique that estimates high-precision source location parameters by comparing the difference between the earthquake and travel time residuals. It effectively eliminates the common propagation path effect between the source and the station, and reduces the impact of the crustal velocity model on the location. This method has been widely used in earthquake sequence relocation, and many substantial results were obtained. During relocation, the P- and S-wave seismic phases were assigned weights of 1.0 and 0.7, respectively. A minimum of 6 connections and observations were required, and the distance between event pairs was 10 km. The seismic sequences were divided into 3 groups, and 12 iterations were repeated for relocation.

The generalized Cut and Paste method (Zhu and Ben-Zion, 2013) is an extension of the CAP method, which is commonly used to calculate double-couple seismic events of shear sources and non-double-couple seismic events of other sources. It is also used for calculating the focal depths of moderate to strong earthquakes. The focal mechanism solution and focal centroid depth of the Akto earthquake were obtained from 10 stations within 400 km away from the epicentral center using the retrieval algorithm of P-wave initial motion and waveform fitting in the gCAP method, based on the crust 1.0 velocity model. In the inversion process, the Green's function was calculated using the frequency-wavenumber method. The Pn- and S-wave filtering ranges were 0.02–0.10 Hz and 0.05–0.10 Hz, respectively. The depth search interval was 1 km.

Based on the linear inversion method proposed by Zhang et al. (2012), the source rupture process of the Akto earthquake was inverted using the teleseismic broadband P-wave waveform data of the global seismic network provided by the IRIS data center. To inverse the source rupture process, the stations located between 30° and 90° from the epicentral distance with azimuth and distance of 10° from source angles were selected based on the crust 1.0 velocity model. Finally, A total of 24 P-wave waveform data with relatively uniform azimuth distribution and high signal-to-noise ratio were selected as well. The Green's function was calculated using the reflectivity method, and the non-negative constrained conjugate gradient method was chosen to solve the linear equations.

2 Results and discussion

2.1 Earthquake sequence relocation. Based on the above parameter settings, the relocation of the 777 seismic events in the Akto seismic sequence were obtained. The mainshock occurred on November 25, 2016, at 14:24:28, with the epicenter of 39.21°N, 74.01°E and an initial rupture depth of the hypocenter of 12.3 km. The average relative error of the seismic sequence in the east-west, north-south and depth directions were approximately 1km, and the RMS of the travel time residuals was 0.09s.

Fig.1 illustrates the epicenters distribution of the Akto earthquake sequence before and after relocation. The results show that the earthquake distribution before relocation was relatively divergent, whereas the linear feature of the earthquake distribution after relocation was more clearer. The earthquake sequence was generally distributed in the NWW direction along the southern side of the Muji Fault on both sides of the mainshock. The dominant length of the earthquake zone was about 80 km and the width was about 10 km. To show the structural details of the seismogenic fault plane, two sections were provided. Section AA' which was located along the dominant distribution of hypocenter depths in the earthquake sequence, revealed that the aftershocks were mainly distributed on both sides of the epicenter with a distribution length of nearly 50 km on the eastern side and hypocenter depths essentially concentrated in the interval of 0-15 km. Section BB' which was perpendicular to the strike of the fault and had a width of 30 km, demonstrates that the seismogenic fault was almost vertical. The rupture nucleates at depth and most of the aftershocks were chiefly distributed above the main earthquake, indicating that the earthquake ruptured from depth to shallower levels.

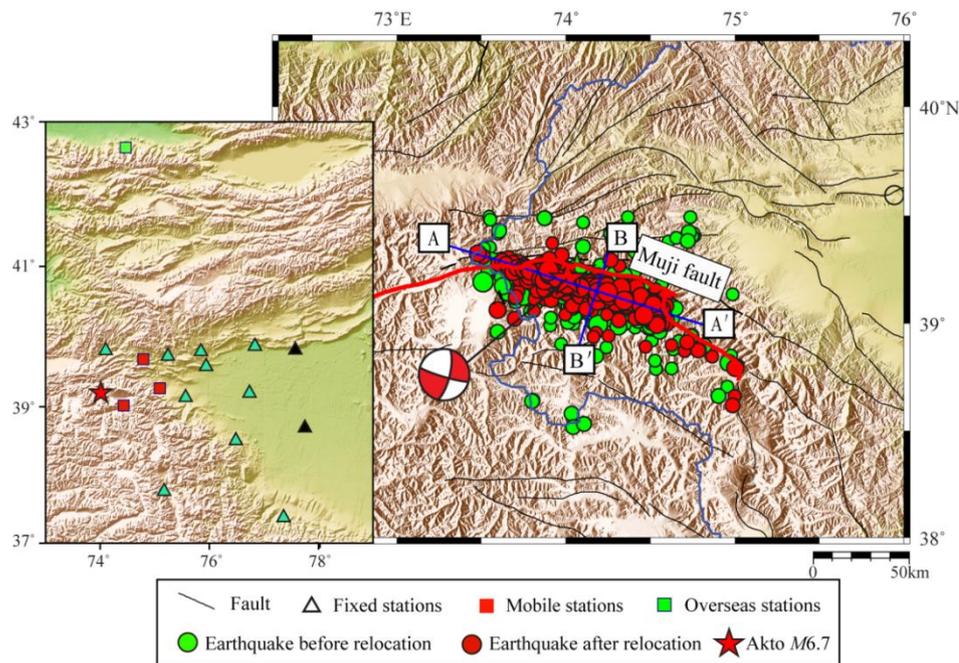


Figure 1 Distribution of earthquake epicenters before and after relocation

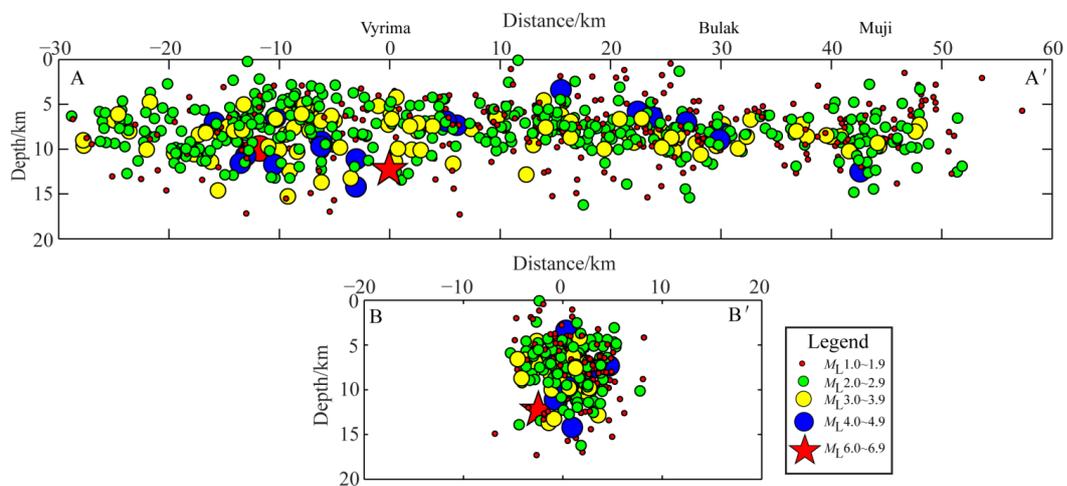


Figure 2 Distribution of focal depth of the earthquakes along the A-A' and B-B' sections

2.2 Focal mechanism solution. The seismic inversion error for the Akto earthquake at different depths is shown in Fig. 3. The results shows that the optimal focal centroid depth is 14 km, which is 1.7 km deeper than the initial rupture depth provided by the double-difference earthquake location. The main reasons for the depth discrepancy can be highlighted as follows. First, the initial rupture depth is generally obtained by the arrival time datas, and the focal centroid depth is generally obtained by the waveform datas, reflecting the average depth of the earthquake slip distribution. Second, when there is no stations within 100km of the epicenter and depth seismic phase, it is difficult to effectively constrain the source depth by using travel time data. Finally, the altitude of the epicentre is relatively high, the depth difference caused may reach 1~2 km by terrain and station elevation. The focal mechanism solution shows that the nodal plane I was characterized by 106° strike, 83° dip, -162° slip angle, whereas nodal surface II was 14° strike, 72° dip, and -7° slip angle. The moment magnitude was approximately $M_w 6.6$, which is a strike-slip earthquake. Combined with the characteristics of the spatial distribution of the earthquake sequence after relocation, the nodal plane I was the actual fault plane of the earthquake.

The Muji Fault is located near the epicenter of the Akto earthquake at the northern end of the Kongor extension system. It is almost vertical, mostly dominated by a right lateral strike, with a general northwest-west trend and a length of more than 100 km. Based on the analysis of the spatial distribution characteristics of the earthquake sequence, the solution of the focal mechanism, and the nature of the Muji Fault, it is believed that the seismogenic fault of the Akto earthquake is the Muji Fault.

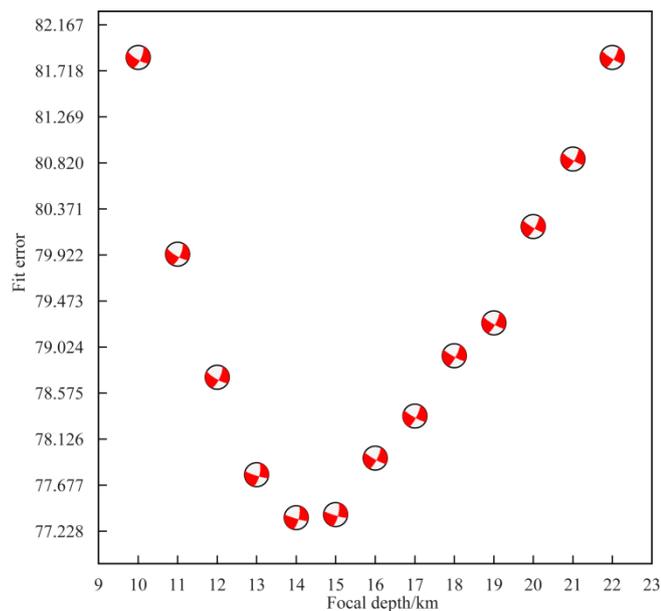


Figure3 Variation of waveform fitting error with depth in the inversion of the moment tensor of the Akto earthquake

2.3 Rupture process. The rupture of this earthquake lasted for about 24s, with two main stages of energy release in 0-10s and 10-17s. The seismic moment release is mainly concentrated in the first sub-event. The inverted scalar seismic moment is predicted to be 1.5×10^{19} N.m, which corresponds to $M_w 6.7$. The distribution of static slip on the fault plane indicates that the Akto earthquake incorporated into a two-way rupture event, with a rupture length of about 70 km along the strike of the fault and a rupture depth of 0-15 km along the dip direction. The maximum slip is obtained as about 0.9 m, which is concentrated in the distance of 0-20 km on both sides of the epicenter. Besides, a rupture also occurred in the range of 25-40 km southeast-south of the epicenter with a slip of 0.4 m. Preliminary geological investigations of the earthquake indicate that the earthquake found new surface rupture zones at two points along the

Muji Fault, approximately 2.4 km to the SEE (Vyrima village) and 32.6 km to the east(Bulak village). These are precisely placed in the areas where the most slip occurred during the two sub-events, which supports the reliability of the results in the present scrutiny(Fig.4).

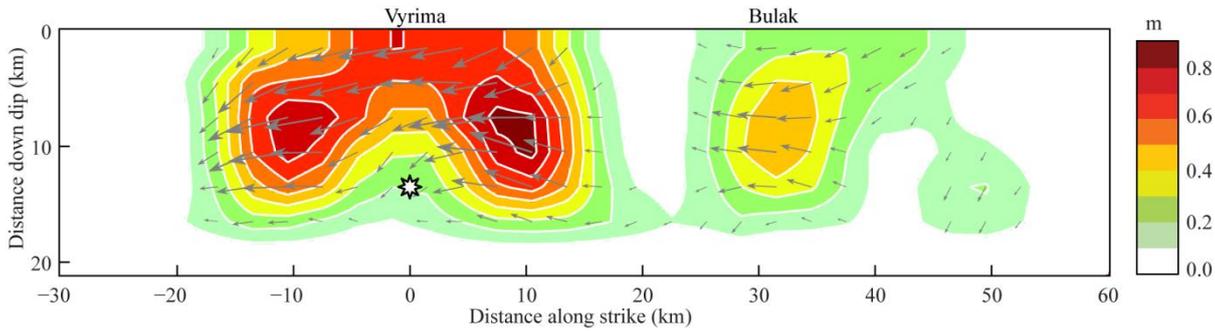


Figure 4 Inversion results of the rupture process of the Akto earthquake.

3 Conclusions. Based on the observation report and waveform data from the Xinjiang Digital Seismic Network, and teleseismic data from the Global Seismic Network (GSN) provided by the IRIS Data Center, this exploration was concerned with analyzing the seismogenic structure and rupture process of the Akto earthquake. The major results and insights obtained have been summarized in the following.

(1) The double-difference earthquake location method was used in this study to relocate the Akto earthquake sequence. The Akto mainshock epicenter was located at 39.21°N , 74.01°E , and the rupture started at a depth of 12.3 km. The difference in the location of the earthquake center compared to the one given by the China Earthquake Network Center was reported to be about 7 km. Further analysis indicated that this difference might be attributed to the exploitation of initial velocity models, the participation of different stations, and the location method. The earthquake sequence was generally distributed along the southern side of the Muji fault in the NWW direction ($\sim 290^{\circ}$), with a length and a width of about 80 km and 10 km, respectively. The depth of the earthquake sequence was mainly concentrated in the range of 0–15 km, with the rupture starting at depth and the aftershocks extending to the shallow parts. The seismogenic fault was almost vertical.

(2) The focal mechanism solution and centroid depth of the Akto earthquake were calculated using the gCAP method. The results indicate that the earthquake was a strike-slip event, with nodal plane I having a strike of 106° , a dip of 83° , and a slip angle of -162° , a moment magnitude of 6.6, and focal centroid depth of 14 km. Combined with the characteristics of the spatial distribution of the earthquake sequence and the characteristics of the seismogenic fault plane, it is determined that nodal plane I is the actual seismogenic fault plane of this earthquake. This focal mechanism solution is consistent with the focal mechanism of regional historical earthquakes. Furthermore, the direction of the P-axis of the principal compressive stress of this earthquake was NW, which is consistent with the background stress field in this area. The analysis suggests that this earthquake might have been affected by the action of the NW-oriented horizontal compressive stress.

The Muji fault near the epicenter was located at the northern end of the Kongor extension system. It possesses a northwest-west strike and extends for more than 100 km. The fault is almost vertical and is dominated by right strike-slip motion(Chen et al., 2016). By combining the characteristics of the spatial distribution of the earthquake sequences, and the results of the focal mechanism solutions, it was *believed* that the seismogenic fault of the Aketao earthquake was the Muji Fault.

(3) Based on the relocation and focal mechanism solution results, the rupture process of this earthquake was inverted by teleseismic data. The inversion results revealed that the Aketao earthquake exhibited a two-way rupture event that lasted approximately 24 s, with a released

scalar seismic moment of 1.5×10^{19} N·m, corresponding to a moment magnitude of M_w 6.7. The results that the characteristics of the earthquake displacement field distribution on the ground surface of the Aketao earthquake were very compatible with the earthquake intensity distribution, also in a good agreement with the field seismic geological survey. The aftershocks occurred mainly in areas where slip was concentrated during the two rupture sub-events, at a distance of 0 to 20 km on both sides of the epicenter and 25 to 40 km southeast of the epicenter, with maximum slips of 0.9 m and 0.4 m, There was a gap of nearly 7 km in the middle of the slip concentration area, indicating that such a zone and its edges could correspond to the relocations of obstacles on the fault plane, indicating the complex rupture process of the Aketao earthquake. The maximum slips was consistent with Li et al. (2018) and Wang et al. (2017), while was smaller than that of Feng et al.,(2017). The Aketao earthquake was the largest earthquake near the epicenter since the 2015 M_s 7.2 Tajikistan earthquake. The obtained results revealed that this earthquake was a shallow strike-slip earthquake that occurred on the Muji Fault at the northern end of the Kongur extension system. This evidences that the E-W extension was the primary regional tectonic movement pattern along the Pamir margin.

References

- [1] Chen, J., Li, T., Sun, J. B., Fang, L. H., Yao, Y., Li, Y. H., et al. (2016). Coseismic surface ruptures and seismogenic Muji fault of the 25 November 2016 Aketao M_w 6.6 earthquake in northern Pamir. *Seismology and geology*, 38(4), 1160-1174. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2016.04.028.
- [2] Feng, W. P., Tian, Y., Zhang, Y., Samsonov, S., Almeida, R., and Liu, P. (2017). A slip gap of the 2016 M_w 6.6 Muji, Xinjiang, China, earthquake inferred from Sentinel-1 TOPS interferometry. *Seismological Research Letters*, 88(4), 1–11. doi.org/10.1785/0220170019.
- [3] Li, J., Liu, G., Qiao, X., Xiong, W., Wang, X., Liu, D., et al. (2018). Rupture Characteristics of the 25 November 2016 Aketao Earthquake (M_w 6.6) in Eastern Pamir Revealed by GPS and Teleseismic Data. *Pure and Applied Geophysics*, 175(2), 573-585. doi:10.1007/s00024-018-1798-9.
- [4] Tang, L. L., Zhao, C. P., and Wang, H. T. (2012). Study on the source characteristics of the 2008 M_s 6.8 Wuqia, Xinjiang earthquake sequence and the stress field on the northeastern boundary of Pamir. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 55(4): 1228-1239. doi: 10.6038/j.issn.0001-5733.2012.04.018.
- [5] Waldhauser, F., and Ellsworth, W. L. (2000). A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6), 1353-1368. doi:10.1785/0120000006.
- [6] Wang, S., Xu, C., Wen, Y., Yin, Z., Jiang, G., and Fang, L. (2017). Slip Model for the 25 November 2016 M_w 6.6 Aketao Earthquake, Western China, Revealed by Sentinel-1 and ALOS-2 Observations. *Remote Sensing*, 9(4), 325. doi:10.3390/rs9040325.
- [7] Wei, Y. Y., Li, J., Wang, Q., and Sun, Z. J. (2020). The Characteristics of the Focal Mechanisms of M_s 6.7 Earthquake Sequence on November 25, 2016 in Aketao, Xinjiang. *Earthquake research in China*. 36(1), 34-45.
- [8] Yao, Y., Chen, J., Li, T., Fu, B., Wang, H. R., Li, Y. H., et al. (2018). Geological hazard characteristics and macroscopic epicenter of November 25, 2016, Aketao, Xinjiang, M_w 6.6 earthquake. *Seismology and geology*, 40(2), 426-439. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2018.02.010
- [9] Zhang, Y., Feng, W. P., Chen, Y. T., Xu, L. S., Li, Z. H., and David, F. (2012). The 2009 L'Aquila M_w 6.3 earthquake : A new technique to locate the hypocentre in the joint inversion of earthquake rupture process. *Geophysical Journal International*, 191(3): 1417-1426. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05694.x.
- [10] Zhu, L., and Ben-Zion, Y. (2013). Parametrization of general seismic potency and moment tensors for source inversion of seismic waveform data. *Geophysical Journal International*, 194(2), 839-843. doi:10.1093/gji/ggt137.

IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATIC INSPECTION PLATFORM OF INFORMATION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE XINJIANG EARTHQUAKE INFORMATION NETWORK

In recent years, with the promotion of network security and information construction of seismic systems, there are more and more information systems for operation and maintenance management of many provincial bureaus^[1]. Taking Xinjiang Earthquake Information Network as an example, the total number of information systems of the seismic industry network exceeds 15, including local area network firewall, industry network firewall, industry network situational awareness platform, industry network intrusion detection platform, computer room environmental monitoring platform, industry network management, etc. There are more information systems of earthquake warning network. In order to detect network anomalies in time and ensure the safe and stable operation of the network, the patrol information system has become one of the important contents of the daily work of operation and maintenance personnel^[2]. According to the traditional manual inspection method, operation and maintenance personnel need to log in to the information system, grab key indicators, take screenshots to retain evidence, analyze the causes of abnormal indicators, and form patrol reports. According to the author's rough statistics, the average inspection time of Xinjiang Seismic Information Network information system is more than 1.5 hours, and the workload of two patrols a day is even greater during special periods. If some steps in the patrol work are fixed and repetitive, such as logging in to the platform, switching web pages, selecting data and pasting screenshots, etc., can be realized by automation technology, the patrol time can be shortened to a certain extent, saving time and energy for operation and maintenance personnel to troubleshoot network anomalies and deal with network failures. Therefore, this research aims to design and implement an information system automatic patrol platform to complete the automatic identification, storage, comparison and analysis of important indicators, data visual display and the generation of patrol reports, so as to effectively improve the efficiency of patrol work. The platform only needs to make a small adjustment to be extended to other provincial bureau applications.

The flowchart of the automatic patrol function is shown in Figure 1. The overall idea is to use the Python-based selenium automated test framework, image recognition technology, office automation technology, etc. in the Windows environment to automatically log in to the information system and locate, identify, store and compare and analyze web page elements, and finally generate a patrol report.

In order to facilitate maintenance, the development of patrol platforms usually adopts the separation of front-end and back-end. The basic functions to be realized by the front-end platform include account registration and management, patrol time setting, selection of patrol objects, and visual display of data. This time, it adopts a combination of Vue framework and Apache Echarts technology. Vue is a lightweight front-end JavaScript framework, which has the advantages of component development and less code writing, and is easy to integrate with other existing projects or libraries^[2]. Apache Echarts is a data visual chart library based on JavaScript, which provides hundreds of charts such as line charts, pie charts, bar charts, etc. Users only need to provide data to automatically draw corresponding charts, which is very convenient and fast^[3].

The basic functions to be realized by the back-end program include automatic information system login, extraction and storage of key data, data comparison analysis, and patrol report generation. This time, a combination of Flask framework and asynchronous task queue Celery is adopted. Flask is a relatively popular web application framework at present. Its advantages are that it is lightweight, flexible, easy to use and has good scalability^[4-5]. Celery is a distributed task queue framework based on Python implementation, which can be used to implement asynchronous tasks, and timed tasks can be achieved if combined with Crontab^[6].

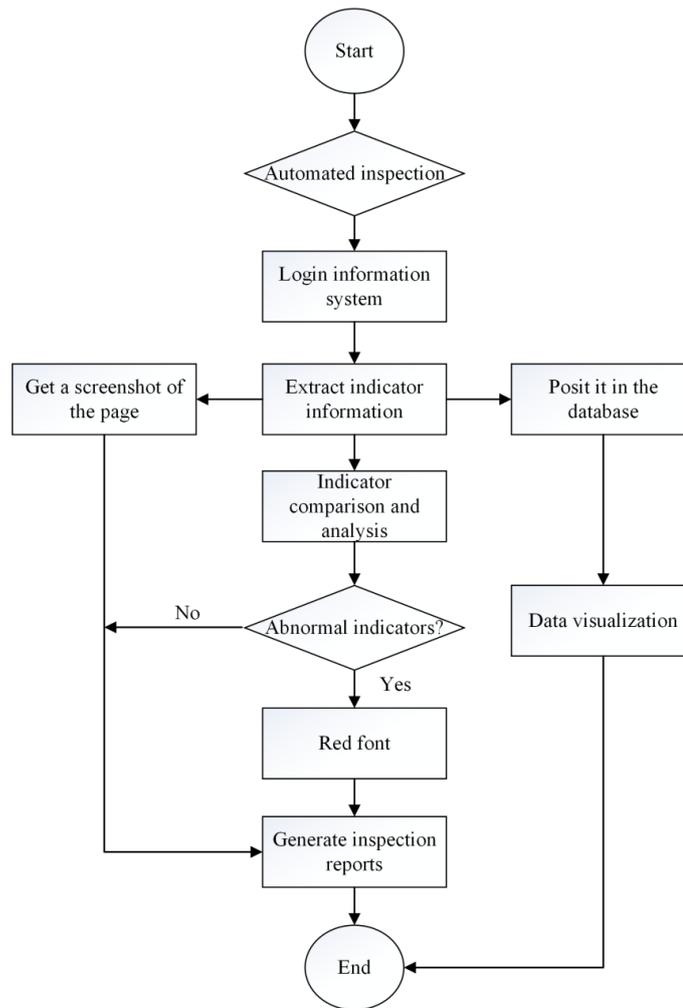


Figure 1 Automatic inspection flowchart

According to the sorted work task process, the back-end function module can be divided into information system data acquisition module, timed patrol module, account management module, asynchronous task execution module, and database management module. The above modules can be realized in the form of scripts using Python's rich third-party libraries. For example, selenium can realize automatic login and operation of browsers, pyautogui can simulate the input and clicking of mouse and keyboards, ddddocr can identify verification code pictures, pymysql and sqlalchemy can be combined to access mysql databases in Python, python-docx can read and write word documents, etc^[7-9].

The information is stored in the mysql database. To design the database table structure, the information system needs to be statistically analyzed first^[10]. This time, 12 database tables have been designed, namely, platform administrator information tables, information system account information tables, and 10 information system data tables. Among them, the data table of the information system contains basic information such as the IP address of the information system, the value of the index, the normal value range of the index, and the collection time.

In order to ensure network and data security, information systems are usually subject to strict IP address access control restrictions, and only a few computer equipment of operation and maintenance personnel can log in to these information systems. This time, the platform is deployed in the computer of operation and maintenance personnel, and the account logged in to the information system only has access to view^[11].

After completing the automatic patrol platform of the information system, take 100 experiments as examples to compare and analyze the time efficiency of manual patrol and automatic patrol methods. (Table 1). Among them, manual inspection refers to manually logging

in to the information system, selecting and saving index values, identifying, screenshots, and generating patrol reports, excluding the reasons for manual verification of abnormal indicators; automatic patrol is carried out through the patrol platform. It can be seen that compared with manual patrol operations, automatic patrol methods can save 70.4% of the time.

The accuracy of the inspection results is mainly considered from two aspects: the accuracy of the index and the stability of platform operation^[2]. Indicator accuracy refers to whether the value of the key indicators captured from the information system is correct, and the operation stability of the platform refers to whether the patrol task will be stuck for a long time, whether the patrol task can be completed and the patrol report can be generated^[2]. Taking 100 experiments as an example, the accuracy rate of the index is close to 100%, and the stability of the platform operation is also good.

After inspection, this method realizes the repetitive operation of some fixed steps in the inspection work with automation technology, which effectively reduces the inspection time, and has high accuracy and stability. It can be used as an application and promotion result to other provinces and bureaus. Some tasks with fixed operating steps in network operation and maintenance work, such as the writing of some parts of weekly and monthly reports, can also be changed from manual to automation to improve work efficiency.

Table 1 Time efficiency comparison of two methods

time	manual inspections	automated inspection
total(minutes)	4235	1257
average(minutes)	42.3	12.5

References

- [1] Liu Jiechao, Xin, Chen Xiangjun, etc. Preliminary study on the application of network traffic characteristics in Xinjiang Seismic Information Network [J]. Inland earthquake, 2019(4):7.
- [2] Cheng Chunming, Zhao Xinhui, Wang Jianjun, etc. Design and implementation of automatic inspection platform for information management system [J]. Power Information and Communication Technology, 2020, 18 (09): 105-110.
- [3] Zhu Erhua. Web front-end application research based on Vue.js [J]. Technology and Innovation, 2017(20):119-121.
- [4] Wang Ziyi, Zhang Chunhai. Design and implementation of data visualization analysis components based on ECharts [J]. Microcomputer and Application, 2016, 35 (14): 46-48+51.
- [5] Li Yafang, Wang Xingang, Liang Qingyun. Public opinion analysis and visualization study of 6.4 magnitude earthquake in Jiashi, Xinjiang based on Sina Weibo big data [J]. Inland earthquake, 2020, 34(1):8.
- [6] NiuZuodong, Li Handong. Build a practical MVC framework that can be developed efficiently based on Python and flask tools [J]. Computer Applications and Software, 2019, 36(07):21-25.
- [7] Ma Ning, Chen Xi, Zhang Liming. Research on Web script automation design based on Selenium and Openpyxl [J]. Computer knowledge and technology, 2020, 16(01):51-53+70.
- [8] Li Chenhao. Implementation and performance comparison of web page automation processing based on BeautifulSoup+requests and selenium crawler [J]. Modern Information Technology, 2021,5(16):10-12+18.
- [9] Liu Zhihua. Implementation of automatic real-name authentication of campus network based on Python [J]. Computer programming skills and maintenance, 2020(09):19-21.
- [10] Liu Xiang. Research on the Implementation and Application of Automatic Inspection, Operation and Maintenance of Network Equipment [J]. Information System Engineering, 2019(06):92.
- [11] Li Xiaoyu. Use python to analyze and save log files stored in the Mysql database [J]. Scientific and technological innovation, 2021(29):94-96.

RESEARCH AND APPLICATION TEST OF SHORT-TERM EARTHQUAKE PREDICTION METHOD

Ground deformation observation is considered to be an important means of earthquake prediction. The practice of earthquake prediction in China for many years shows that earthquake prediction is not so simple. For example, before great earthquakes, few significant anomalies are observed near the epicenter, and some significant anomalies seem to have no tectonic connection with the earthquake, so the precursory problems have troubled very much.

The occurrence of the Wenchuan earthquake is a turning point in our understanding. In view of the rare anomalies before the earthquake, we collected and analyzed the results of deformation observation at home and abroad, and we suggested that the phenomenon of deformation rate reduction before the earthquake reflects a normal feature of the seismogenic faults. The study on the Wenchuan earthquake also found that there is an energy balance between strain accumulation and seismic creep release in large areas, which provides a new possibility for short-term earthquake prediction. Based on the data of continuous deformation observations in China mainland, we have proposed the discriminant method of the correlation between deformation anomalies and earthquakes, and formed an earthquake cases base. Through data analysis, we have obtained a more stable mathematical statistical model between deformation precursors and earthquakes.

In order to solve the problem of prediction, we put forward the method of earthquake prediction based on energy balance. The stage in which the deformation rate changes significantly can be obtained by observation, which is often the critical point in the process of earthquake preparation, indicating that the strain accumulation increment tends to zero. Therefore, the level of strain accumulation can be estimated to a certain extent by analyzing the duration and amplitude of deformation anomalies at this stage, and can be used to estimate the epicenter distance and magnitude ranges. If the fault where the deformation anomaly is located is known, the seismogenic fault can be determined.

The method is based on the characteristics of continuous acceleration deformation observed by deformation stations with a duration of 15~180 days, and can judge the epicenter range and estimate the magnitude of earthquakes that may occur in the next 4 months. In recent years, we have carried out a lot of work in the short-term forecasting test and achieved good results.

Ran Huimin, Gong Gubin, Li Wenqian

Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, 830011, China

PRELIMINARY STUDY ON THE SEISMOGENIC STRUCTURE OF THE KUCHEM_s4.7 EARTHQUAKE

Abstract: We relocate 394 earthquakes ($M_L \geq 2.0$) in the northern Tarim uplift recorded by Xinjiang seismic network from 2020 till 2021 using the HYPODD method and invert the focal mechanism of 11 earthquakes ($M_S \geq 3.5$) using the CAP method. Our results indicate that the Kuche $M_S 4.7$ earthquake is induced by a strike-slip fault. The strike/dip/slip angle of the panel \square is $19^\circ/83^\circ/-173^\circ$ respectively and those of the panel \square are $288^\circ/83^\circ/-7^\circ$. The panel \square is the fault plane and the panel \square is the auxiliary plane. The moment magnitude is $M_w 4.4$. The optimal centroid depth is about 9 km. Taking the focal mechanism and the earthquakes relocation into consideration, we argue that the regional faults are strike-slip and nearly vertical and dip southward. The seismogenic structure of the Kuche $M_S 4.7$ earthquake is the Halahatang depression (the secondary tectonic unit of the northern Tarim uplift) where there are two groups of fault trends. The superior fault trend is NNE trend ($12^\circ \sim 21^\circ$), the other is SSE trend ($158^\circ \sim 168^\circ$). The

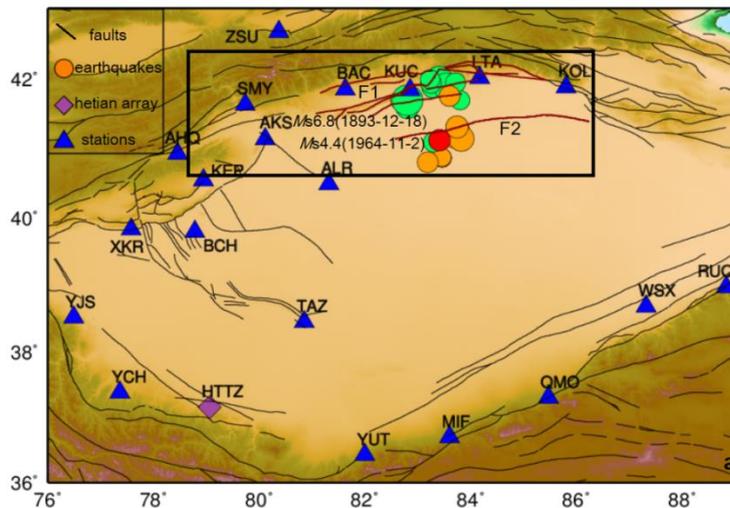
fault in NNE trend is mainly left-lateral strike-slip and the fault in SSE trend is mainly right-lateral strike-slip. We guess the North Tarim inserts north into the middle Mount Tianshan and the middle Mount Tianshan sedimentates south into the North Tarim meanwhile.

1. Introduction

On 25th June, 2021, a $M_s 4.7$ earthquake occurred in Kuche city ($41.12^\circ N$, $83.45^\circ E$) of the Akesu region in Xinjiang Uygur Autonomous Region that is reported by China Earthquake Networks Center (CENC). This earthquake occurred in the north of the Tarim Basin where no men live. In the history there have occurred 3 $M_s \geq 6.0$ events and 4 $M_s \geq 5.0$ events and 16 $M_s \geq 4.0$ events around this Kuche $M_s 4.7$ earthquake within 100km. The biggest $M_s 6.8$ earthquake on 18th December, 1893 is about 90km away and the nearest $M_s 4.4$ earthquake on 2nd November, 1964 is about 12km away (Fig. 1a).

The remote effect of the collision between the Indian and Eurasian plates causes the earthquakes occur frequently in the Mount Tianshan. The North Tarim that is south to the middle Mount Tianshan. Due to the tectonic deformation and development in the island arc of the middle Mount Tianshan and the North Tarim, more strong and moderate earthquakes occur (Wei et al., 1995). There are two primary tectonic structures within 100km in the hypocentral region, which are the Kuche depression and the North Tarim uplift (Kang et al., 1985; figure 1b). The North Tarim uplift where the Kuche earthquake lies, is a long-term inherited developmental and curved uplift presenting nearly from east to west, and is about 480km in length and 80km in width (Qu et al., 2004). This tectonic structure started from the late Hercynian period, was controlled by the same tectonic stress field to form thrust or strike-slip faults, was presented by echelon and fold structures (Wei et al., 1995). According to the tectonic structures, the North Tarim uplift is north to the Kuche depression and south to the Manjiaer depression and west to the Awati depression and east to the Kuluketage uplift. It contains some secondary unit. From west to east, they are the Nanha-yingmaili low uplift and the Halahatang depression and the Lunnan low uplift and the Caohu depression and the Kuerle depression and so on (Cui et al., 2006). This $M_s 4.7$ Kuche Earthquake lies in the secondary tectonic unit—the Halahatang depression of the North Tarim uplift.

Around this epicenter, strong earthquakes over $M_s 6.0$ in the history all lie in the Kuche depression. In the last 5 years there occurred 12 earthquakes over $M_s 4.0$, only once is in the Kuche depression, the others are in the northern Tarim uplift where the seismic activities has increased significantly. We relocate 394 earthquakes and invert earthquakes' focal mechanism over $M_s 3.5$ to know the fault's shape and to analyze the epicenter's stress status and to discuss the seismogenic structure.



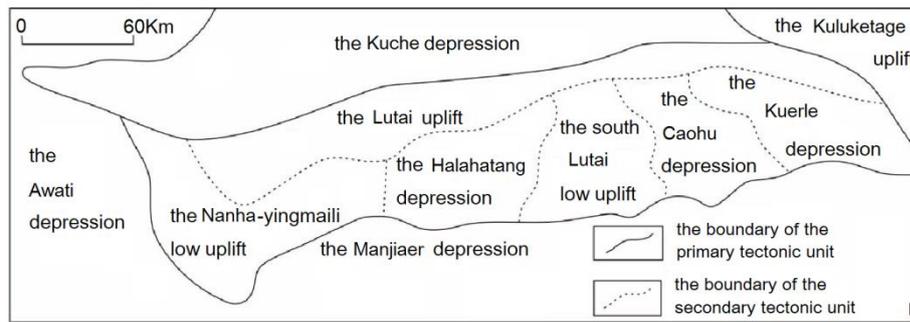


Figure 1 a Distribution of the $M_s 4.7$ Kuche earthquake and the history epicenters within 100 km and stations used to relocate earthquakes and invert the focal mechanism (The red circle is indicated as this $M_s 4.7$ Kuche earthquake and the orange circles are indicated as the earthquakes occurred in last 5 years and the other green circles are indicated as the history earthquakes.)

F1: the Kuche depression; F2: the northern Tarim uplift

Fig. 1b The secondary tectonic unit of the northern Tarim uplift (adapted from Zhao, 2018)

2. Method and Data. HYPODD can locate earthquakes exactly in a certain area, consequently we can obtain the relative spatial position distribution with high accuracy to study structural configuration in the epicenter and analyze the complex reason resulted in the earthquake (Fang et al., 2013, 2014). Waldhauser and Ellsworth (2000, 2002) came up with HYPODD. HYPODD is a relative locating method that couples the earthquakes in a certain special scale and makes use of the arrival time difference of the coupled earthquakes to stations to get the relative position, so that it eliminates largely the path effect caused by the lateral nonuniformity of the medium and decreases the effect of the velocity to the location. Considering the $M_s 4.7$ Kuche earthquake's rupture measure is limited, we select the earthquake catalog in the northern Tarim from the Xinjiang seismic network. Those earthquakes distribute from 40.5°N to 41.5°N in latitude and from 82.9°E to 84.0°E in longitude. From 1st January, 2020 to 31st December, 2021, there are 394 earthquakes which are recorded by 3 or more stations (Fig. 2 and Fig. 3). The earthquakes in the hypocentral region occurred constantly. The earthquake activity in 2021 is higher than in 2020. The earthquake catalog contains 50 earthquakes from $M_s 3.0$ to $M_s 3.9$ and 8 earthquakes from $M_s 4.0$ to $M_s 4.9$ and one $M_s 5.6$ earthquake. Because the monitoring ability in this area is weak, so we chose the earthquakes are over $M_L 2.0$. We use 20 stations in the Tarim basin and around the Tarim basin and one Hetian array to locate the above earthquakes. The KUC station and BAC station are nearest to the epicenter, the epicenter distances are about 100 km. There are 6320 P-wave arrival times and 3464 S-wave arrival times. One earthquake has 25 seismic phases on average.

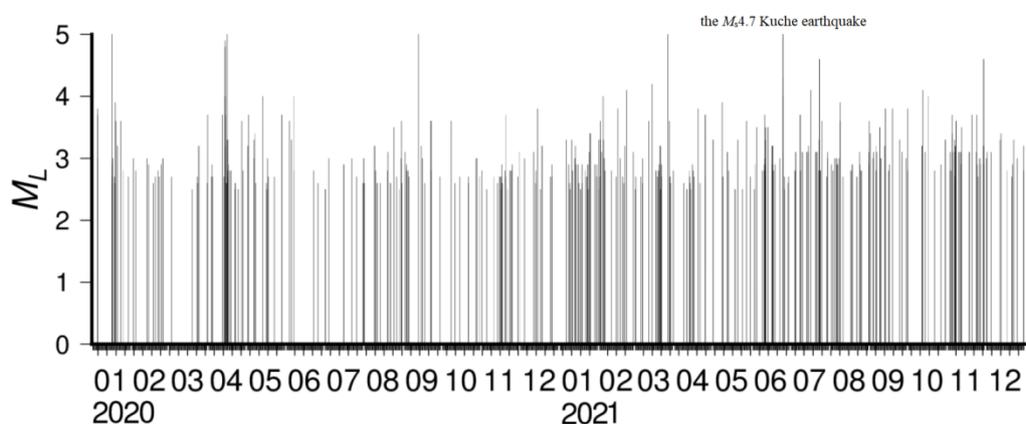


Figure 2 Earthquakes' M-T diagram in the hypocentral region from 1st January, 2020 to 31st December, 2021

The focal mechanism reflects the geometrical and kinematic characteristics of the earthquake rupture, which is important to study the earthquake's pregnancy and occurrence and the stress field in the epicenter and evaluate the disaster. After the seismic waveform digitized, the CAP(Cut and Paste) method(Zhao et al.,1994, Zhao et al.,1996) is well verified by Zhengyong(2009)that the CAP method is reliable and fits to the local velocity model and can get the accurate focal depth. The CAP method has these advantages of less stations in inverting and the result depending less on the velocity model(Weiet al,2009;Honget al,2017), so that it is extensively used(Yiet al,2020;Ranet al,2015; Zhang et al,2019).In the hypocentralregion there are 12 earthquakes over $M_s3.5$ from 2020 till now. On 14 April, 2020, there occurred $M_s4.4$ earthquake and $M_s4.5$ earthquake at 10 and 11 past 12 individually, the waveform of the latter was overlapped so that we cannot get the reliable result. At last, we get 11earthquakes' focal mechanism solutions(Fig. 7).

We use the CRUST 2.0 global crust velocity model to relocate by HYPODD and to invert the focal mechanism by CAP. The crust depth in the epicenter is about 50km.

Table 1 The CRUST 2.0 global crust velocity model

Layer	Thickness (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)
1	0	3.81	1.94
2	0	1.5	0
3	1.5	2.5	1.2
4	4.5	4.2	2.4
5	20	6.1	3.5
6	20	6.3	3.6
7	4	7.2	4
8	inf	8	4.6

3 Earthquake sequence relocation. We use HYPODD to relocate further and get the average relative error in the NS and EW and UD are respective 86m, 161m, 66m and the travel time residual is 0.14s.

In order to show the fault's form we draw 3 profiles, AA' and BB' profiles are along the mass earthquakes, CC' profile is parallel to the regional fault. We can see most of the earthquakes are inhomogeneously distributed in the near east-west direction along the regional fault, which lie like a pigtail or a horsetail. The earthquakes are obviously segmented and discontinuous, which in the north are more than in the south. Those in the south are fewer and larger in the magnitude and linear in group. From the depth profiles(Fig.4), we can find the earthquakes are shallower in the north than in the south in the fault plane. The seismogenic fault plane dips southward and is almost vertical.

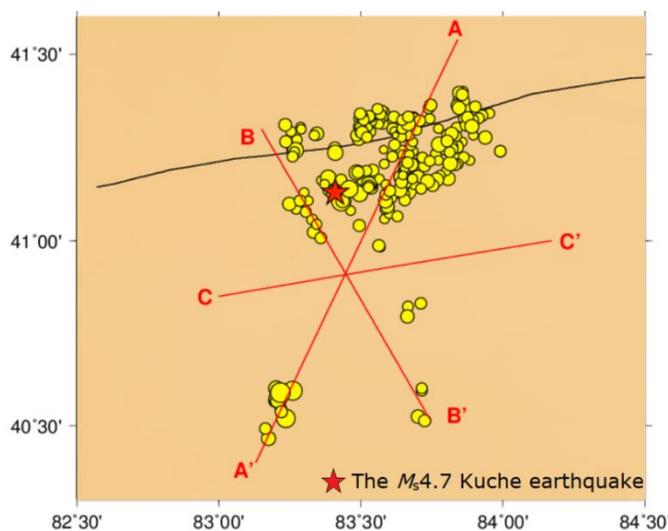


Figure 3 The earthquakes' distribution after relocated in the epicenter

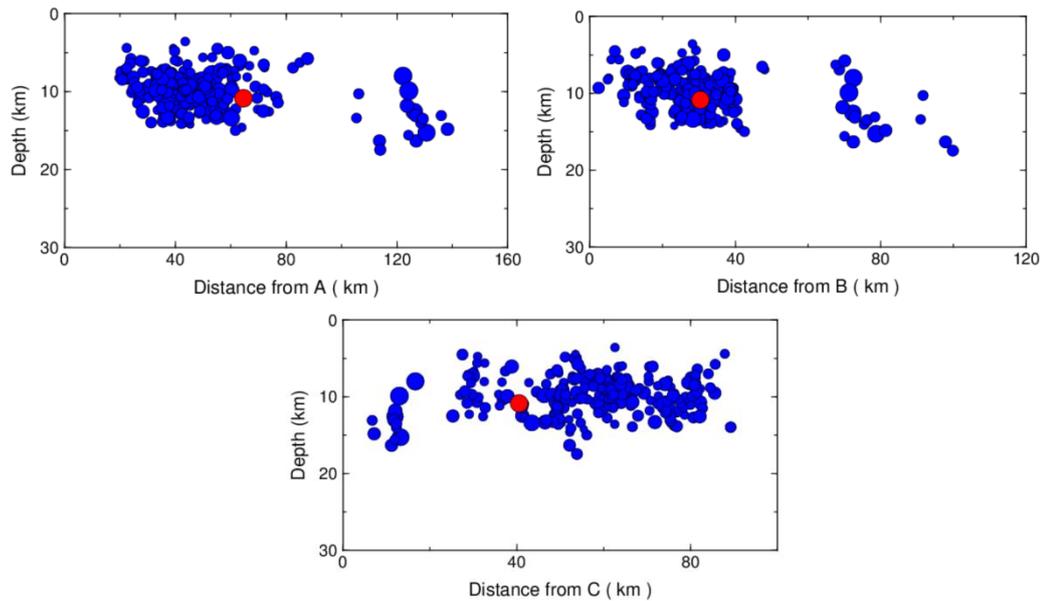


Figure 4 The earthquakes' depth in the profile of AA' and BB' and CC' after relocated (The red circle is indicated as this $M_s 4.7$ Kuche earthquake and the blue circles are the other earthquakes.)

4. The focal mechanism. We employ the SeisCAP software that implements the CAP method to invert the focal mechanism. The Pn waves are filtered within the range of 0.05-0.20 Hz and the S waves are filtered within the range of 0.05-0.10 Hz. The Pn phases are weighted twice as that for the corresponding S phases. The strike, dip and slip are $(19^\circ, 83^\circ, -173^\circ)$ and $(288^\circ, 83^\circ, -7^\circ)$ for the panel \square and the panel \square . The panel \square is the seismogenic plane and the panel \square is the auxiliary plane combined with the focal mechanisms of the other 10 earthquakes over $M_s 3.5$. The moment magnitude is $M_w 4.4$. The earthquake is dominated by a strike-slip mechanism. The focal mechanism with the lowest misfit has a focal depth of about 9 km (Fig. 5). It belongs to the shallow-focus earthquake. In total, 25 segments of the waveform are used for matching during the CAP calculation. More than 80% (20 out of 25) waveforms have a cross-correlation coefficient greater than 0.6 (Fig. 6), the average association coefficient is 0.745, and the inverting variance is 5.945×10^{-4} . The focal mechanism solutions in the different depth are consistent (Fig. 5). So our solution is relatively reliable.

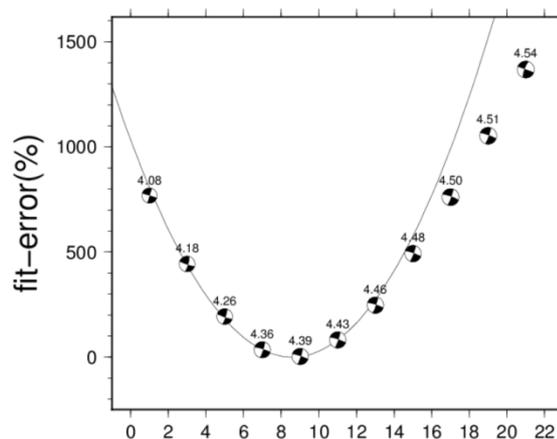


Figure 5 The relation between the misfit and source depth

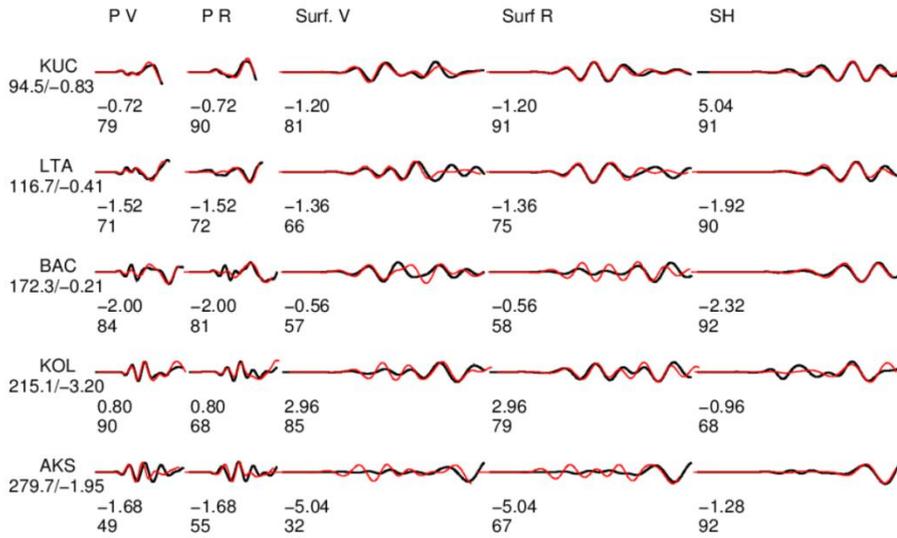


Figure 6 The comparison between the observed (black) and synthetic (red) waveforms of the M_s 4.7 Kuche earthquake.

The synthetics are calculated using the source parameters minimized the misfit (Fig.5). Station names, epicentral distances, and systematic time shifts are marked on the left side. The numbers under each waveform segment are individual time shift and cross-correlation coefficient(%).

Table 2. The focal mechanism solutions of $M_s \geq 3.5$ events.

Order	Origin time	Longitude	Latitude	Moment magnitude	Centroid depth	nodal plane I/(°)			nodal plane II/(°)		
	YYYYmmdd HH:MM:SS	/(°)	/(°)	M_w	/km	Strike1	Dip1	Slip1	Strike2	Dip2	Slip2
1	20200116 16:32:38	83.61	41.20	5.2	7.6	251	71	6	159	84.3	160.9
2	20200414 12:10:33	83.23	40.78	4.1	9.2	282	73	0	12	90	-163
3	20200416 06:29:50	83.20	40.80	4.3	9.3	282	78	0	12	90	-168
4	20200913 01:19:16	83.74	41.32	4.5	7.2	250.2	70.1	6.4	158	84	160
5	20210222 22:57:24	83.61	41.21	3.6	5.6	262.64	76.7	18.5	168	72	166
6	20210314 20:20:05	83.32	41.20	3.9	6.1	111	90	0	21	90	180
7	20210327 07:08:29	83.20	40.81	4.3	11.3	285	76.1	-8.2	17	82	-166
8	20210625 12:57:25	83.49	41.12	4	8	109	90	0	19	90	-180
9	20211012 18:48:36	83.48	41.17	3.7	4.5	297.1	70.2	-8.5	30	82	-160
10	20211129 14:46:01	83.43	41.16	4	6.1	292	85	-8	22.7	82	175

The panels' slip of 11 earthquakes' focal mechanism solutions concentrate between $180^\circ \pm 30^\circ$ and $0^\circ \pm 30^\circ$. So we conclude the earthquakes are dominated by a strike-slip mechanism. Among these solutions there are obviously two segments which are on the left and on the right (Fig.7). The superior distribution of the panel \square has two groups, one is NNE trend that is about from 12° to 21° , the other is SSE trend that is about from 158° to 168° (Fig.8). The fault in NNE trend is mainly left-lateral strike-slip and the fault in SSE trend is mainly right-lateral strike-slip. The average dip angle is about 80° and so high, the earthquakes maybe occurred on a steep fault.

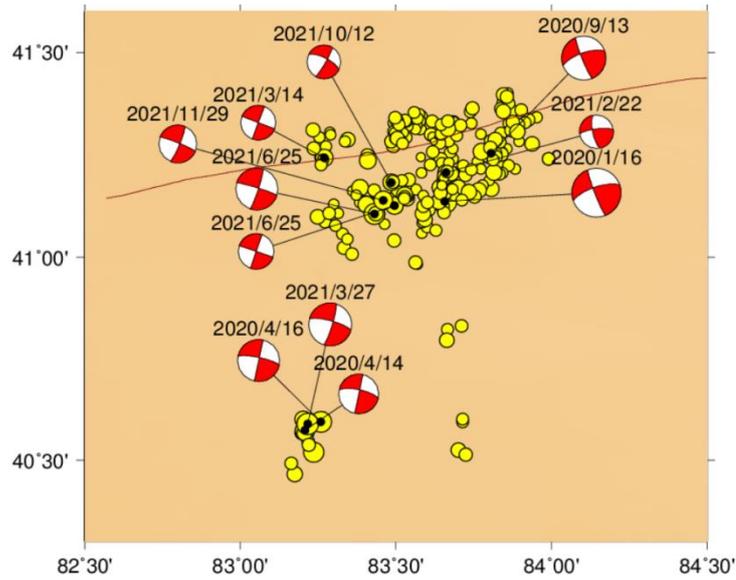


Figure 7 The focal mechanism solutions in the hypocentral region from 2020 till now

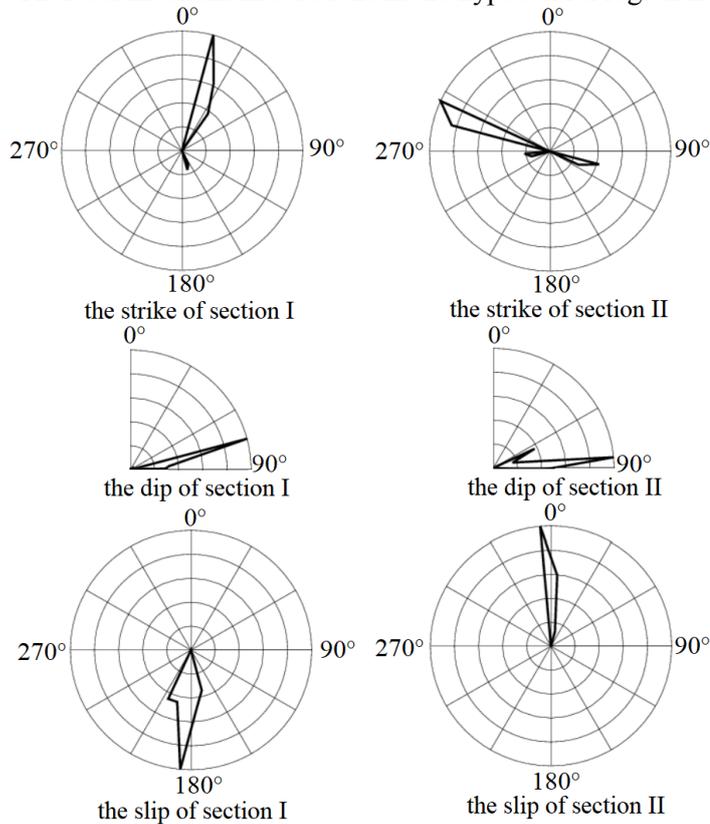


Figure 8 Strike, dip and slip of the Panels

The P axis' azimuths concentrate from 110° to 150° and the superior trend is SSE. The T axis' azimuths concentrate from 200° to 240° and the superior trend is SWW. The slip angles of P and T axis concentrate from 0° to 30° and distribute closely to the horizontal. Above is accordant to the conclusion that Gao Guoying(2010) studied Xinjiang is almost controlled by the principal compressive stress in NS and the tension in EW.

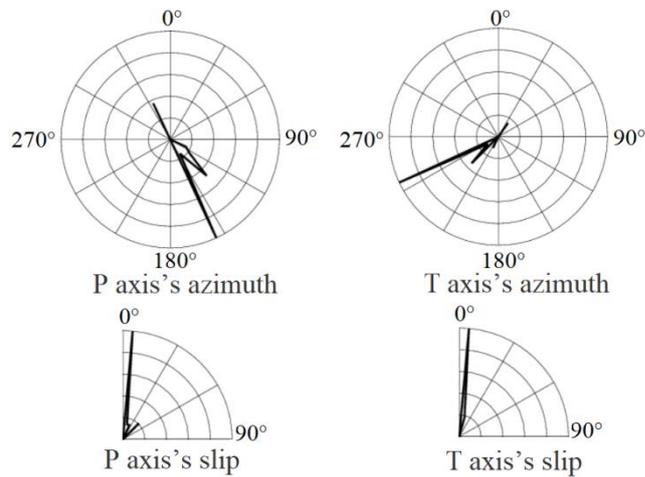


Figure 9 The azimuth and the slip angles of P and T axis

5 Conclusion and discussion. We select the earthquake catalog in the northern Tarim from Xinjiang seismic network from 2020 till 31st December, 2021. We relocate 394 earthquakes over $M_L 2.0$ using the HYPODD method and invert 11 earthquakes over $M_S 3.5$ to get the focal mechanism solutions. By comprehensive analyzing the earthquakes' distribution and change features in the depth profiles and the focal mechanism solutions we get the following conclusion:

First, the focal mechanism solution of the $M_S 4.7$ Kuche earthquake are the following: The strike/dip/dipping angle of the panel \square are $19^\circ/83^\circ/-173^\circ$ for respective and those of the panel \square are $288^\circ/83^\circ/-7^\circ$; The panel \square is the fault plane and the panel \square is the auxiliary plane; The moment magnitude is $M_w 4.4$; The hypocenter's type is strike-slip; The optimal centroid depth is about 9 km; It belongs to the shallow-focus earthquake. According to the regional earthquakes' focal mechanism solutions we conclude the panel \square is the fault plane and the panel \square is the auxiliary plane.

Second, from the sequence relocation results we can see most of the earthquakes are inhomogeneously distributed in the near east-west direction along the regional fault. The earthquakes in the north are more than in the south. Those in the south are fewer and larger in the magnitude and linear in group. From the depth profiles, we can find the seismogenic fault plane dips southward and is almost vertical.

Third, from the focal mechanism, we conclude the types of these hypocenters are all strike-slip. The superior fault trend is NNE trend (from 12° to 21°), the other is SSE trend (158° to 168°). The fault in NNE trend is mainly left-lateral strike-slip and the fault in SSE trend is mainly right-lateral strike-slip. The average dip angle is about 80° and so high, the earthquakes maybe occurred on a steep fault. The superior trends of the P and T axis' azimuths are SSE and SWW respective, which reflects Xinjiang is almost controlled by the principal compressive stress in NS and the tension in EW.

Compressive consideration, the regional faults are strike-slip and vertical and dip southward. Because the regional faults are not continuous and obviously segmental, the faults' trend that we invert from the focal mechanism is not accordant to the distribution of the earthquakes' sequence relocation. From the P and T axis' azimuths we guess the North Tarim inserts north into the middle Mount Tianshan and the middle Mount Tianshan sedimentates south into the North Tarim meanwhile.

Combining the knowledge that have carried out about some oil exploration, the Halahatang area slopes to south and develops a NE direction fault, where is controlled by the pure shear strike-slip mechanism to develop two conjugate faults in NNE and SSE under the principal compressive stress in NS. The fault in NNE trend is mainly left-lateral strike-slip and the fault in SSE trend is mainly right-lateral strike-slip. The strike-slip faults have obviously segregative characteristics (Liet al, 2015; Zhenget al, 2018; Wu, 2014). We speculate the

seismogenic structure of the M_s 4.7 Kuche earthquake is in the secondary tectonic unit-the Halahatang depression of the northern Tarim uplift.

Acknowledgements The figures in this article were generated using GMT software. The authors would like to thank the anonymous reviewers of this manuscript and the scientists whose work we have referenced herein.

References

1. Cui Zehong, Wang Zhixin, Tang Liangjie, et al. 2006. Genetic mechanism and geological significance of normal faults in North Tarim Uplift. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 21(1):1-6
2. Fang L. H., Wu J. P., Wang W. L., et al. 2013. Relocation of the Mainshock and Aftershock Sequences of M_s 7.0 Sichuan Lushan Earthquake. *Chin. Sci. Bull.*, 58: 3451-3459.
3. Fang L. H., Wu J. P., Wang C. Z., et al. 2014. Relocation of the 2012 M_s 6.6 Xinjiang Xinyuan Earthquake Sequence. *Science China: Earth. Sciences*, 57:216–220.
4. Hong D Q, Zhao P, Ni H Y, et al. 2017. Determination of seismic source depth of Fuyang M_s 4.3 earthquake and analysis of seismogenesis. *Chinese J. Geophys.* 60(4):1423-1432
5. Kang Yuzhu, JiaRunxi, Jiang Bingnan, et al. 1985. Potential of Shaya uplift, Northern Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 6(1):15-23
6. Li Sumei, Zhang Baoshou, Xing Lantian, et al. 2015. Geochemical features of deep hydrocarbon migration and accumulation in Halahatang-Yingmaili area of the northern Tarim Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 36(S2):92-101 .
7. Ran Huimin, Zhang Zhibin, Zhao Qing .2015. Source Mechanism of the M_s 6.6 Xinyuan-Hejing Earthquake of June 30, 2012. *Earthquake Research in China*, 29(2):247-257
8. Qu Guosheng, Zhang Ning, Liu Jie, et al. 2004. Structural deformation mechanism of the Meso-Cenozoic basement and cover in the northern Tarim uplift-Kuqa depression . *Geological Bulletin of China*, 23(2):113-119
9. Waldhauser F., Ellsworth W. L..2000. A Double-difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California. *Seism. Soc. Amer.*, 90(6):1353-1368
10. Waldhauser F., Ellsworth W. L..2002. Fault Structure and Mechanics of the Hayward Fault, California, from Double-difference Earthquake locations. *J. Geophys. Res.*, 107(B3).
11. Wei Guoqi, Jia Chengzao, Yao Huijun. 1995. The relation of thrust-strike slip structures and hydrocarbon potential in late of Hercynian in north area of Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 16(2):96-101
12. Wei S J, Ni S D, Chong J J, et al. 2009. The 16 August 2003 Chifeng earthquake: Is it a lower crust earthquake? . *Chinese J. Geophys.* 52(1):111-119
13. Wuhao. 2014. J3-K1 high resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies research in Halahatang and Donghetang areas, northern Tarim Basin. *China University of Geosciences (Beijing)*,
14. Yi G X, Long F, Liang M J, et al. 2020. Geometry and tectonic deformation of seismogenic structures in the Rongxian-Wei yuan-Zizhong region, Sichuan Basin: Insights from focal mechanism solutions. . *Chinese J. Geophys.* 63(9):3275-3291
15. Zhao L S, Helmberger D V. 1994. Source estimation from broadband regional seismograms. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 84(1):91-104.
16. Zhao Lin feng. 2018. Fault identification and distribution characteristics in Lunnan and Sangtamu Oil fields. *Qingdao: China University of Petroleum (East China)*
17. Zhang Zhibin, Ran Huimin, Jin Hua. 2019. A Preliminary Study of Seismogenic Structure for the Hutubi, Xinjiang M_s 6.2 Earthquake on December 8, 2016. *China Earthquake Engineering Journal*, 41(4):962-969.
18. Zheng Xiaoli, An Haiting, Wang Zujun, et al. 2018. The segmentation features of strike-slip fault and its relation with the fault and reservoirs in Halahatang Area, North Tarim Basin. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 45(2):219-225 .
19. Zheng Yong, Ma Hongsheng, Lüjian, et al. 2009. Source mechanism of strong aftershocks (M_s 5.6) of the 2008/05/12 Wenchuan earthquake and the implication for seismotectonics. *Science in China (Ser D)*, 39(4):413-426
20. Zhu L P, Helmberger D V. 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 86(5):1634-1641.

SEISMIC CHARACTERISTICS IN THE META-INSTABILITY STAGE OF THE 2020 JIASHI, XINJIANG 6.4 EARTHQUAKE

The laboratory research results show that the instability and dislocation of faults are a transformation process from independent activity of various parts of the fault to collaborative activity. In the Meta-instability stage before fault instability, there is a synergistic phenomenon of fault activity. The Meta-instability stage is the final stage of the fault approaching instability, and the time involved in the earthquake recurrence cycle, including Meta-instability and instability stage, is very short. Identifying this stage correctly can prepare for early judgment of the final instability of the fault (Ma Jin et al., 2012, 2014).

Using the observation data of the Xinjiang Seismic Network, a spatiotemporal scanning analysis was conducted on the frequency, b-value, and Benioff strain accumulation of earthquakes with complete magnitudes and above in the western section of the Southern Tianshan before the 2020 Jiashi Ms6.4 earthquake. It was found that the Benioff strain accumulation of the study area before the instability of the Jiashi 6.4 earthquake supported the occurrence of earthquakes with magnitudes around 7 (Figure 1), and there was a low b-value phenomenon near the epicenter. Before the earthquake, the cumulative Benioff strain of the Keping Fault supported the occurrence of earthquakes with a magnitude about 6.5. Starting from September 2018, the Benioff strain accumulation release curve showed a fluctuating and flattening trend, indicating that the stress accumulation of the Keping Fault was high and began to slowly release, indicating the possibility of entering a Meta-instability stage.

The process of fault synergistic evolution of small earthquake activity before the Jiashi 6.4 earthquake can be roughly divided into three stages: 2012-2015 was the stage of strain release point generation, and the frequency of small earthquakes slowly increased; From January 2016 to August 2018, there was a stage of strain release point expansion and increase, with a gradual increase in the frequency of small earthquakes and a significant increase in release points for earthquakes with a magnitude 3. There was also a phenomenon of migration towards the epicenter of the main earthquake, and later it expanded in a belt shape; From September 4, 2018 to January 18, 2020, the frequency of small earthquakes rapidly increased and eventually connected into a patch, with concentrated release. Before the earthquake, there was a significant Meta-instability process and a synergistic evolution process of the Keping fault. The essence of the synergistic process was that more and more parts of the fault were successively damaged and weakened, and the stress gradually shifted to local high locking parts, thereby achieving conditions that could lead to rapid release of stress.

Apply the Benioff accelerated strain release model (ASR) and select the time $\Delta t = [2002, 2020]$, magnitude $M_S \geq 3.0$, taking $m=0.18$, obtained by least squares fitting, $t_c=2020$. The calculated predicted magnitude is 6.5, with an error of 3 months compared to the actual earthquake occurrence. The Root-mean-square deviation of the power law fitting curve in Figure 2 is 7.1843×10^4 ; The Root-mean-square deviation of linear fitting is 1.4052×10^5 , $C=0.51 < 0.7$, indicating obvious acceleration characteristics and reliable fitting curve (Figure 2).

References

Ma J, Sherman S1, Guo Y S. 2012. Identification of meta-instable stress state based on experimental study of evolution of the temperature field during stick-slip instability on a 5° bending fault. *Science China Earth Sciences*, 55(6): 869-881.

Ma J, Guo Y S. 2014. Accelerate dsynergism prior to fault instability: evidence from laboratory experiments and an earthquake case. *Seismology and Geology (in Chinese)*, 36(3): 547—561.

Jiang C S, Wu Z L. 2011. Intermediate-term medium-range Accelerating Moment Release (AMR) prior to the 2010 Yushu Ms7.1 earthquake. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 54(6):1501–1510.

Jiang H K, Miao Q Z, Dong X, et al. 2009. Characteristics of Strain Release before M7 Earthquakes in Mainland China. Earthquake (in Chinese), 29(3): 1-11.

Song C Y, Ma J, Wang H T, et al. 2018. Study on meta-instability stage and instable section of the fault before strong earthquake: Taking western section of Southern Tianshan as an example. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 61(2): 604–615, doi: 10. 6038 / cjpg2018K0259.

Benioff H. 191. Earthquakes and Rock Creep[J]. Bull Seism Soc Amer, 41 : 31-62.

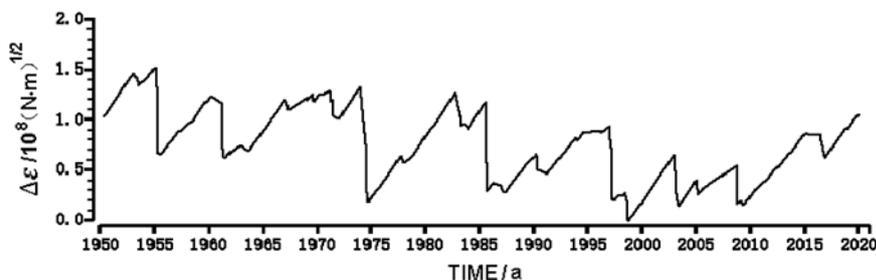


Fig.1 Benioff Strain accumulation and release of $M_s \geq 5.0$ earthquake in western section of Southern Tianshan

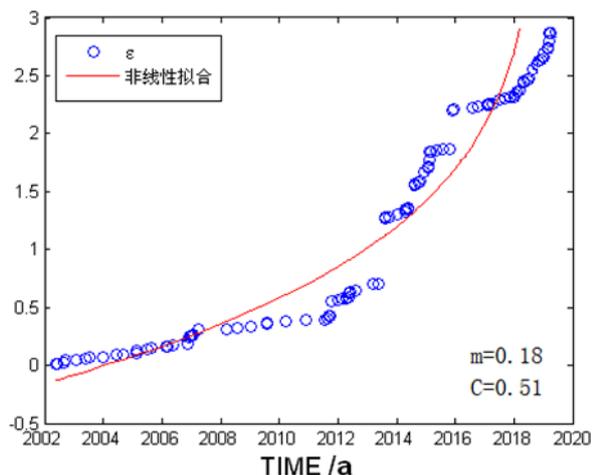


Figure 2 Accelerating release curve of Cumulative Benioff Strain of $M_s \geq 3.0$ earthquakes in Keping fault

Jinbo Su

Urumqi Institute of Central Asia Earthquake, CEA
(fzsujinbo@163.com)

USING LARGE VOLUME AIR-GUN SOURCE TO CORRECT THE TIME SERVICE OF SOME STATIONS IN XINJIANG SEISMIC NETWORK

Time is a basic physical quantity in earthquake monitoring. Whether in simulate observation or digital observation, time has been valued a lot (Wu and H. Kanamori, 2005). As the first air-gun source based on shallow artificial excitation pool, Hutubi air-gun source possesses stable water level, good repetitiveness, great detection range (Weibin et al, 2016). But we find a big time deviation in Hutubi seismic station when we process the data. It will take many effects when we use these data to monitor the change of underground medium structure. It also influence the study in nature earthquake and background noise.

The Hutubi air-gun source has exact shot time and stationary place. So we can use these

characters to analysis the accuracy of the time service for seismic stations. At first , we should judge the time service of different station. When the signal is received by the station, their paths are similar. So we can get much information of the underground medium from the seismic waves. But the change of underground medium structure in time is very tiny. It is several milliseconds to ten milliseconds in general.If the travel time changes of air-gun source is more than several seconds. Then we can believe the seismic station time service is fault. We can use law of the fault to analysis and correct the time service.

We process several stations in an area of 100 kilometers around air-gun source. Then we find that there is a big time service fault in Hutubi station. But in the other stations we did not find these fault. So we can consider that these fault is caused by the GPS problem. Arrange the travel time by date, then we find the time mistakeis regular. The regular can be fitted by polynomial. Here we use the sliding cross-correlation method to obtain the accurate time difference. The sliding cross-correlation method is widely used in modern Seismology. We can accurately locate time service errors in continuous waveforms by utilizing the high repeatability of the air gun source. This approach improves our computational accuracy and speed, eliminates human interference, and maximizes the accuracy of time acquisition.

Get the average value using the travel time of stable stage and the value we get is 10.64s. Then conclude the corrected value by the polynomial of fitting. At last we can use the corrected value to correct the travel time of earthquake. We correct the time of an earthquake signal received by Hutubi station which happened at 15:45 on December 19, 2013, 01 seconds Shawan Xinjiang M_L 2.1 earthquake. Finally we get the corrected value is -7.34 second.

Reference

[1] Wu Y and H.Kanamori(2005) Rapid assessment of damaging potential of earthquakes in Taiwan from the beginning of P waves ,Bull.seismolSoc Am 95,1181-1185

[2] Wei Bin,SuJinbo,WangHaitao Site selection and construction of Hutubiairgun source signal transmitting seismic station and its characteristic of source [J] China Earthquake, 2016, 32(2):222-230.

TANG Mingshuai¹,CHEN Yuxin²,LI Yanyong¹,WEI Yunyun¹,CAO Changjun¹

(1.Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang ,China
2.Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou ,730000, Gansu, China)

STUDY ON S WAVECRUSTAL VELOCITY STRUCTURE IN MIDDLE TIANSHAN AND ITS ADJACENT AREAS BASED ON AMBIENT NOISE SURFACE WAVE DIRECT INVERSION METHOD

Tianshan orogenic belt is a natural testing field to study the intracontinental orogenic effect. Influenced by the remote effect of Indian-Eurasian plate collision, the intraplate tectonic action occurred in the northern and southern Tianshan seismic belt, resulting in strong seismicity. This makes it particularly important to further understand the deep structure of Tianshan orogenic belt and the coupling relationship between basin and mountain. The ambient noise tomography is not limited by the distribution of natural earthquakes, and the 3D velocity structure of underground media can be retrieved by using continuous and stable noise signals. In this study, the middle Tianshan Mountains and its adjacent areasin China is used as the research area. The continuous noise data recorded by 85 stations in Xinjiang network, Kazakhstan network and mobile stations located in the region (40°N-49°N, 79°-93°E) from 2017 to 2019 are used. Combined with the extraction method of surface wave dispersion curve based on image analysis technology, the 6-52 s Rayleigh wave phase velocity dispersion curve in the study area is obtained. The direct inversion method of surface wave is used to study the 3D S wave velocity structure of the crust in this area. Compared with the existing ambient noise tomography results, this study extracts the dispersion curves of surface waves from more stations, and uses the cluster analysis method to

control the quality more strictly. The ray path in the inversion process is closer to the real situation, so the velocity model is more refined. It is of great significance to deeply understand the structural characteristics of the middle Tianshan Mountains and its adjacent areas and the coupling relationship between basin and mountain, which is helpful to further understand the relationship between strong earthquake tectonic activity and deep structure. The main results obtained in this paper are as follows :

(1) The velocity distribution of S wave in shallow crust is related to the thickness of sedimentary layer in tectonic unit. The northern margin of Tarim Basin and Junggar Basin show low velocity, and Tianshan orogenic belt shows high velocity. In the middle and lower crust, there are low velocity bodies wrapped by high velocity anomalies beneath the Tianshan orogenic belt, and their values are similar to those of the middle and upper crust of the basin, which may be the result of migration of shallow materials caused by tectonic activities. Near the Moho surface, the Tianshan orogenic belt shows relatively low velocity, which represents that it is a relatively ' soft ' block with low mechanical strength, and is more prone to deformation and uplift under the extrusion of ' rigid ' blocks on both sides.

(2) The crustal thickness of Junggar Basin and Tianshan orogenic belt is between 45-52 km and 50-62 km, respectively. Along the north-south direction, the Moho surface of Tianshan Mountains is obviously concave, showing a relatively small dip angle and a relatively and gentle shape. The wide crust-mantle transition zone is a region with strong tectonic activity. There is a material exchange in the form of high-density mineral component subsidence and low-density mineral component rise near the Moho surface and the top of the upper mantle. The resulting upper mantle deformation is subjected to additional stress at the bottom of the Tianshan crust, which makes the regional structure unstable.

(3) There are differences in the basin-mountain coupling relationship in different regions of Tianshan orogenic belt. From west to east, the basin-mountain junction on both sides of the Tianshan Mountains gradually transforms from the bidirectional subduction of the Tarim Basin and the Junggar Basin to the unidirectional subduction of the Junggar Basin. Between 82°-86.5°E, Tarim Basin and Junggar Basin subducted bidirectionally below Tianshan Mountains. Between 86.5°-88°E, Junggar Basin subducted southward to Tianshan Mountains. From west to east, the coupling relationship between different basins and mountains revealed the differences in tectonic movement in different regions in the middle Tianshan Mountains since Cenozoic.

Project: Key R&D Project of Xinjiang (2022B03001-1), National Natural Science Foundation of China (41674063), and Natural Science Foundation of Xinjiang (2016D01A061, 2021D01A131) Joint funding.

Author Introduction: Tang Mingshuai (1976-), female, senior engineer, master, mainly engaged in seismic analysis and Seismology research. E-mail: tmings65@sina.cn

Hongwei Wang^{1,2}, and Ruizhi Wen^{1,2}

1 Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China;

2 Key Laboratory of Earthquake Disaster Mitigation, Ministry of Emergency Management, Harbin 150080, China

ATTENUATION CHARACTERISTIC AND SIMULATION OF GROUND MOTIONS FOR THE M_w 7.8 TÜRKIYE EARTHQUAKE ON 6 FEBRUARY 2023

A great earthquake violently shocked the southeastern boundary of Türkiye on 6 February 2023 at 01:17, measured at M_w 7.8 by United States Geological Survey (USGS). This earthquake had an epicenter near the Pazarcık city, Kahramanmaraş Province (39.78° N, 118.44° E) and a focal depth of 17.9 km as reported by USGS. It ruptured the southwestern segment of the southwest-northeast trending, 550 kilometer-long East Anatolian Fault Zone (Bozkurt, 2001). According to the focal mechanism, this event was a typical strike-slip earthquake. The dense strong-motion observation

networks of Türkiye recorded 275 three-component accelerograms during this event, accessible at the website <https://tadas.afad.gov.tr/>. After manual waveform quality inspections for eliminating the poor ones, the remaining 251 recordings were processed in turn by baseline correction, appending cosine tapers and zero pads at both beginning and end of the recording, and fourth-order Butterworth band-pass acausal filter.

The well-processed recordings were then used to investigate the attenuation characteristics of ground motions by comparisons with the ground-motion prediction equations calibrated for Türkiye by [Kale et al. \(2015\)](#). The rupture model inverted by Professor Yong Zhang at Peking University using the teleseismic data (denoted by ZYM, and available at the website <https://pku-geophysics-source.group/>) was used to calculate the source-to-site distances, including the Joyner-Boore distance (R_{JB}) and the rupture distance (R_{rup}). The total residuals for peak ground accelerations (PGAs), velocities (PGVs), and 5%-damped pseudospectral accelerations (PSAs) indicated that the prediction model overall underestimates slightly the near-field ground motions, while overestimates strongly moderate- and long-period ground motions at far fields, as shown in [Figure 1](#). The total residuals can be decomposed into the interevents and intraevent residuals ([Al Atik et al., 2010](#)). The inter-events residuals indicated the stronger source effects of the M_W 7.8 event on ground motions compared with the mean level of the shallow crustal earthquakes in Türkiye represented by the prediction model, as shown in [Figure 2](#). The adjustment coefficients (Δb_{10}) of the anelastic attenuation term in the prediction model of [Kale et al. \(2015\)](#) were calculated and used to indicate the distance attenuation at far fields, as shown in [Figure 2](#). The anelastic attenuation manifested by the far-field ground motions were much stronger compared with the average level over Türkiye.

We further investigated the effects of source rupture characteristics on spatial distribution of near-fault ground motions, the generation of pulse-like velocity waveforms identified by the [Shahi and Baker \(2014\)](#) method (as shown in [Figure 3](#)), and the correlation between total residuals and station azimuths. The strongest ground motions in the event are concentrated in a narrow region from Kahramanmaras in the north to Antakya in the south where most strong-motion recordings were identified as pulse-like velocity waveforms. The total residuals show a significant dependency on the station azimuth. Comprehensively considering these phenomena, we inferred that the event ruptured to the northeast along the northeast-trending East Anatolia fault, meanwhile ruptured to the south-southwest along the south-southwest-trending Kahramanmaras-Antakya section of East Anatolia fault, approximately consistent with the source rupture model released by USGS.

Finally, the stochastic finite-fault method modified by [Wang et al. \(2020\)](#) for synthesizing three-component ground motion accelerograms was used to simulate the three-component ground motions for the purpose of mapping the instrumental seismic intensity ([Figure 4](#)) and evaluating the earthquake hazard. The stress drop was estimated to be 6.76 MPa according to the theoretical representation for slender rectangle rupture model developed by [Aki \(1972\)](#). The geometrical spreading model and quality factor for Italy-Aegean-Anatolia region from the spectral inversion analyses by [Bindi and Kotha \(2020\)](#), and the V_{S30} -dependent site effects model developed by [Seyhan and Stewart \(2014\)](#) were used in this simulation. The source rupture models provided by Professor Yong Zhang and USGS were used in the simulations, respectively. The simulated ground motions roughly describe the intensity of near-fault ground motions and the attenuation trend with the distance. The fault rupture and local site effects mainly affect the intensity of spatial distributions. The intensities estimated by simulations based on the USGS model approximately match the spatial distribution of the earthquake damage given by the post-earthquake field survey. The meizoseismal area (Antakya-Kahramanmaras-Celikhan corridor) is concentrated around the ruptured fault plane in that the instrumental seismic intensities generally reach IX, and even X for individual small areas. The slower attenuation on the southeast side of the fault plane than that on the northwest side may be ascribed to the local site conditions, i.e., the lower V_{S30} on the southeast. The high seismic intensities in the area near Ceyhan and the Amuq Valley in the north of Antakya may be also related to the local site conditions.

References

- [1] Aki K. 1972. Earthquake Mechanisms. The Upper Mantle Tectonophysics, 423-446, Elsevier, New York.
- [2] Al Atik L, Abrahamson N, Bommer J J, et al. 2010. The variability of ground-motion prediction models and its components. Seismological Research Letters, 81(5): 794-801.
- [3] Bindi D, Kotha S R. 2020. Spectral decomposition of the Engineering Strong Motion (ESM) flat file: a regional attenuation, source scaling and Arias stress drop. Bulletin of Earthquake Engineering, 18: 2581-2606.
- [4] Bozkurt E. 2001. Neotectonics of Turkey — a synthesis. Geodinamica Acta, 14: 3-30.
- [5] Kale O, Akkar S, Ansari A, et al. 2015. A ground-motion prediction model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV, and 5% damped response spectrum: investigation of possible regional effects. Bulletin of the Seismological Society of America, 105(2A): 963-980.
- [6] Seyhan E, Stewart J P. 2014. Semi-empirical nonlinear site amplification from NGA-West2 data and simulations. Earthquake Spectra, 30: 1242-1256.
- [7] Shahi S K, Baker J W. 2014. An efficient algorithm to identify strong-velocity pulses in multicomponent ground motions. Bulletin of the Seismological Society of America, 104(5): 2456-2466.
- [8] Wang H, Ren Y, Wen R. 2021. A modified stochastic finite-fault method for simulating ground motions in three dimensions: a case study of Ludian earthquake. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 41: 181-191.

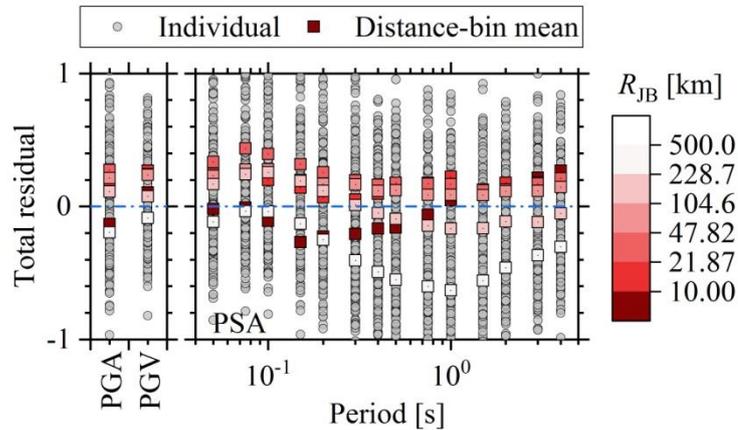


Figure 1. Total residuals for peak ground accelerations (PGAs), velocities (PGVs), and 5%-damped pseudospectral accelerations (PSAs).

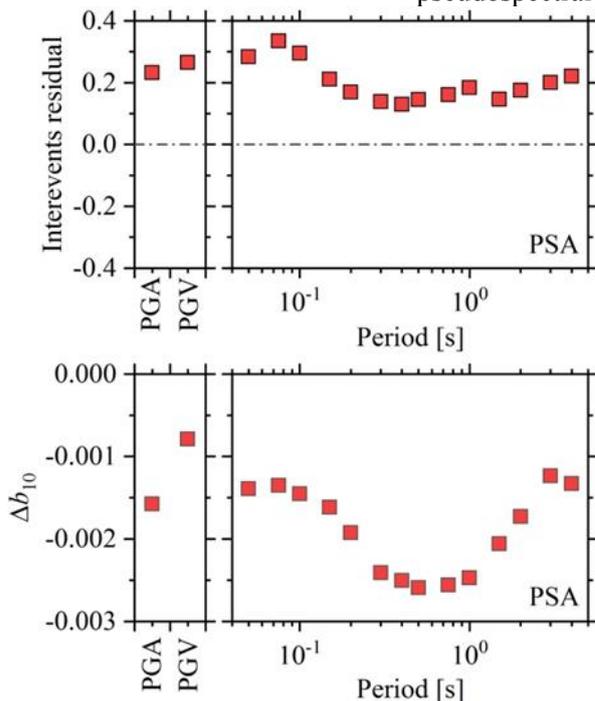


Figure 2 Top: The inter-events residuals for peak ground accelerations (PGAs), velocities (PGVs), and 5%-damped pseudospectral accelerations (PSAs). Bottom: the adjustment coefficients (Δb_{10}) of the anelastic attenuation term in the prediction model of Kale et al. (2015).

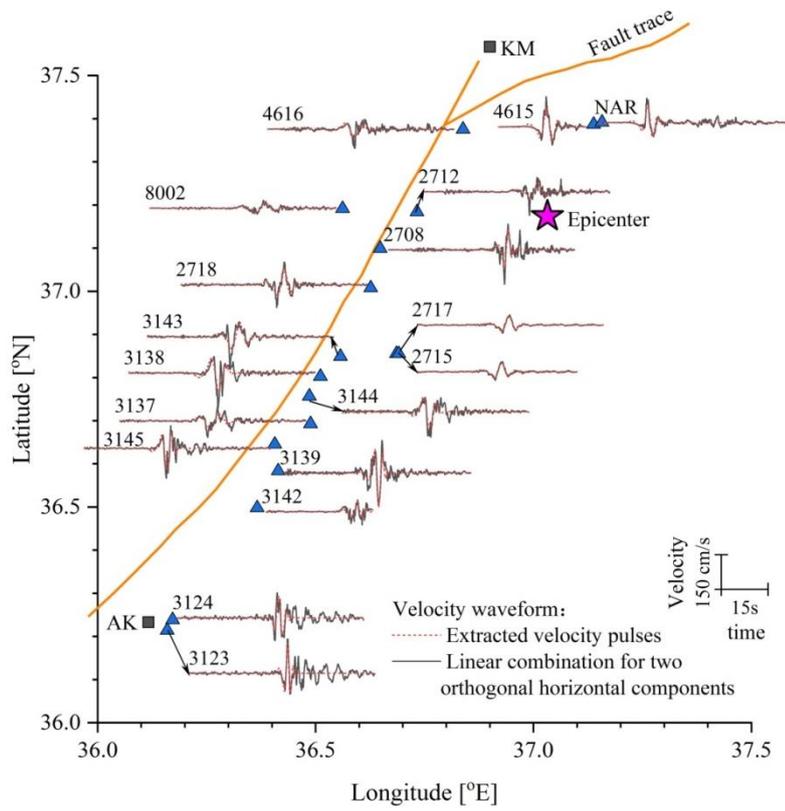


Figure 3 The velocity waveforms synthesized by the two orthogonal horizontal components and the extracted velocity pulse.

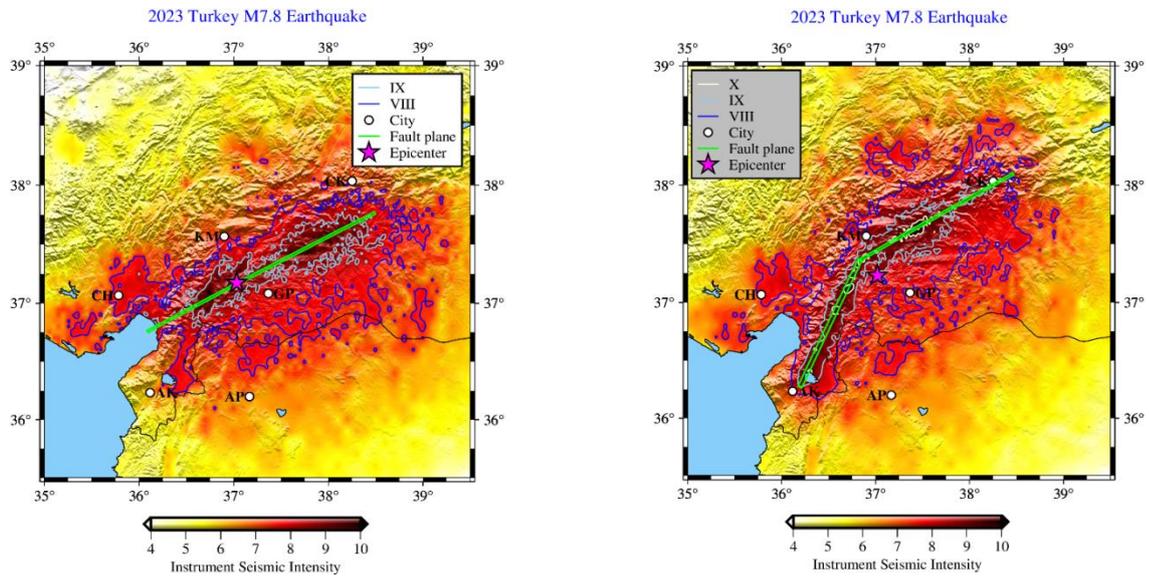


Figure 4 Instrumental seismic intensities provided by the simulated three-component ground motions using the ZYM (left) and the rupture model from USGS (right).

QUALITY ANALYSIS OF EARLY WARNING RESULTS IN THE MIDDLE PART OF XINJIANG TIANSHAN MOUNTAINS

In 1868, Cooper proposed earthquake early warning, which used the difference in propagation speed between electromagnetic waves and seismic waves to issue earthquake early warning information to the public before the arrival of destructive seismic waves^[1]. The technology was then built and used in earthquake-prone areas around the world. Such as Japan's UrEDAS early warning system, ShakeAlert early warning system in the United States and ShakeAlert early warning system in Mexico, all of them have been built successively, and some earthquakes have been successfully warned to reduce the disaster losses caused by earthquakes. Meanwhile, all of them has played an important role in promoting the cause of global earthquake prevention and disaster reduction^{[2]-[5]}. Xinjiang is a province with frequent earthquake disasters in China, and it is the second group of key units in earthquake early warning construction. In the construction process, the construction of general station, benchmark station and basic station was completed, and the data was successfully returned. Through continuous testing and trial operation, the service will be launched to the public soon.

The early-warning seismic events in Xinjiang are issued by the second-level decision-making platform of Xinjiang. The decision platform consists of two early warning and processing systems, namely, the Earthquake early warning System developed by Shenzhen Institute of Disaster Prevention and Reduction Technology (JEEW system) and the Fujian Earthquake early warning System (EEW system). The two systems were simultaneously deployed in Xinjiang Bureau, network center and disaster recovery center. In order to reduce the false trigger, for an earthquake event, only when two sets of early warning systems are triggered at the same time will it be released on the second-level decision platform. The seismic events released by the second-level decision-making platform in Xinjiang are analyzed, and the results of key early warning areas in the middle of Tianshan Mountains are analyzed emphatically.

Early warning focuses on accuracy and timeliness, so the first report is very important. In this paper, the first results published by the second-level decision platform in Xinjiang are studied, and the official results released by the China Earthquake Networks Center are compared and analyzed. From January 1 to June 30, 2023, a total of 178 earthquake events have been reported, among them, there are 10 out-of-province seismic events and 29 foreign seismic events. A total of 72 earthquake early warning events were issued, of which 12 were issued in the key early warning area in the middle of the Tianshan Mountains (Table 1), accounting for 16.7%. Analysis from the of timeliness, the first report time of 12 seismic events was 4.6~11.3 s, and the average warning time was 8.7 s. 8 seismic events were released within 10 s, accounting for 66.7%; Analysis from the of magnitude, the magnitude deviation ranges from -0.5 to 1.1, with an average of about 0.2, and the number of earthquakes with magnitude deviation less than 0.3 is 7, accounting for 58.3%; Analysis from the of epicentral deviation, the epicentral deviation ranges from 1 km to 14 km, the average is 5 km, and there are 10 seismic events less than 10 km, accounting for 83.3%.

Comprehensive analysis shows that there is a insufficient of timeliness in the key warning area in the middle of Tianshan Mountains, This is because of the uneven distribution of stations due to the complex topography in Xinjiang, and the insufficient density of stations near the epicenter of some earthquake events; The magnitude deviation is slightly larger, the main reason is that in the first report, fewer calculation stations are used to pursue timeliness. In the subsequent results, the magnitude results are better with the increase of the number of calculation stations. The epicentral deviation is generally small, but it is also affected by the distribution and density of the stations. In terms of timeliness and accuracy, Xinjiang earthquake early warning can basically meet the needs of early warning construction, but it needs to continue to improve

the shortcomings and serve the public with better quality.

Table 1 Output results of key warning areas in the middle Tianshan Mountains

Serial number	Date (YYYY-MM-DD)	Time of onset (HH: MM: SS)	Latitude (°)	Longitude (°)	Time (s)	Magnitude deviation	Epicentral deviation (km)
1	2023-01-27	07:50:17	44.23	81.41	10.5	-0.2	2
2	2023-02-04	22:14:05	44.40	80.95	7.5	-0.1	4
3	2023-02-07	10:46:17	45.01	80.91	7.1	0	4
4	2023-02-13	18:38:47	43.78	84.82	11.2	0.2	6
5	2023-03-13	17:14:21	44.36	84.16	4.6	-0.5	4
6	2023-03-21	02:38:07	44.28	81.18	10.4	0.5	3
7	2023-04-16	00:12:45	44.05	84.67	11.3	0	11
8	2023-04-24	22:13:05	43.31	83.68	9.4	0.4	6
9	2023-04-26	15:53:39	42.15	83.32	8.9	0.1	3
10	2023-05-17	05:56:23	42.78	80.59	7.2	0.4	1
11	2023-06-08	01:07:54	43.63	85.99	8.1	1.1	14
12	2023-06-30	18:33:08	43.35	82.51	8.0	0.2	2

Reference:

[1] Wang Lichan, Mao Guoliang, Li Xiaojun, et al. The Analysis of Early Warning Processing Capacity for Tangshan Ms5.1 Earthquake[J]. Earthquake Research in China, 2020, 36 (3) : 394-406.

[2] Cai Yin, Zhang Ming, Zhao Rui, et al. Research on the Earthquake Early Warning Information Rapid Release System[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2019, 14 (1) : 247-258.

[3] Dong Chenyang, Dong Jianping, Chen Jianghong, et al. Effectiveness Analysis of Earthquake Early Warning System in Zhenjiang[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2020, 15 (3) : 556-562.

[4] Jin Xing, Zhang Hongcai, Li Jun, et al. Research on earthquake early warning magnitude Estimate[J]. Acta Seismologica Sinica, 2012, 34 (5) : 593-610.

[5] Liu Heyi, Song Jingdong, Li Shanyou, et al. ShakeAlert: development of the United States West Coast earthquake early warning system[J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2020, 40 (6) : 61-70.

**ZHAI Shilong¹, HUANG Jing², LEI Qing¹,
MAIMAITIMIN Tuergong¹, AISA Ismaili¹**

(1. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011,
(2. Xinjiang, China)

(2. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi
830011, Xinjiang, China)

**CONSISTENCY ANALYSIS OF THE MONTH BY MONTH VARIATION BETWEEN
CGGM GLOBAL GEOMAGNETIC FIELD MODEL AND THE STATION MAIN
MAGNETIC FIELD**

Abstract. The observed data of five geomagnetic stations in Xinjiang region from August 2018 to July 2022 were processed by eliminating exogenous changing magnetic fields. the

consistency analysis is carried out with the calculated main magnetic field value of the CGGM (the CSES global geomagnetic field model) based on the data of the "Zhangheng 1" seismic electromagnetic monitoring test satellite, and the results show that: (1) The monthly change rate SV observed by the station is slightly larger than the monthly change rate SV model calculated by the model. The maximum monthly change rate difference between D and I is 0.08688', and the maximum monthly change rate difference among the other five elements is only 0.8914nT.(2)The difference between the root mean square error of F value of CGGM model and IGRF13 model is 26.7 nT, With the increase of the data of "Zhangheng No.1" seismic electromagnetic satellite, the calculation accuracy of CGGM model will be further improved.(3) The monthly variations of the station observation and the model calculation have little deviation. The root mean square error of D and I ranges from 0.18' to 0.41', H ranges from 4.61 to 5.10nT, Z ranges from 2.24 to 2.68nT, and F ranges from 2.15to 2.47nT. X varies from 4.89 to 5.24nT, and Y varies from 1.42 to 1.80nT,indicating that the calculated value of CGGM model is has good consistency with the observed value of stations.(4) The influence of external field could not be completely eliminated by the method of extracting the mean value of the static day and night. There would be several nT residual magnetic fields superimposed in the monthly variation of the station observation, resulting in a slight increase in the standard deviation of the monthly variation difference between the station observation and the calculated value of the model. (5) The posterior comparative analysis shows that the long-term variation of the main magnetic field predicted by the CGGM model is in good agreement with the observed value of the station, which can well describe the long-term variation of the main magnetic field.

Zhang Anhe, AisaYisimayili

(Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

STUDY OF THERMAL INFRARED ANOMALIES OF SHAYA $M_S6.1$ AND TAJIKISTAN $M_S7.2$ IN 2023

Abstract: According to the China Earthquake Networks, an $M_S6.1$ earthquake occurred in Shaya County, Xinjiang (40.01° N, 82.29° E) and an $M_S7.2$ earthquake occurred in Tajikistan (37.98° N, 73.29° E) at 7:49 PM on January 30 and 8:37 PM on February 23, 2023 (Beijing time). The focal depths were 50 km and 10 km respectively. There are few fixed observation stations near the epicenter of the two earthquakes, so it is difficult to extract the pre-earthquake anomaly only by fixed observation.

With the rapid development of space observation technology, in recent decades, seismic thermal anomaly has quickly become a hotspot in the cross field of earthquake and remote sensing. The rock mechanics experiments have also laid a theoretical foundation for observing the distribution of crustal stress field and predicting earthquakes by satellite infrared remote sensing. Because of the complex and diverse factors affecting the thermal radiation, it is not easy to distinguish the thermal change information caused by various field sources. The relative power spectrum method proposed by Zhang Yuansheng can remove the influence of topography and weather with almost no loss of information, and improve the accuracy of anomaly recognition. The relevant studies using this method show that there are different degrees of thermal radiation anomalies before a large number of moderate and strong earthquakes.

In this paper, the blackbody temperature (TBB) product of FY-2G satellite is used as the data, and the relative power spectrum method is used for analysis. In order to avoid the interference of surface temperature rise caused by solar irradiation, five observation data during the period of 01:00-05:00 Beijing time (GMT17:00-21:00) were selected for analysis. By using FIXSATELLITE software, we calculate the average thermal infrared relative power spectrum of 5 daily observations, analyze the spatio-temporal evolution characteristics of thermal infrared

relative power spectrum before Shaya $M_S6.1$ and Tajikistan $M_S7.2$ earthquakes, and summarize the earthquake cases in recent years. The results show that: (1) From September 9, 2022, a large area of thermal infrared anomaly appeared in the southwest of Tarim Basin and middle of Tianshan in Xinjiang. The two anomaly areas connected on September 25, on October 1st, the abnormal area reached its maximum value, and disappeared completely on October 23, lasting for 44 days. The two earthquakes occurred 99th and 123th days after the anomaly disappeared. Shaya $M_S6.1$ occurred at the intersection of two abnormal areas. Tajikistan $M_S7.2$ was located about 300km west of the abnormal area in the Tarim Basin; (2) The time series curve of thermal infrared relative power spectrum since 2019 was made with the range of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ of the two earthquake epicentres, there was an obvious overthreshold phenomenon before the Shaya $M_S6.1$, while no overthreshold was shown on the time series curve due to the distance of Tajikistan $M_S7.2$ from the anomaly area. In order to further analyze the change characteristics of this anomaly, the period from September 1 to October 32, 2022, was intercepted for analysis. The result shows that the high value of the power spectrum at the Shaya epicenter presents a "single peak" evolution process, while the high value at the Tajikistan epicenter presents a "double peak" fluctuation change, and its high value lasts longer, long periods of high value fluctuations may indicate a larger magnitude; (3) Analyzing the thermal infrared relative power spectrum earthquake cases in Xinjiang and surrounding areas since 2008, when a large area of thermal infrared relative power spectrum anomaly occurs in Xinjiang, there is a possibility of an earthquake with a magnitude of 6.5 or higher occurring at the edge of the anomaly area and adjacent areas within the next 6 months, and the most possible occurrence time is 3 months.

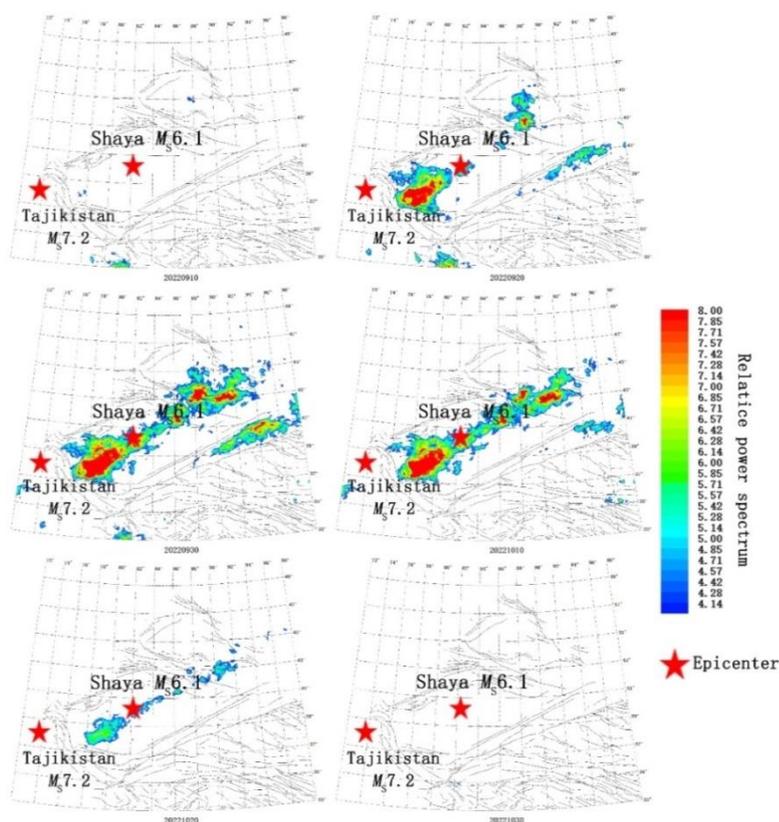


Figure 1 Spatio-temporal evolution of relative power spectrum

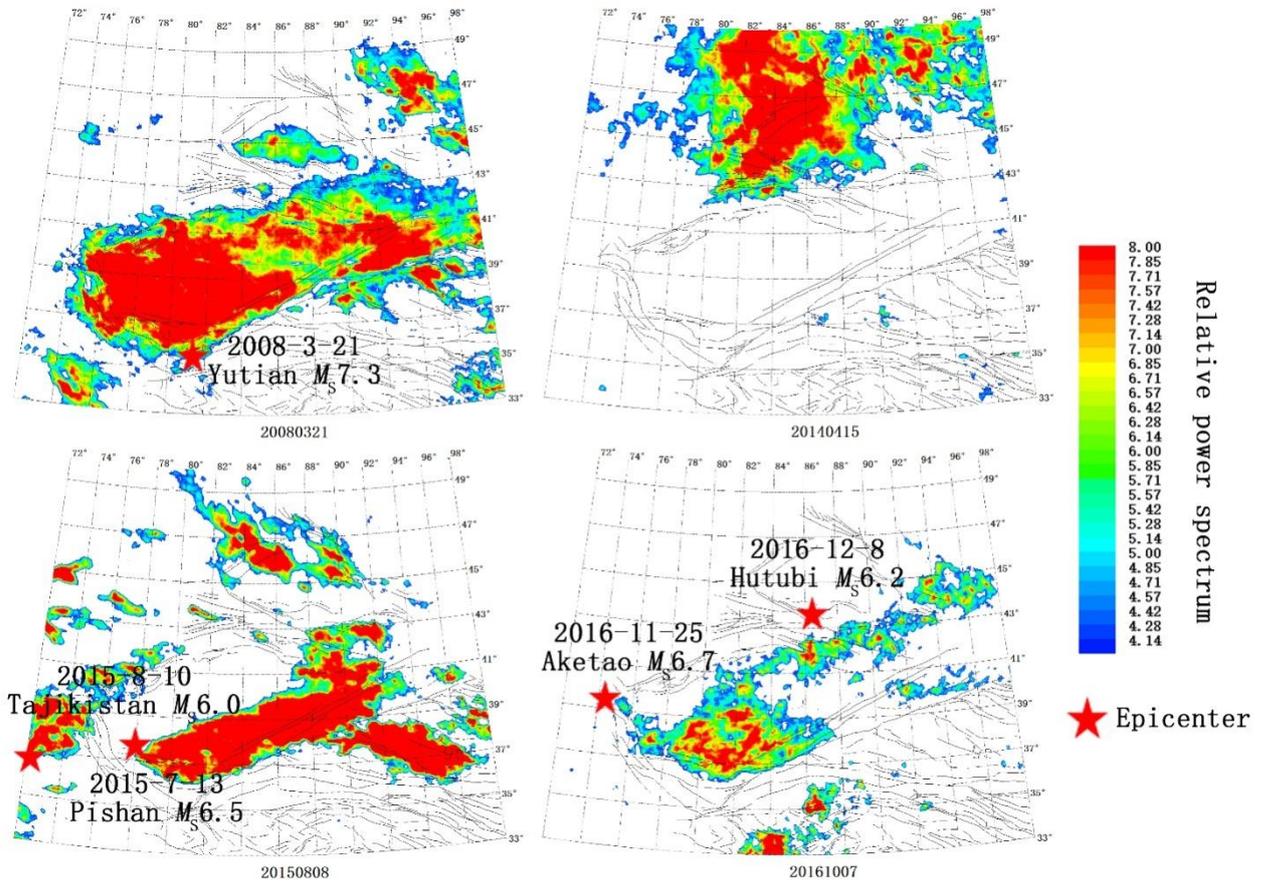


Figure 2 Large area thermal infrared anomaly images since 2008

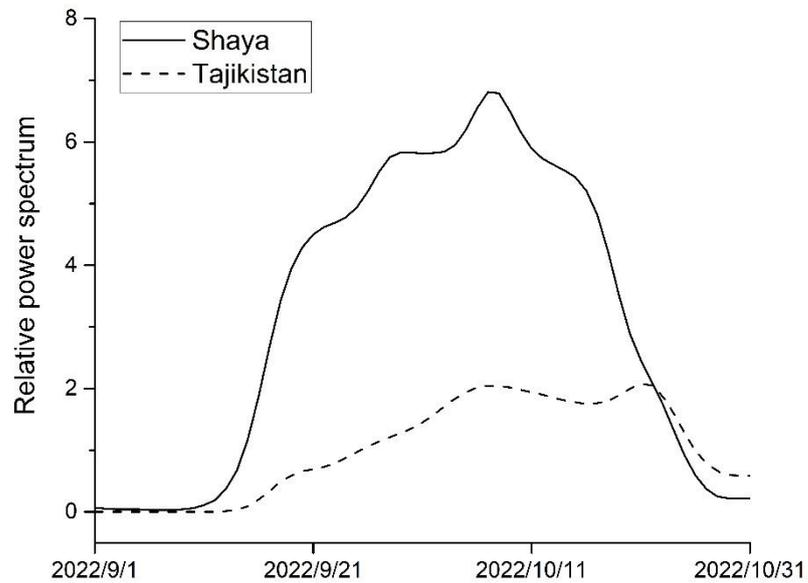


Figure 3 Time-series curve of relative power spectrum (2022.9.1-10.31)

Table1 Correspondence of large area thermal infrared anomalies to earthquakes above magnitude 6

Number	Abnormal start time	Abnormal end time	Duration/d	Earthquake Cases	Abnormal start to earthquake occurrence /d	Abnormal end to earthquake occurrence /d
1	2008-1-26	2008-4-25	90	2008-3-21 Yutian M_s 7.3	55	-35
2	2015-6-13	2015-9-2	81	2015-7-3 Pishan M_s 6.5 2015-8-10 Tianshan M_s 6.0	20 43	-61 -23
3	2016-9-17	2016-10-22	35	2016-11-25 Aketao M_s 6.7 2016-12-8 Hutubi M_s 6.2	69 82	34 47
4	2022-9-9	2022-10-23	44	2023-1-30Shaya M_s 6.1 2023-2-23 Tajikistan M_s 7.2	143 167	99 123

References

- [1] Gabrielov A ,Zaliapin I , Newman W I , et al. Colliding cascades model for earthquake prediction[J]. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 2010, 143(2):427-437.
- [2] WEI Congxin, ZHANG Yuansheng, GUO Xiao. Study of thermal infrared anomalies of moderately strong earthquake in mainland and adjacent sea of China[J]. *Infrared*, 2014, 35(010):33-40.
- [3] GUO Xiao, ZHANG Yuansheng, ZHONG Meijiao, et al. Variation characteristics of OLR for the Wenchuanearthquake[J]. *Chinese journal of geophysics*, 2010, 53(1 1): 2688-2695.
- [4] Kumar P, Foufoula-Georgiou E. Wavelet analysis for geophysical applications[J]. *Rev Geophys*, 1997, 35: 385-412.
- [5] ZHANG Xuan, ZHANG Yuansheng, GUO Xiao, et al. Analysis of thermal infrared anomaly in the Neol M_s 8.1 earthquake[J], *Earth science frontiers*, 2017, 24(2): 227-233.
- [6] ZHANG Yuansheng, GUO Xiao, ZHONG Meijiao, et al. Wenchuan earthquake: Brightness temperature changes from satellite infrared information[J]. *ChineneSci Bull*, 2010, 55(10): 900-906.

ZHANG Zhibin

Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011,China

FOCAL MECHANISM SOLUTION AND TECTONIC STRESS FIELD CHARACTERISTICS OF THE MIDDLE TIENSHAN MOUNTAINS, XINJIANG

The middle section of the Tianshan Mountains in Xinjiang is an important part of the secondary division of the stress field in the Chinese mainland. It is located in the north-central part of the Tien Shan orogenic belt, spreading between the rigid Tarim Basin and the Junggar Basin. Influenced by the remote effect of the collision of the Indian continent and the Eurasian continent, there are several nearly east-west oriented retrograde-folding active tectonic zones distributed in the region, which is one of the areas with frequent deformation and strong seismic activities within the continent. Historically, 11 strong earthquakes of magnitude 6.5 or greater have occurred in the region. The study of the tectonic stress field is of great significance for understanding the tectonic deformation, the seismogenic mechanism of the basin-mountain belt and the interaction between large earthquake stresses.

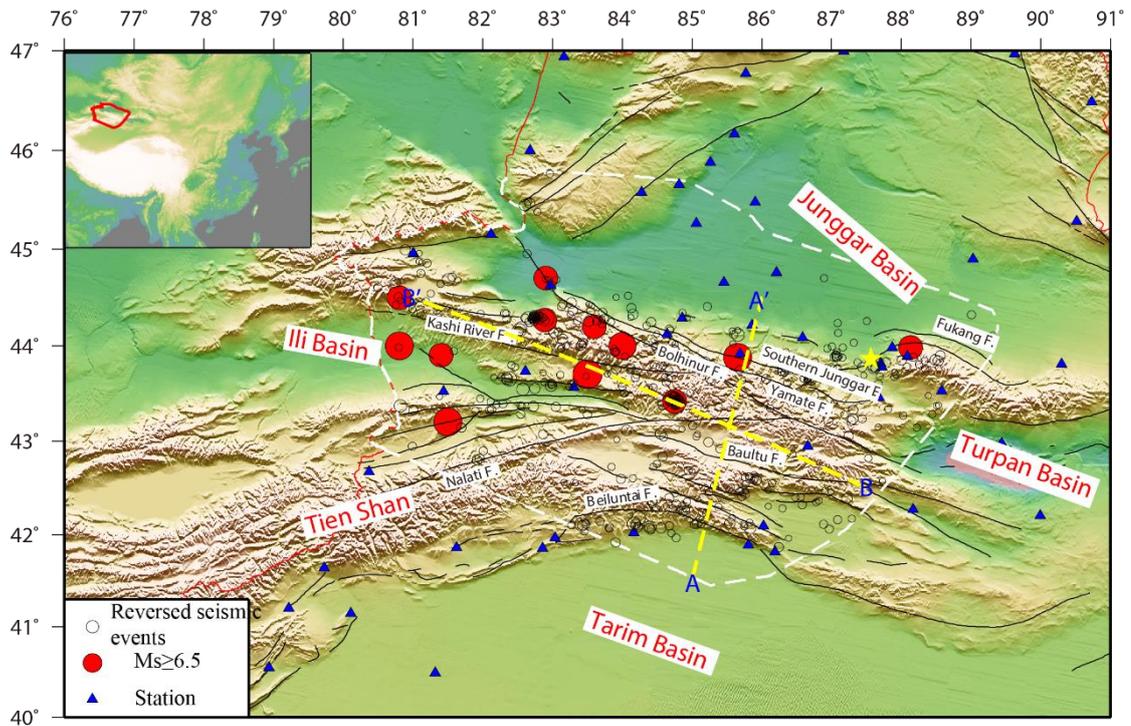


Figure.1 The tectonic structure background and station distribution map of the study area

In this paper, 492 $M_s > 2.5$ earthquake events recorded by Xinjiang seismograph network from 2009 to 2018 were collected. The $M_s 3.5$ earthquake was taken as the boundary, the focal mechanism solutions of the earthquake events in this region were calculated by CAP (Zhao et al., 1994; Zhu et al., 1996) method and FOCEMEC (Snook et al., 1985; Snook, 1989) method respectively. At the same time the focal mechanism solutions of GCMT recorded historical earthquake events in this region were also collected. According to the global stress map classification standard (Zoback, 1992), the medium-strong earthquake in the region are mainly dominated by thrust and have a certain slip component.

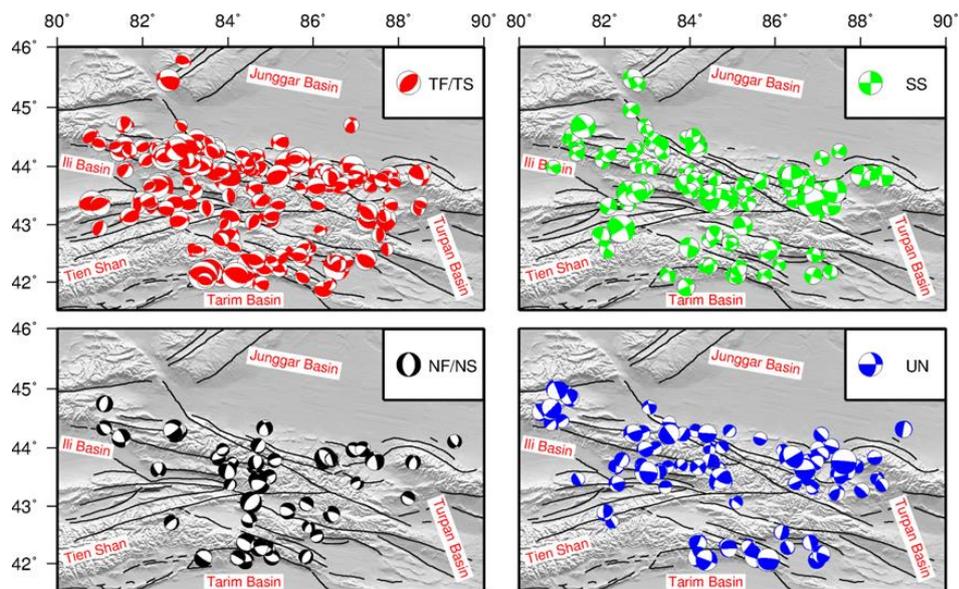


Figure.2 The distribution of focal mechanism in the middle section of Tien Shan mountain, Xinjiang

The spatial distribution characteristics of the tectonic stress field in the middle section of the Tianshan Mountains in Xinjiang are obtained by using the damped region stress field inversion method. The maximum principal compressive stress in the study area was rotated in a fan shape from west to east, and the NW direction in the western section gradually shifted to NE direction, with an elevation Angle close to horizontal. The minimum principal compressive stress axis is close to the EW direction, and the elevation angle is nearly erect. Influenced by large fault zones such as Kashi river, Bolhinur, Nalati, Fukang, the southern margin of the Junggar and the north beiluntai, the local regional stress field presents complex diversity. Under the influence of the northward extrusion of Pamir and Tarim blocks, the whole Tianshan is shortened by extrusion, but its shortening rate decrease from south to north and from west to east, the stress factor increases gradually from west to east, the intermediate principal compressive stress axis exhibits a change in compression to tension. The regional stress field features on the south side is 15 ° north to the east, while on the north side is nearly for NS, this is directly related to the clockwise rotation of the Tarim block.

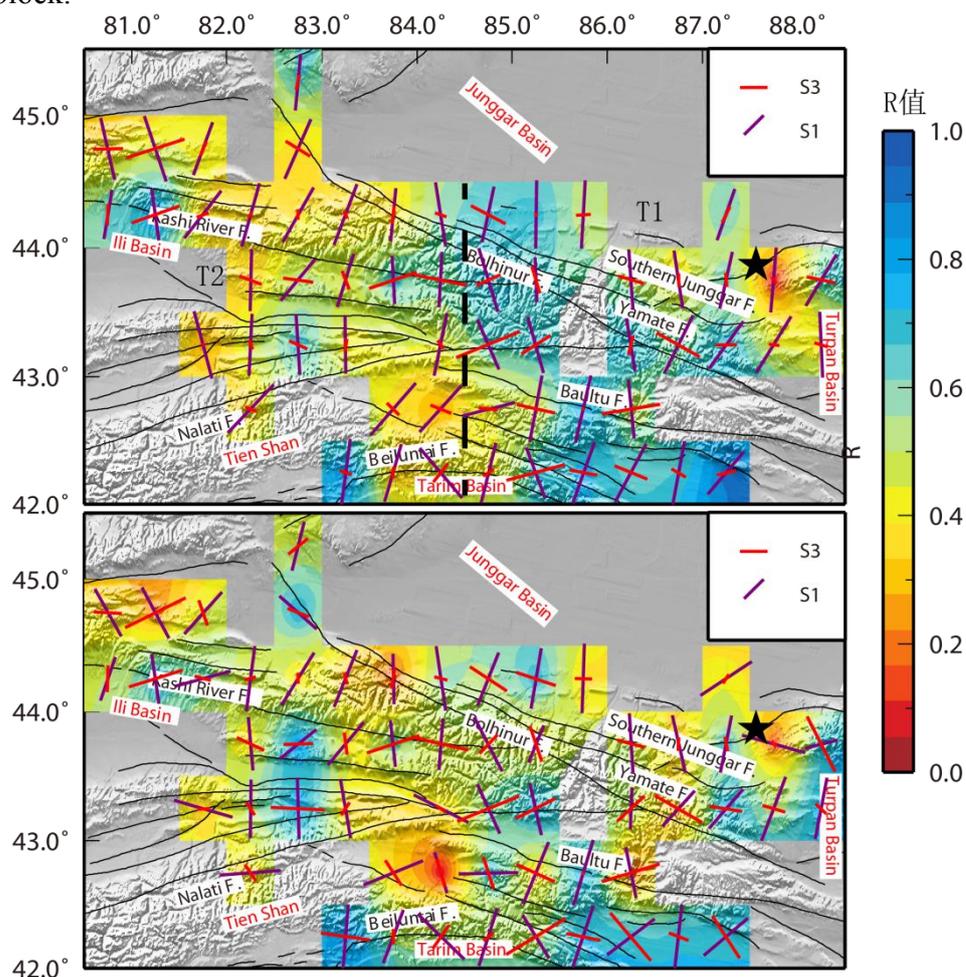


Figure. 3 Inversion results of stress field in the middle Tianshan Mountains, Xinjiang

In recent years, strong earthquakes have occurred frequently in the middle part of the Tianshan Mountains in Xinjiang, with the 2003 XinyuanHejing Ms6.6 earthquake, the 2016 Hutubi Ms6.2 earthquake and the 2017 Jinghe Ms6.6 earthquake. In this paper, two Ms 6.6 magnitude earthquakes in the region are used as boundaries, respectively. Inversion of the stress field distribution characteristics from the 2009 to 2003 Xinyuan and Jingjing Ms6.6 earthquakes, from the Xinyuan and Jingjing Ms6.6 earthquakes to the 2017 Jinghe Ms6.6 earthquake, and from the Jinghe Ms6.6 earthquake to the present. The stress field near the epicenter changes significantly in the two time periods before and after the earthquake. Before the Xinyuan and Jinghe Ms6.6 earthquakes, the maximum principal compressive stress axis was characterized by

an obvious fan-like distribution, and the occurrence of the Xinyuan and Jinghe Ms6.6 earthquakes changed the original distribution characteristics, and the maximum principal compressive stress axis near the epicenter was changed from the NE direction to the NW direction, which led to a weak counterclockwise deflection. The recent two Ms6.6 earthquake in the region caused the regional stress field to rotate counterclockwise. The post-earthquake stress field and the main source focal mechanism solution tend to be consistent.

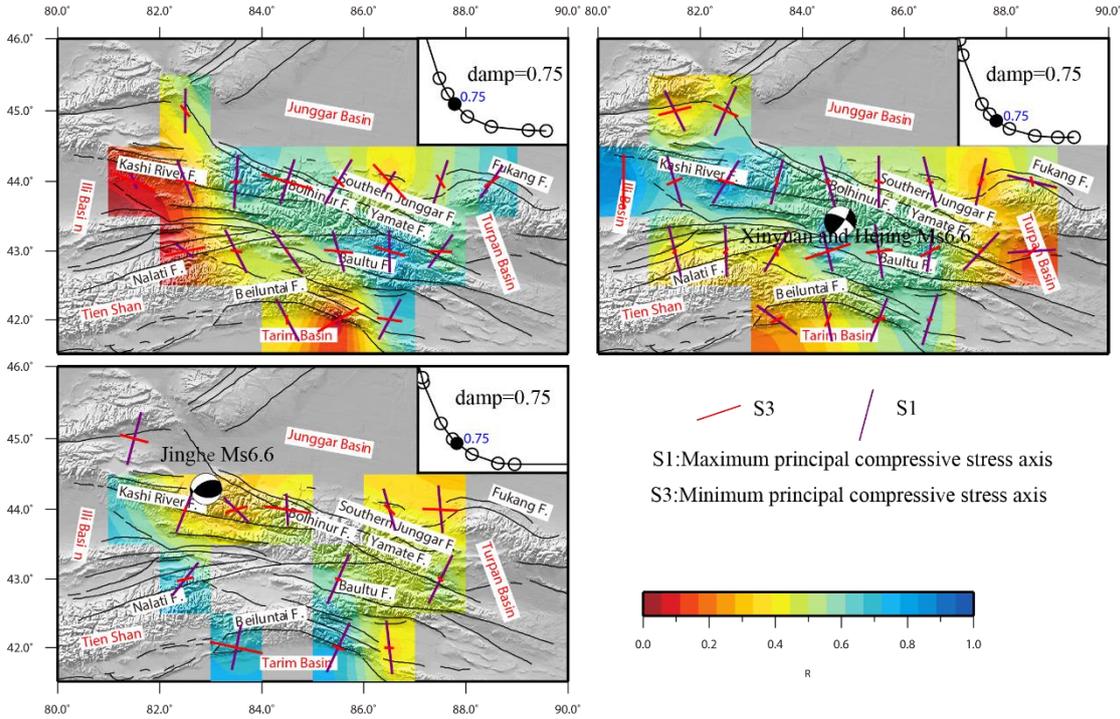


Figure. 4 Stress field distribution before and after two Ms6.6 earthquake in the middle Tianshan Mountains, Xinjiang

References

- Snoko J A, Munsey J W, Teague A G, et al. 1984. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data [J]. *Earthquake Notes*, 55(3):15—20.
- Snoko J A. 1989. Earthquake mechanism [M]. James D E. *Encyclopedia of Geophysics*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 239—245.
- Zhao L S, Helmberger D V. 1994. Source Estimation from Broadband Regional Seismograms [J]. *Bull Seis Soc Amer*, 84(1):91—104.
- Zhu L P, Helmberger D V. 1996. Advancement in Source Estimation Techniques Using Broadband Regional Seismograms [J]. *Bull Seis Soc Amer*, 86(5):1634—1641.
- Zoback M L. 1992. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the world stress map project [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B8):11703—11728.

Zhao Lei, Fang Wei, Aldak Kadelbek, Li Bingye

Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011

PRECURSORY DEFORMATION ANOMALIES OF NORTH TIANSHAN MODERATE EARTHQUAKES AND CHARACTERISTICS OF POST-EARTHQUAKE VARIATION

China Tianshan Mountain is located in the hinterland of Central Asia, sandwiched by the structurally stable Tarim and Junggar blocks on both sides. Due to the collision and extrusion between the India plate and the Eurasian continent, a series of active folds and thrust-based fault zones have been formed in front of Tianshan Mountain and in the mountain body. The tectonic activity is strong and strong earthquakes occur frequently. It is a major active tectonic and

seismic belt in western China, which has been paid close attention to all the time. Therefore, it is of great significance to carry out seismic research in Tianshan area. However, due to the complexity and irregularity of fault activity, as well as the influence factors of deformation anomaly (such as the trend influence caused by long-term creep of fault, the influence of periodic annual variation and seasonal variation, etc.), and the influence of errors caused by the measurement process, it is more difficult to identify, separate and extract anomalies. At present, it is still not mature and is still in the exploration stage.

Since June 2011, the moderate and strong earthquakes in Xinjiang have entered an active period, and 29 earthquakes with MS5.0 or above have occurred, including 6 earthquakes with MS6.0 or above and 2 earthquakes with MS7.0 or above. On June 30, 2012, Xinyuan-Hejing strong earthquake with MS6.6 occurred; On March 29, 2013, a moderate earthquake of MS5.6 occurred at the junction of Urumqi County and Changji City; On December 8, 2016, a strong earthquake with MS6.2 occurred in Hutubi County; The strong earthquake of MS6.6 occurred in Jinghe County on August 9, 2017 and the moderate earthquake of MS5.4 occurred in Jinghe County on October 16, 2018 indicate that the earthquakes in Tianshan area are unusually active and frequent at present.

The Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region has set up 12 cross-fault leveling sites on the active faults in the piedmont area of the northern Tianshan Mountains. The interference factors such as the surrounding environment of the points are few, and the data reliability is high. The cross-fault leveling lines laid before these earthquakes basically show abnormal changes in different degrees. Based on the analysis of the anomalous evolution characteristics of the cross-fault leveling observation curve before and after the earthquake, the long-term precursory anomalies and post-earthquake changes of the Huoerguosi-Manasi-Tugulu fault and the southern Junggar fault possibly reflected by the cross-fault leveling observation before and after the earthquake are studied and demonstrated. Based on the multi-period deformation observation data of leveling sites distributed on the Huoerguosi-Manasi-Tugulu fault and the southern margin fault of Junggar, the precursory deformation anomaly characteristics and post-earthquake changes of the Huoerguosi-Manasi-Tugulu fault and the southern margin fault of Junggar are analyzed by using the methods of "fault characteristic strength" and "velocity synthesis" and combining with the strong earthquakes and moderate earthquakes in the North Tianshan. The temporal and spatial characteristics of precursory vertical deformation anomalies are summarized. The fault deformation anomalies in the study area of the fault zone from 2016 to 2019, which are concentrated and mainly characterized by large acceleration jump, are related to the strong earthquakes nearby, and have medium-and long-term precursory significance. The post-earthquake observation results are mainly characterized by turning characteristics and have different degrees of coseismic deformation. Before and after the MS6.0 earthquake, the long-term anomalies of the Huoerguosi-Manas-Tugulu fault, the southern margin fault of Junggar and its vicinity are obvious, and the synthetic results of fault characteristic strength and velocity have quasi-synchronous large changes, "the anomaly changes greatly before the earthquake, and the anomaly recovers and adjusts after the earthquake"; Through the contrast and analysis of the significant earthquake events in the north Tianshan area, the results show that the same type of observation data with unobvious anomaly characteristics before earthquakes, after rate synthesis, the group anomaly information is more prominent, showing a better earthquake reflection effect.

THE APPLICATION OF ISPAQ IN SEISMIC DATA QUALITY CONTROL OF EARTHQUAKE EARLY WARNING(EEW) PROJECT IN XINJIANG

With the completion of the EEW project in Xinjiang, the number of seismic stations in Xinjiang has increased from more than 100 (Fig 1) to more than 1,400(Fig 2), The quality of seismic waveform data will have a direct impact on the EEW results, and how to output high-quality seismic data to the EEW system is an extremely important task for us. In the past,

We identified waveform anomalies through seismic analysts, When the number of stations increases dramatically, the methods for manually identifying waveform anomalies become difficult and unrealistic.

At present, various data centers around the world have gradually developed and formed their own software and processes for data quality control, such as QCM, SeisComp3, DQA, MUSTANG, LASSO, etc., of which MUNSTAG developed by IRIS/DMC has become the most representative system with the most measurement indicators and the most comprehensive monitoring functions. ISPAQ is a Python client that allows seismic data scientists and instrumentation operators to run data quality metrics on their own workstation, using much of same code as used in EarthScope's (formerly IRIS) MUSTANG data quality web service.

We calculate archived earthquake data in MiniSEED format daily with using 30 threads, more than 20 metrics is produced. Then depending on the different sensor type (Seismometer, Accelerometer and MEMS Accelerometer), We analysed the metrics of output separately daily.

After summary, We found obvious anomalies in some metrics about common failures for equipment used in EEW project in Xinjiang. For example, We used the metric 'Sample_mean' for checking the centroid position of the accelerometer, used metrics 'Sample_rms' and 'Calibration_signal' for filtering out dataloggers that sent calibrated signal unplanted. Combinedly using 'pct_below_nlnm', 'dead_channel_lin' and 'dead_channel_gsn' metrics, can help us find dead channel easily. For abnormal noise detection, we used 'pct_above_nhnm', 'pct_below_nlnm' and 'sample_rms.pdf' combinedly.

In order to visualize the results, we the stations that $RMS > 2 \mu m/s$ or 1gal. The second part is relative rate of change of RMS, which displays the rate of RMS change in today's data relative to the previous month's data means (fig 4). If generated a report daily (Fig 3). This report is consisted of eight parts. The first part is daily RMS analysis, Which shows the rate is more than 100%, Probability Density Function (PDF) plots and waveforms will be showed (fig 5 and fig 6). The other contents in our report are Calibration signal recognition, Spikes signal detection, Zero-position monitor, Number of data interruptions, dead channel detection and Percent above New High Noise Mode.

With the assistant of the report, Our operation and maintenance staff can identify easily and dispose rapidly problem seismic stations, that reduce the false trigger in EEW project as much as possible.

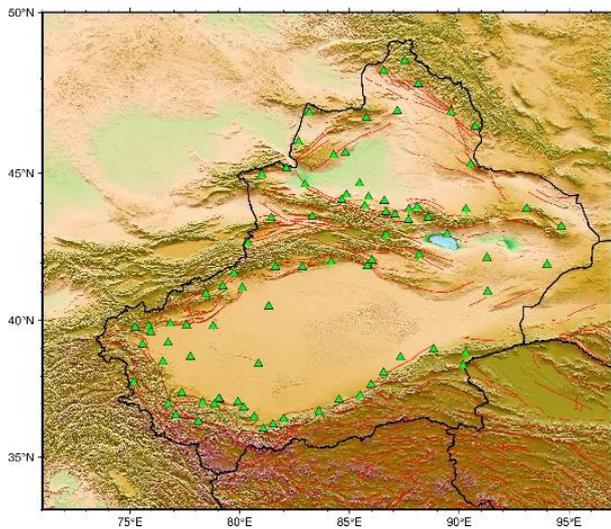


Figure 1 Seismic stations distribution before EEW project

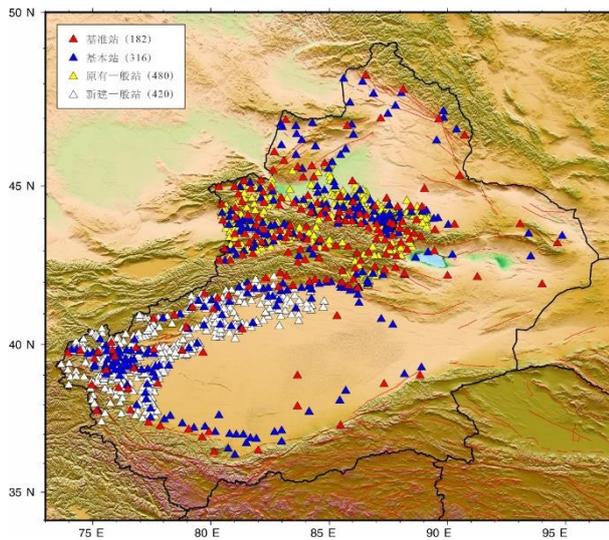


Figure 2 Seismic stations distribution after EEW project

新疆预警工程00通道数据质量评价报告

新疆地震局监测与信息中心

报告生成日期: 2023-08-14 06:50:52 报告生成IP: 10.10.10.10

RMS分析

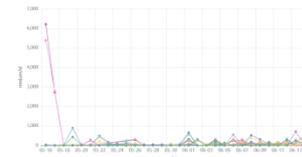
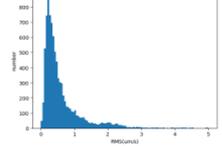
本报告统计了指定时间段内指定台站的RMS值分布情况。RMS值反映了台站的地震记录质量，RMS值越低说明台站的地震记录质量越好。本报告提供了指定台站的地震记录RMS值的分布情况，用于台站的质量评估。

id	name	start	end	method	type	type	type	type	type	type
258	K12040101-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
259	K12040102-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
260	K12040103-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
261	K12040104-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
262	K12040105-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
263	K12040106-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
264	K12040107-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1

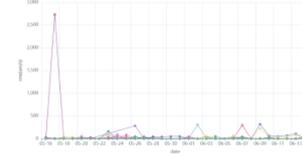
RMS相对变化率分析

本报告统计了指定时间段内指定台站的RMS相对变化率分布情况。RMS相对变化率反映了台站的地震记录质量的变化情况。本报告提供了指定台站的地震记录RMS相对变化率的分布情况，用于台站的质量评估。

Total: 4, N: 182 (mean: 0.01)



本报告统计了指定时间段内指定台站的RMS相对变化率分布情况。RMS相对变化率反映了台站的地震记录质量的变化情况。本报告提供了指定台站的地震记录RMS相对变化率的分布情况，用于台站的质量评估。



本报告统计了指定时间段内指定台站的RMS相对变化率分布情况。RMS相对变化率反映了台站的地震记录质量的变化情况。本报告提供了指定台站的地震记录RMS相对变化率的分布情况，用于台站的质量评估。

id	name	start	end	method	type	type	type	type	type	type
265	K12040108-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
266	K12040109-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
267	K12040110-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
268	K12040111-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
269	K12040112-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
270	K12040113-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
271	K12040114-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
272	K12040115-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
273	K12040116-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
274	K12040117-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1
275	K12040118-01	2023-08-14T00:00:00	2023-08-17T00:00:00	avg	1	1	1	1	1	1

Figure 3 Report daily for EEW seismic waveform data quality

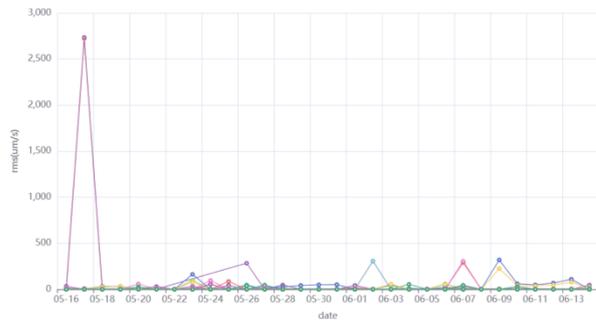


Figure 4 RMS of the previous month's data

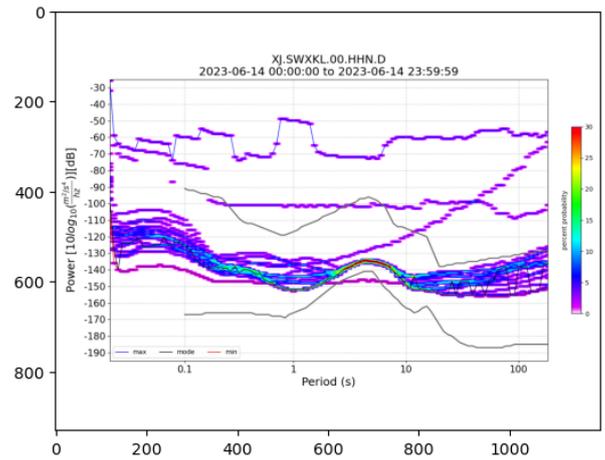


Figure 5 PDF plot of a station that underwent sinusoid calibration

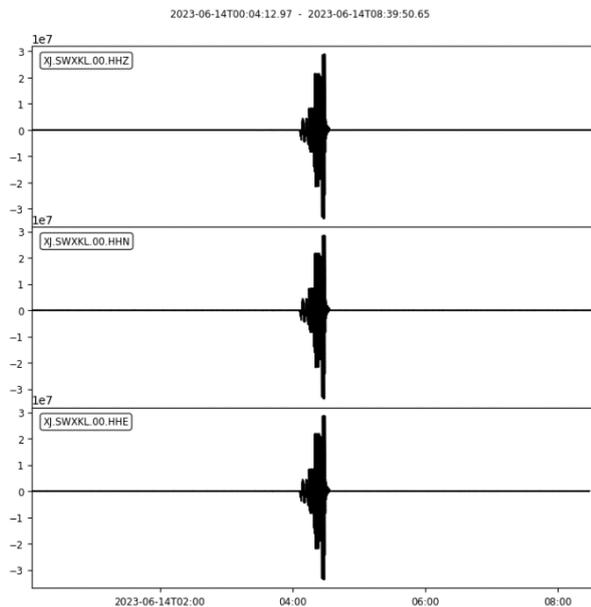


Figure 6 waveform plot of a station that underwent sinusoid calibration

**ZHUO Ruiqi¹, ZHANG Suxiang², WANG Bin¹, GUAN Dongxiao¹,
ZHU Xiangguo¹, ZHANG Jiasheng³**

¹Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China

²School of Geophysics and Measurement-control Technology, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China

³Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China

**ON SEPTEMBER 8, 2017, THE Mw8.2 MAGNITUDE EARTHQUAKE
IN MEXICO TRIGGERED THE SUBSEQUENT AFTERSHOCK**

Earthquakes are usually crustal vibrations triggered by the earth's internal changes. For some earthquakes, precursors, such as ground deformations and geochemical variations, can be observed. Such precursors are important for earthquake prediction.

According to the China Earthquake Networks Center, an M_w 8.2 earthquake with a focal depth of about 20 km occurred off the coast of Mexico (15.05° N, 93.90° W) at 12:49 Beijing Time on September 8, 2017. Studying the interactions among earthquakes through stress triggering has become increasingly popular among seismologists. In this study, we investigated the impact of the M_w 8.2 Mexico earthquake on September 8, 2017, on the subsequent interplate seismicity along the subduction zone using static Coulomb stress triggering.

1. **Data collection.** We selected the focal mechanism data of 38 earthquakes occurring within 14° – 17° N, 91° – 96° W between September 8 and 29 from the GCMT catalog. These seismic events have a maximum magnitude of M_w 6.0 and a minimum magnitude of M_w 4.7 and focal depths from 12.0 to 88.8 km. We chose the nodal planes of the focal mechanisms most likely to be the fault planes as the receiver faults on which Coulomb stresses are to be resolved, with reference to the following criteria of Sheng et al. (1) Based on the mapped faults around the focal mechanism solutions, the nodal plane with the same strike as the nearest fault is selected as the receiver fault. (2) In cases in which the receiver fault is difficult to identify based on the strike of the nodal plane alone and the dip angles of two nodal planes differ significantly, the nodal plane with the higher dip angle is selected as the fault plane for normal-faulting focal mechanisms, as a high dip angle favors the occurrence of a normal-faulting earthquake. For the focal mechanisms of thrust-faulting earthquakes, the nodal plane with the lower dip angle is selected as the fault plane, as a low dip angle is favorable for the occurrence of a thrust-faulting earthquake. (3) When there is no known fault around an earthquake epicenter or the fault plane is difficult to determine using the aforementioned methods, the corresponding focal mechanism solutions are discarded to reduce the uncertainty of the result.

2. **Coulomb stress calculation results and analysis.** In this study, we used the Coulomb3 software to calculate the static Coulomb stress change in the seismogenic region. The friction coefficient μ was taken to be the common value of 0.4 during the calculations, and the Coulomb stress changes associated with the 38 aftershocks of $M_w > 4.0$ following the M_w 8.2 Mexico earthquake on September 8, 2017 in the study area were obtained. The value of Coulomb stress change of the largest earthquake (M_w 6.0) among these events is 0.115 MPa, and it can be concluded that the mainshock triggered the occurrence of this strong aftershock. The figure 1 shows that the stress-increasing and stress-decreasing areas are essentially symmetrically distributed along the fault. The selected earthquakes are scattered on both sides of the fault, and the number of seismic events in the stress-increasing region is slightly lower than that in the stress-decreasing region. Most scholars suggest that the occurrence of an earthquake alters the regional static Coulomb stress field and that the occurrence of a subsequent event is triggered by the fault rupture during the previous event if the static Coulomb stress change at the epicenter of the subsequent earthquake in the same region exceeds 0.01 MPa. Statistics show that 12 of the aftershocks, accounting for 31.58% of all of the studied events, are associated with a Coulomb stress change exceeding the earthquake-triggering threshold of 0.01 MPa, which is not sufficiently convincing to demonstrate the triggering effect of the M_w 8.2 mainshock on the subsequent earthquakes.

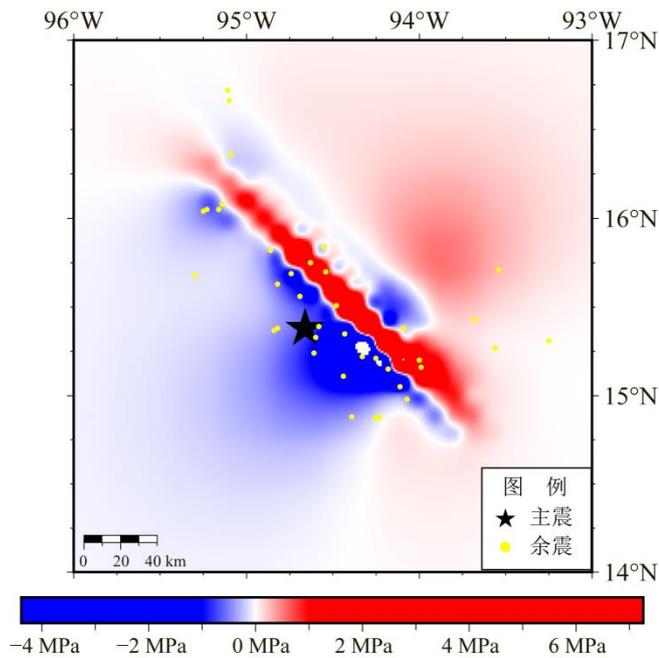


Figure 1 Stress change pattern and distribution of selected aftershocks of the Mexico earthquake on September 8, 2017

Different values of friction coefficient affect the calculation results of the static Coulomb stress change. The value of the effective friction coefficient applied has varied in different studies, usually between 0.2 and 0.8. The results above were calculated using a friction coefficient of 0.4. We further analyzed the influence of fault friction on earthquake triggering and determined the patterns of static Coulomb stress change under a friction coefficient of 0.2 (left) and 0.6 (right), as shown in Fig. 3. As shown in the figure, the number of earthquakes occurring in areas with positive Coulomb stress change differs slightly under the different effective friction coefficients.

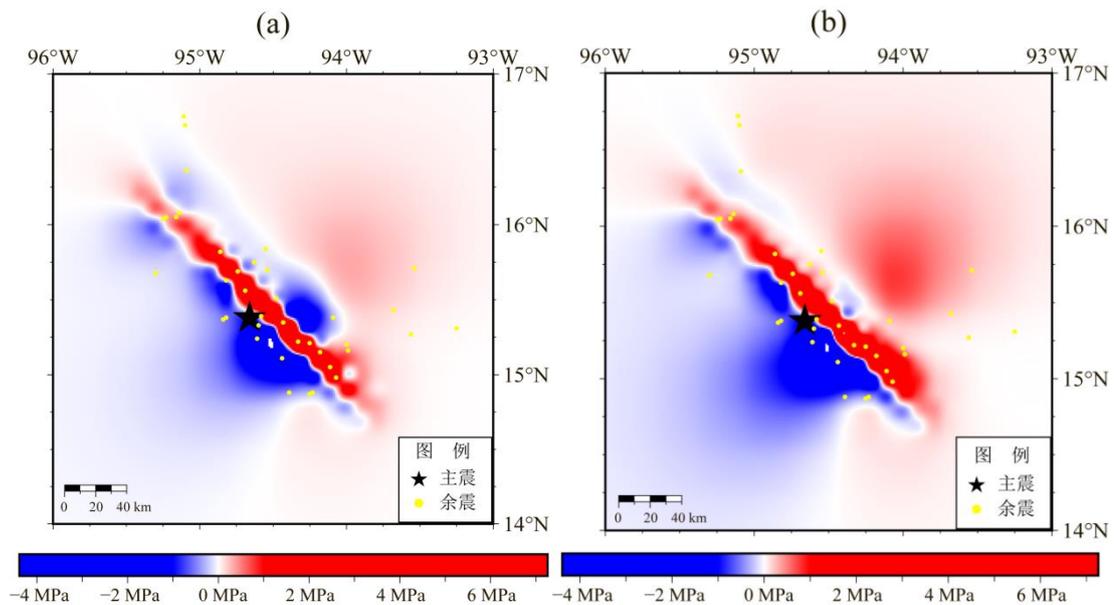


Figure 2 Patterns of Coulomb stress change and distribution of the selected aftershocks of the M_w 8.2 Mexico earthquake on September 8, 2017, under the different friction coefficient values of 0.2 (left) and 0.6 (right)

When μ is taken as 0.2, 15 earthquakes, accounting for 39.47% of all of the studied events, are associated with a Coulomb stress change attaining the threshold. When μ is taken as 0.4, 12 earthquakes, accounting for 31.58% of all of the studied events, are associated with a Coulomb stress change exceeding the threshold. When μ is taken as 0.6, 11 aftershocks, 28.95% of all studied events, are associated with a Coulomb stress change exceeding the threshold. Thus, the number of earthquakes in the areas with positive static Coulomb stress change varies under the different effective friction coefficients, but the proportion of these events never exceeds 40% of the total number of earthquakes studied. Moreover, when the effective friction coefficient μ is set to 0.6, the number of events in the areas with a static Coulomb stress change reaching the earthquake-triggering threshold accounts for only 28.95% of the total events, which is significantly less than that in the areas where earthquake occurrence is inhibited. Therefore, changing the effective friction coefficient μ does not improve the aftershock-triggering effect of the static Coulomb stress field generated by the mainshock.

3. Discussion and conclusion. In this study, we used the Coulomb3 software to study the triggering effect of an interplate mega-earthquake in the Mexican subduction zone, i.e., the aftershock-triggering effect of the $M_w8.2$ Mexico earthquake of September 8, 2017, on subsequent earthquakes through static Coulomb stress change. When the effective friction coefficient was taken as the common value of 0.4, the results showed that the proportion of earthquakes triggered was 31.58% and that the triggering effect was poor. Nevertheless, the $M_w8.2$ mainshock triggered a major aftershock ($M_w6.0$) associated with a static Coulomb stress change of 0.173 MPa. Subsequently, we adjusted the effective friction coefficient value to eliminate any potential errors caused by using an inappropriate coefficient value in the study area, which has unclear geological structures. The proportion of earthquakes triggered did not increase significantly after adjusting the effective friction coefficient value; however, the triggering effect on the major aftershock ($M_w6.0$) was prominent, being associated with a static Coulomb stress change of 0.144 MPa under an effective friction coefficient of 0.2 and a static Coulomb stress change of 0.202 MPa under an effective friction coefficient of 0.6. Therefore, it can be concluded that the static Coulomb stress triggering of the mega-earthquake in the Mexican subduction zone on the subsequent earthquakes was not significant but that the triggering effect on the major aftershock was noteworthy.

References

- [1]Deng J, Sykes L R. 1997. Evolution of the stress field in southern California and triggering of moderate-size earth quakes:A 200-year perspective[J].J Geophys Res, 102:9 859-9 886.
- [2]Nalbant S S,Hubert A,King G C P.1998.Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the northAegean Sea[J].J Geophys Res, 103:24 469-24 486.
- [3]Wan Y G,shen Z K,Zeng Y H,et al.2008. Study on visco elastic stress trigge ring model of the 1976 Tangshan earthquake sequence[J]. ACTA SEISMOLOGICA SINICA,2008,30(6):581-593.
- [4]Wan Y G,shen Z K,Zeng Y H,et al.Implications of the evolution of Coulomb stress accumulation on the occurrence of large earthquakes on the northeastern Tibetan Plateau[J].ACTA SEISMOLOGICA SINICA,2007,29(2):115-129.
- [5]Shan B,Xiong X,ZHeng Y,et al.Stress changes on neighboring faults due to the 2013 Lushan earthquake and their relationship with the 2008 Wenchuan earthquake[J].Scientia Sinica(Terrae),2013,43(6):1002-1009.
- [6]Liu G P,Fu Z X.Regional seismicity and changes in the static stress field triggered by the 7.8 magnitude Tangshan earthquake of July 28, 1976[J].ACTA SEISMOLOGICA SINICA,2000,22(1):17-26.
- [7]Sheng S Z, Wang Y G, Jiang C S, et al. 2015. Preliminary study on the static stress triggering effects on China mainland with the 2015 Nepal $M_s8.1$ earthquake.Chinese J.Geophys.(in Chinese),58(5):1834—1842.
- [8]Jia R,Jiang H K.Aftershock sequence frequency research on the Wenchuan aftershock sequence based on the coseismic coulomb stress changes[J].Earthquake Research in China,2014,30(1):74-90.

- [9]Shen Z K,Wan Y G,Gan W J,et al.Crustal Stress Evolution of the Last 700 Years in North China and Earthquake Occurrence[J].Earthquake Research in China,2004,20(3):211-228.
- [10]Li J,Zhan W H,Zhuo J J,et al.A preliminary study on static stress triggering effects on manila subduction zone by the philippine $M_w7.7$ earthquake 1990[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2017,37(6):93-99.
- [11]Zhu H,Wen X Z.Static stress triggering of large earthquake sequences in the Xiaojiang-Zemuhe fault zone[J].China University of Geosciences Journal,2012,37(1):199-206.
- [12]Miao M , Zhu S B. A study of the impact of static Coulomb stress changes of megathrust earthquakes along subduction zone on the following aftershocks. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2012, 55(9) : 2982—2993.
- [13]Huang J C,Wan Y G, Liang Q,et al.Tectonic Stress Field in the Source Area of the Mexico $M_s8.2$ Earthquake on September 8,2017[J],North China Earthquake Sciences,2018,36(4):10-16.

Баталева Е.А.

Научная станция РАН, г. Бишкек, Киргизская Республика, *elena.bataleva@gmail.com*

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

Аннотация. В работе представлено обоснование выбора современного комплекса методов электромагнитного мониторинга территории Бишкекского геодинамического полигона. Особое внимание уделяется разработке технологии электромагнитного мониторинга на основе существующего комплекса геофизических методов. Показана эффективность применения предложенного мониторинга на примере регистрации параметров электромагнитного поля на профиле Боом. Дана оценка перспектив и направления дальнейшего совершенствования методов мониторинга современных геодинамических процессов.

Abstract. The study presents the justification for choosing a modern set of methods for electromagnetic monitoring of the territory of the Bishkek geodynamic polygon. Particular attention is paid to the development of electromagnetic monitoring technology based on the existing complex of geophysical methods. The effectiveness of the proposed monitoring is shown on the example of recording the parameters of the electromagnetic field on the Boom profile. An assessment of the prospects and directions for further improvement of methods for monitoring modern geodynamic processes is given.

Одним из наиболее перспективных направлений фундаментальных исследований современных геодинамических процессов является их мониторинг, в рамках которого решаются задачи контроля и прогнозирования состояния массивов горных пород и проводятся работы по геодинамическому районированию территорий. В режиме комплексного геофизического мониторинга электромагнитные методы используются для изучения современных геодинамических процессов, поиска прогнозных критериев землетрясений в сейсмоактивных зонах по данным долгосрочных измерений, как природных, так и техногенных воздействий на инженерные сооружения.

Следует подчеркнуть, что, пожалуй, ни одна из современных проблем геофизики не является столь обсуждаемой и спорной, как возможность прогноза землетрясений. При этом ряд ученых считают, что прогноз землетрясений возможен в самом ближайшем будущем [1-2], другие же не принимают саму идею о возможности сколько-нибудь эффективного прогнозирования землетрясений, о чем свидетельствуют результаты коллоквиума Национальной академии наук США 1995 года «Прогноз землетрясений: вызов для науки» [3].

За последние 30 лет во многих сейсмоопасных регионах значительное развитие получили мониторинговые исследования современных геодинамических процессов, в том числе и землетрясений. Опыт выполненных к настоящему времени работ свидетельствует, что принципиальное значение для успешного решения мониторинговых

задач имеет создание новых и развитие уже существующих систем геофизического мониторинга. Наиболее высокого уровня достигли работы, связанные с прогнозом катастрофических процессов в Китае, США и Японии [4].

Одной из самых мощных систем геофизического мониторинга, ориентированного на прогноз землетрясений, располагает Китай, где все наблюдения централизованы, они проводятся и развиваются Государственным сейсмологическим бюро. Тем не менее, спрогнозировать место, время и силу ожидаемого землетрясения, за исключением нескольких случаев, до сих пор еще не удается. Хотя, есть и удачные случаи, например, Хайченгское землетрясение в 1975 г. в Китае или прогноз калифорнийского землетрясения в Лома-Приета (местность вблизи Сан-Франциско).

Физические характеристики земной коры, значения которых закономерно изменяются перед землетрясениями, называют предвестниками, а сами отклонения от нормальных значений - аномалиями [5]. Среди долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов только последний имеет значение для непосредственной защиты человеческих жизней и социальной инфраструктуры. В этой связи стоит отметить, что в зоне высокого сейсмического риска, к которой относится и территория Киргизской Республики, находится большое количество потенциально опасных объектов промышленного и социального назначения. При этом, огромное количество объектов построено без учета реальной сейсмической опасности, например, в зоне динамического влияния Иссык-Атинского разлома, где даже не очень сильное землетрясение может спровоцировать тектонические подвижки в земной коре, что, в свою очередь, может привести к повреждению технических и социальных сооружений и серьезным экологическим последствиям.

В настоящее время на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) (рис.1) основные экспериментальные исследования направлены на изучение зон повышенной трещиноватости и флюидонасыщенности [5-7]. Повышенный интерес к изучению разломных зон связан с их важной ролью в формировании напряженно-деформированного состояния земной коры сейсмоактивных регионов, режима подземных флюидов, а также с процессами массо-, тепло- и энергообмена в зонах их динамического влияния. Этими факторами обусловлен и новый этап развития исследований природы деформационных процессов в земной коре Бишкекского геодинамического полигона [8-11].

На территории Бишкекского геодинамического полигона реализована технология многопараметрового геофизического мониторинга, с использованием геофизических и геодезических методов в виде системы комплексных наблюдательных пунктов. Система геофизического мониторинга состоит из сейсмологических наблюдений на базе сети цифровых широкополосных телеметрических сейсмических станций (KNET), Центрально-Азиатская GPS сеть, система геомагнитных наблюдений и системы электромагнитного мониторинга изменений напряженно-деформационного состояния земной коры.

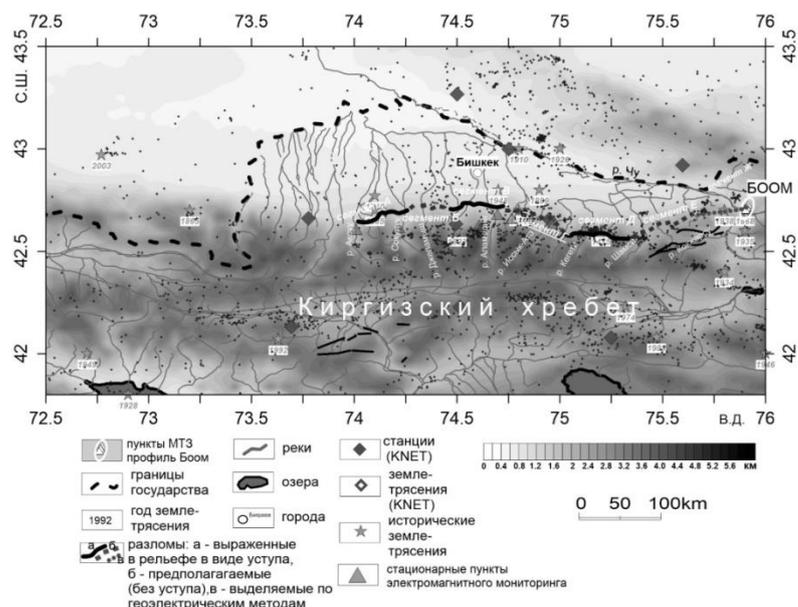


Рисунок 1. Карта-схема Чуйской впадины и ее горного обрамления (Северный Тянь-Шань)

До недавнего времени электромагнитный мониторинг БГП включал в себя наблюдения двумя электромагнитными методами. Первым из них - методом зондирования становлением поля (ЗС) наблюдения осуществляются на 6 стационарных пунктах с частотой измерений 5 раз в день и на 17 режимных пунктах с частотой измерений 2-3 суток. Зондирование становлением поля представляет собой активный метод электромагнитного зондирования с контролируемым источником, в качестве которого используется электроимпульсная система ЭРГУ-600-2, посылающая в питающий диполь АВ длиной 4.2 км серию знакопеременных импульсов длительностью 5 с. Метод ЗС основан на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земной коре при импульсном изменении тока в источнике [12, 13]. Другим электромагнитным мониторинговым методом является метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) – непрерывно на стационарных пунктах наблюдений; профильный мониторинг - 2 раза в год; режимный – в зависимости от поставленной задачи [14-17].

Метод магнитотеллурического зондирования, один из ведущих методов электромагнитного мониторинга Бишкекского геодинимического полигона, позволяет осуществлять мониторинг скрытых разломных структур, которые не проявляются в осадочном чехле, но являются зонами повышенной трещиноватости и флюидопроницаемости фундамента и проявляются аномалиями в геофизических полях. Для обнаружения и изучения зон трещиноватости используется как анализ традиционных электромагнитных параметров (кажущегося сопротивления, фазы импеданса и т.д.), так и новых - анизотропных изменений электропроводности геологической среды, оценка которой осуществляется на основе методических подходов, специально разработанных в течение последнего десятилетия для проведения мониторинговых исследований. Геологическая среда в целом, и разломная структура в частности подвержены периодическому воздействию лунно-солнечных приливов, в результате чего также периодически изменяются ее параметры (электропроводность, флюидонасыщенность, упругость и т.д.).

Целью настоящей работы является разработка технологии электромагнитного мониторинга сейсмической активности высокогорных регионов в верхней части геоэлектрического разреза. При разработке методики электромагнитного мониторинга современных геодинимических процессов проводились полевые испытания регистрирующей станции Скала 48 в качестве мониторинговой аппаратуры. Фактической основой работы явились результаты, полученные при опытно-методических и полевых

работах в период с 2021 по 2022 гг. Согласно методике работ, аппаратурой Скала 48, станция предназначена для выполнения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации в режимах малоглубинной геофизики - электрического профилирования (ЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электротомографии (ЭТ). Для мониторинговых исследований эти электроразведочные методы применяются лишь для повторных измерений (с различной периодичностью) на режимных пунктах. На Научной станции было принято решение дополнить выполняемые мониторинговые наблюдения, обработка которых проводится по методике азимутального магнитотеллурического зондирования [7, 8], данными, полученными с помощью станции Скала 48. Методика выполнения круглосуточных мониторинговых зондирований вышеуказанной аппаратурой заключается в следующем:

- 1) Выбор тензочувствительного пункта различными методами режимного МТ-мониторинга;
- 2) Суточный мониторинг – 24 измерения в сутки. Измерения производятся каждый час и для каждого измерения строится геоэлектрическая модель;
- 3) Анализ полученных данных, сопоставление с лунно-солнечными приливными воздействиями.

В качестве примера мониторинговых наблюдений нами рассматривается пункт №9 профиля Боом. В результате выполненных исследований различными электромагнитными методами (МТЗ, АМТЗ и ЭТ) был построен геоэлектрический разрез, в котором под осадочным чехлом обнаружена субвертикально падающая проводящая структура, которая в той или иной степени отражается до глубин порядка 20 км [18, 19]. Пункт №9 выбран в качестве режимного, поскольку согласно геоэлектрическим построениям под ним находится магистральный сместитель разломной структуры [18].

На рисунке 2 показана геоэлектрическая модель и ее изменения в течении суток - для мониторинговой записи 1го, 14-го и 22-го часа регистрации. Каждый замер осуществлялся длительностью 42 минуты, начало мониторинговой записи - 22 июля в 21ч 10мин, окончание - 23 июля в 20ч 45мин.

Традиционным способом решения прогнозных задач является выявление и анализ корреляционных связей между аномальными проявлениями в физических полях и пространственным распределением очагов землетрясений с привлечением данных о лунно-солнечных приливах. Характер поведения электромагнитных параметров в разломной зоне (рис.2) свидетельствует о взаимосвязи лунно-солнечных приливных воздействий и удельного сопротивления горных пород. Из чего, в свою очередь, можно сделать вывод об активности наблюдаемого тектонического нарушения. Перспективное направление дальнейших электромагнитных исследований, на наш взгляд, заключается в проведении мониторинговых наблюдений в зоне скрытой разломной структуры различными электромагнитными методами.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить следующие ключевые результаты:

Впервые на территории БГП реализована технология малоглубинного мониторинга активности зоны динамического влияния, с использованием комплекса электромагнитных методов.

По результатам регистрации электромагнитных параметров станцией Скала 48 на контролируемой территории выявлена взаимосвязь с лунно-солнечными приливами в зоне динамического влияния разлома.

Разработанная технология может быть использована при микросейсмическом районировании территорий в сейсмоопасных зонах, а также для целей мониторинга напряженного состояния среды при эксплуатации ответственных инженерных сооружений и коммуникаций.

Для успешного завершения разработки методики проведения электромагнитного мониторинга и краткосрочного прогноза геодинамических событий необходимо вести

комплексные измерения и анализ электромагнитной и акустической эмиссий горных пород.

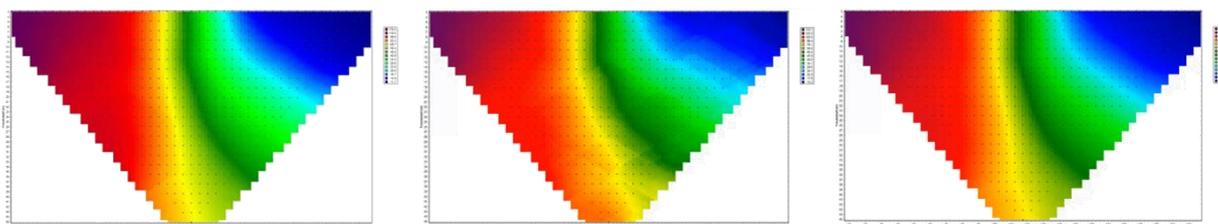


Рисунок 2 Результаты мониторинговой электротомографии с течением времени (для 1 часа регистрации, 14-го и 22-го) на профиле Боом 22-23 июля 2021 г.

Работа поддержана Государственным заданием Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (10210520645-4-1.5.1).

Литература

1. Seiya Uyeda, Toshiyasu Nagao Pre- \square Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies / Book Editor(s):DiminarOuzounov, Sergey Pulinets, Katsumi Hattori, Patrick Taylor
2. AlexandruSzakács, Precursor-Based Earthquake Prediction Research: Proposal for a Paradigm-Shifting Strategy, *Frontiers in Earth Science*, 10.3389/feart.2020.548398, **8**, (2021).
3. Earthquake Prediction: The Scientific Challenge, *Proceedings of The National Academy of Science*, v. 93, no. 9, 1996
4. [Родкин](#) М.В. Прогноз землетрясений: крушение надежд? // [Наука и жизнь](#). 2017. № 2. С. 50-55
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.
6. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // *Вестник КРСУ*. 2011. Том 11. №4. С.29-40
7. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов // *Физика Земли*. 2013. № 3. С.105-113.
8. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженного состояния среды // *Геофизические исследования*. 2014. Т.15. №4. С.54-63.
9. Баталева Е.А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров // *Докл. АН*. 2016. Т.468 № 3 С. 319–322.
10. Рыбин А.К., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Брагин В.Д., Морозов Ю.А., Щелочков Г.Г. Природа верхнекоровых электропроводящих горизонтов и инфраструктура гранитов Центрального Тянь-Шаня // *Докл. АН*. 2016. Т.470, № 2. С. 215–218.
11. О связи электропроводности и современных движений земной коры / А. М. Фридман, Л. М. Богомоллов, В. Д. Брагин [и др.] // *Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия)*. – Москва : Научный мир, 2005. – С. 219-223. – EDN YTTGCI.
12. Брагин, В. Д. Активный электромагнитный мониторинг территории Бишкекского прогностического полигона. Москва, 2001. 135 с.
13. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // *Geodynamics&Tectonophysics*. 2018. № 2. С.461-487.
14. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Детальный ретроспективный анализ данных магнитотеллурического мониторинга (Бишкекский геодинамический полигон) // *Вестник КРСУ*. 2017. Т.17. № 12. С.141-144.
15. Баталев В. Ю., Баталева Е. А., Матюков В. Е., А. К. Рыбин Изучение необратимых деформаций в литосфере Тянь-Шаня по магнитотеллурическим данным (методологический аспект) // *Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: НаукиЗемле*. 2019. № 2(42). С.42-56. – DOI 10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56.

16. Rybin A., Bataleva E., Nepeina K. Matiukov V., Alexandrov P., Kaznacheev P. Response of cracking processes in variations of geophysical fields // Journal of Applied Geophysics, 2020, 181, 104144 <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104144>.

17. Rybin A.K., Bataleva E.A., Aleksandrov P.N., Nepeina K.S. Electromagnetic studies of present geodynamic processes in the lithospheres of the regions of intracontinental orogeny: the Tien Shan example // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022. T. 58. № 5. С. 690-705.

18. Баталева, Е. А., Матюков В. Е. Глубинное строение восточной части Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022 : Материалы LIII Тектонического совещания, Москва, 01–05 февраля 2022 года. Том 1. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС", 2022. – С. 44-49. – EDN FQRDSX.

19. Баталева Е.А. Результаты мониторинга зон динамического влияния разломных структур Северного Тянь-Шаня // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 2. № 2. С. 332-339.

Kamchybekov M.P., Yegemberdiyeva K.A., Murataliev N.M., Kamchybekov Y.P.
Institute of seismology, Kyrgyzstan

STRONG EARTHQUAKES IN AREAS ADJACENT TO BATKEN CITY, KYRGYZSTAN

Abstract. The paper provides information about earthquakes that have occurred in the Batken region and adjacent territories from historical times to the present. A description is given of the macroseismic material from the Isfara-Batken earthquake of 1977, which occurred here in the recent past.

Batken village was formed in April 1934 as the district center of Batken district. Later, Batken Province was formed from the three western districts of Osh Province: Batken, Kadamzhai, and Leilek. The cities of Kyzyl-Kiya and Sulukta were included in it from Osh oblast. The town of Batken is the administrative center of the region. Today it is the smallest regional center in terms of area and number of inhabitants. The area of the town is 5,180 hectares. According to the latest data, the population is 24 thousand people. To characterize the seismicity of the Batken region and solve the issue of seismic hazard assessment, data on strong earthquakes for a sufficiently long period of time, from historical times to the present, are required. Figure 1 shows a map of the epicenters of strong earthquakes in the region of Batken for the period 1823-2022. The southwestern part of Ferghana, as well as its eastern part, belong to the area prone to earthquakes of destructive power. The first historical information about destructive earthquakes in the study area refers to the Ferghana Valley. According to chronicle sources, earthquakes of 838-839 are known. AD in the area of the city of Ferghana, during which there were many destructions of houses [1,2,3,4,11,14,15,18]. The same sources mention an earthquake that destroyed the oldest city of the Ferghana Valley, Kokand, in 1823. This concludes the historical information about earthquakes in the study area. All of them belong to the territory of the Ferghana Valley - densely populated in the past. It should be noted with regret that the paucity of historical materials of the past make it possible to use more or less reliable data on strong earthquakes on its territory over the past 80-100 years.

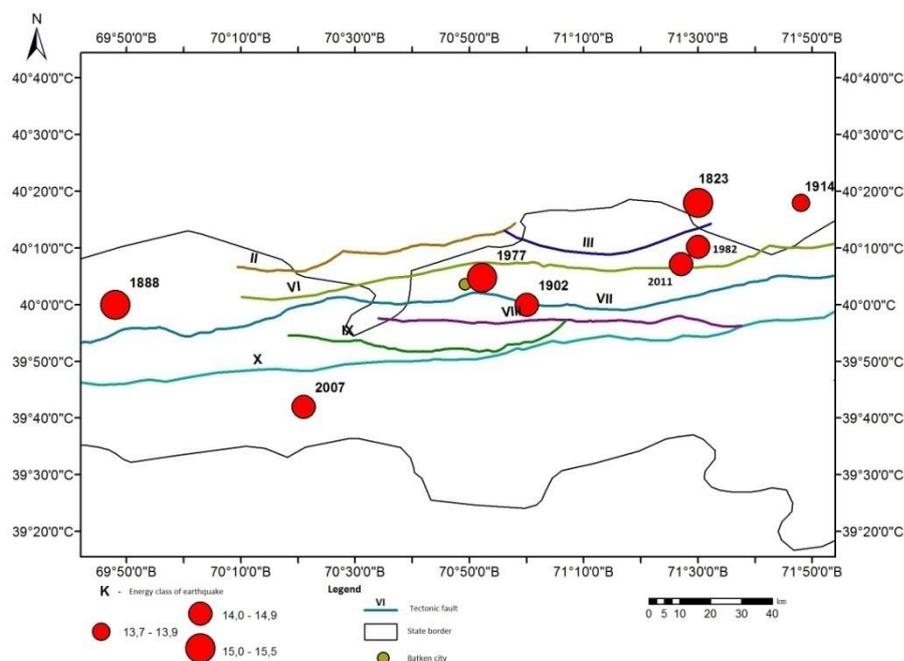


Figure 1. Map of the epicenters of strong earthquakes in the region of Batken for the period 1823-2022. Symbols: II - Guzan fault, III - Belsuy, VI - North Katran, VII - South Katran, VIII - Khaidarkan, IX - Vorukh, X - Pre-Turkestan.

The earthquakes with magnitude 7 and more occurred in 1823, 1888, 1902, 1914, 1977, 2007, 2011. The basic data on the strong earthquakes in the study area are given in Table 1.

Table 1 - The strong earthquakes in the region of Batken city for the period 1823-2022.

Year	Month	Day	Hour	Min.	Sec.	Latitude	Longitude	Depth, km	K	Mlh
1823	1	1	0	0	0	40,3	71,5	12	15,2	6,2
1888	11	28	6	40	0	40	69,8	20	15,3	6,3
1902	4	17	21	10	0	40	71	30	14,4	5,8
1914	1	13	21	0	0	40,3	71,8	20	13,7	5,4
1977	1	31	14	26	14,6	40,08	70,87	20	15,5	6,3
2007	1	8	17	21	48,3	39,7	70,35		14,8	5,8 (5,5)
2011	7	19	19	35	43,9	40,12	71,45	17	14,1	6,5

Besides the above-mentioned earthquakes numerous 4, 5, 6-point earthquakes have been detected in the studied area from origins located both within the study area and outside it. Figure 2 presents map with location of the earthquakes epicenters in the region of Batken within the radius of 60 km with energy class $K \geq 9$. The catalog of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic was used to construct this map.

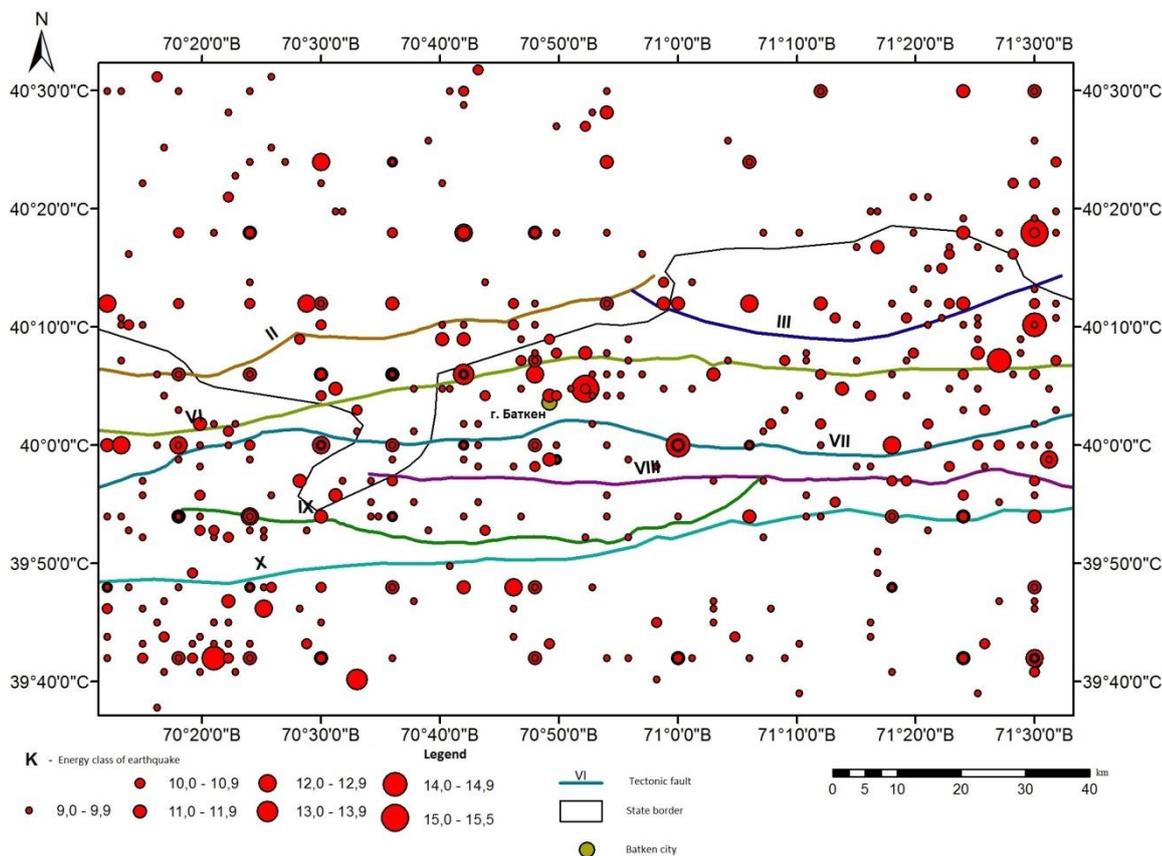


Figure 2. Location map of the earthquake epicenters in the area of Batken with radius of 60 km and energy class $K \geq 9$ for the period 1823-2022.

On 1 January 1823, an earthquake with magnitude 8-9 occurred in the Batken area [1,3,4,11,14].

On 22 November 1888 in the area near Leninabad there was 7-8 point earthquake, accompanied by an underground rumble. There were great destructions and human casualties. The area of propagation was small. In Batken the earthquake was felt with magnitude 5 [1,2,3,11]. The earthquake occurred 87 km northwest of Batken. On 17 April 1902, a 7-point earthquake struck 16 km southeast of Batken. The strength of the earthquake in Batken reached 6-7 magnitude [2,11,15]. On 13 January 1914, the Fergana earthquake occurred 88 km north-east of Batken. It was felt in Batken with a magnitude of 5-6 [1,11]. In the recent past, the strongest earthquakes in the study area were the 7-8 magnitude Isfara-Batken earthquake in 1977 and the 7 magnitude Khaidarkan earthquake in 1977. Isfara-Batken earthquake has happened on 31 January 1977 in south-west part of Fergana valley, in 4,5 km to the North-East from Batken city and has covered with shocks the frontier zone of Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan. It is the largest in the south-western part of the Fergana Valley in terms of energy released and focal size. The maximum shaking occurred in the villages of Oftobruy, Kizilpilal, Dagana, Isfara region of Tajikistan and Bazarbashi, Bulakbashi, Kyzyl-Bal, Kara-Bulak, Batken region of Kyrgyzstan. An earthquake in the pleistoseist region manifested itself as a short-term sharp vertical shock. The main shock was preceded by a rumble [5,8].

In the 7-8 point area, there was mass destruction of residential and public buildings constructed without taking into account anti-seismic regulations. The buildings in the marked villages belong mainly to type A and less frequently to type B on the MSK-64 scale. In buildings of type A - through cracks and fractures in the walls, the collapse of parts of buildings, sometimes their complete destruction. In type B buildings in cut stone brick houses, through cracks in the walls, collapse of connections between individual parts of buildings, falling chimneys. Type A houses are characterized by the collapse of the walls to the outside. Cracks

formed in the corners of many houses that had survived, expanding upwards in such a way that all four walls seemed to fall in an envelope to the outside [13]. It is noted that in the 7-8 point zone, cracking occurred on natural and deformation on bulk soils. Cracks took place on sandy-loamy water-saturated soils of flat relief [13]. In 2007, about 57 km southwest of the city of Batken, an earthquake with a force of 7-8 points at the epicenter occurred, in Batken the intensity of the shaking reached 6-7 points. In 2011, about 54 km to the east of the city of Batken, the Kansk earthquake occurred with an intensity of 7-8 points at the epicenter, in Batken it was felt with a force of 7 points. In the houses of the seven-point zone, damage appeared in the form of destruction of chimneys, cracks in load-bearing walls, and partial collapse of partitions. Cob houses have undergone significant damage: these are multidirectional through cracks in the walls, damage to the corners of buildings, damage to stoves, etc. [9].

Analyzing the available macroseismic material, we can conclude that the study area was subjected to strong earthquakes from both local and nearby sources. The maximum strength of individual earthquakes reached 8 points. The maximum intensity in the Batken area over the past time did not exceed 7-8 points. Researchers [13] note the Isfara-Batken, Sulukta-Leninabad and Khaidarkan sections of the South Fergana seismogenic zone of greatest interest from the point of view of the seismic hazard of the Batken region. One of the most active and seismically dangerous for the region of Batken is the Isfara-Batken seismically active site. This area covers the northern and northwestern parts of the Batken region with a wide strip of epicenters and extends from west to east. In these zones, the sources of strong and weak earthquakes are mainly confined to the deep South Fergana fault [13]. In the study area, the sublatitudinal faults within the given territory are seismically active, such as the North Katran, South Katran, Guzan, Belsui, Khaidarkan, Vorukh and Cis-Turkestan faults [13]. The authors of this paper note that seismic tremors are caused by the movement of blocks bounded by segments of these sublatitudinal faults and by faults that cross them. According to [8], the focus of the 7-8 point ($M = 6.4$) Isfara-Batken earthquake was located near the plane of the North Katran fault, located in the southern marginal boundary of the South Fergana fault zone and representing here one of the seismically active structures of the seismogenic zone of the same name. In the Upper Hercynian structural stage, the North Katran Fault is manifested as a sublatitudinally dipping reverse fault separating the Karachatyry Trough from the Middle Paleozoic uplift of the Katran Tau Ridge [12]. In deeper parts the fault intersects the eugeosyncline complexes of the South Tien Shan and their melanocratic (basite-hyperbasite) basement. In the recent structure, the fault divides foothill zones of different types; to the east, it switches into the marginal Predalayan Fault, which in the Shakhimardan-Sokh interfluvium is cut by the Predturkestan Fault [6,10,16,17]. Figure 3 shows a map of the location of tectonic faults in the study area. Researchers note [12] that the isoseist geometry of the Isfara-Batken earthquake, considered in conjunction with the elements of the geological structure, indicates that the earthquake is associated with the movement along the northern edge of the block of the ancient (pre-Mesozoic) basement. The block has the shape of a parallelogram, which is limited by the North- and South-Katran longitudinal sublatitudinal faults and diagonally oriented lineament structures (faults) of the northwest strike. The faults penetrate into the ultramafic base, and their faults in the near-surface parts contain plastic serpentinite "grease", which facilitates the displacement of their wings and the release of tectonic stresses, and does not contribute to the accumulation of significant energy and the occurrence of strong earthquakes [12].

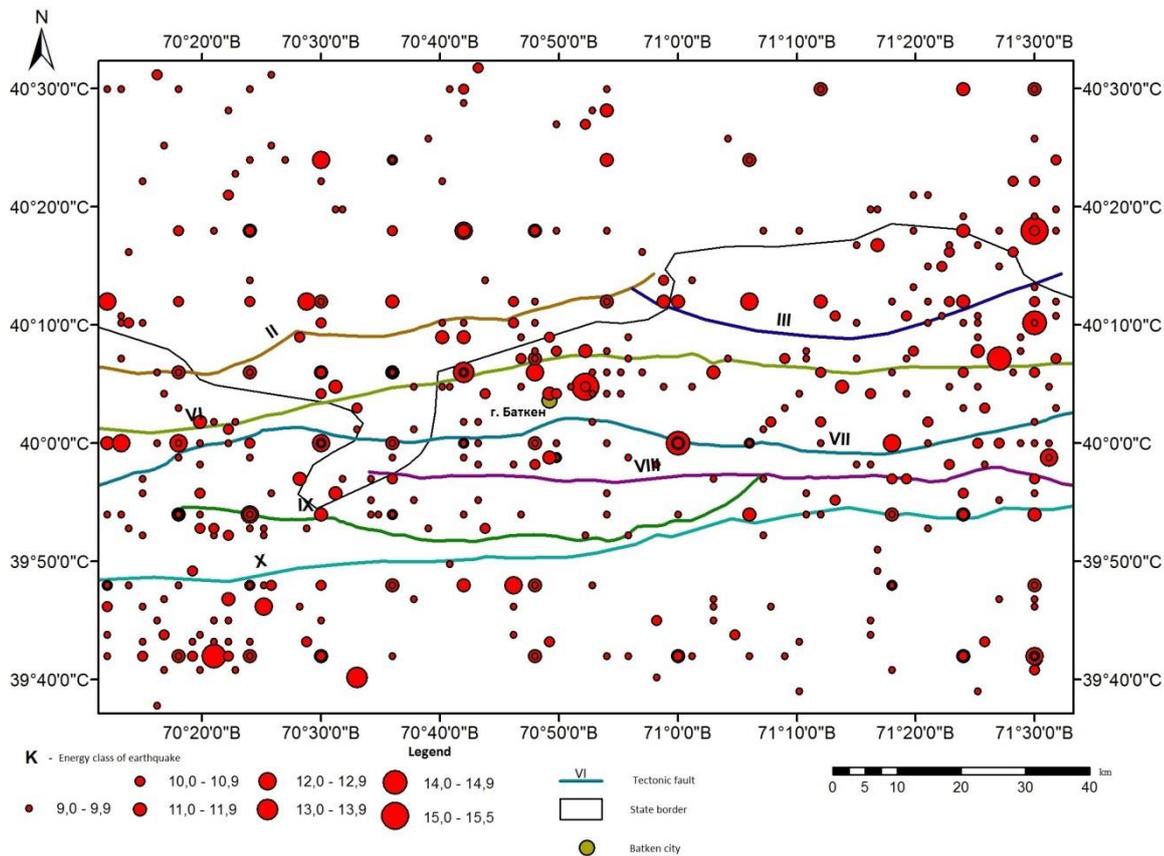


Figure 3. Map of the location of tectonic faults in the study area. Legend: II - Guzan fault, III - Belsuy, VI - North Katran, VII - South Katran, VIII - Khaidarkan, IX - Vorukh, X - Pre-Turkestan.

The results of movements along faults, in this case along South Fergana system of faults [7] in their work have named activation of seismic events 1976-1977 along western ending with eastward migration along sublatitudinal marginal faults. The first - January 16, 1976, $\varphi=40^{\circ} 05'$ $\lambda=69^{\circ}44'$, $H=5\text{km}$, $K=12$; the second - Isfara-Batken - January 31, 1977, $\varphi=40^{\circ} 05'$ $\lambda=70^{\circ}52'$, $H=11-15\text{km}$, $K=16$; the third - Khaidarkan - June 3, 1977, $\varphi=39^{\circ} 56'$ $\lambda=71^{\circ}43.5'$, $H=11-15\text{km}$, $K=14$. For the Isfara-Batken earthquake, all aftershocks that occurred at or above the level of the main shock occurred in close proximity to it, forming a dense cluster. It was noted that aftershocks with depths of 6-11 km moved from west to east, and from 11-15 km in the opposite direction. Deep aftershocks occurred, in part, near the main shock, while others moved eastward along latitudinal strike-slip faults [7].

According to the results of work and analysis of macroseismic data about strong earthquakes during historical period we may conclude that the greatest seismic effect, which took place in the Western part of South-Fergana zone, did not exceed 8 MSK, and in the region of Batken city - not more than 7-8 MSK.

References

1. Butovskaia E.M., (ed.) Seismicity of Uzbekistan. Edition 1. Tashkent, Publishing House of Academy of Sciences of Uz. SSR, 1961.
2. Bulletin of Regional Seismic Stations of Central Asia (1928-1939), Moscow-L., Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1931-1940.
3. Vvedenskaia N.A. Catalogue of strong earthquakes in Tien-Shan. M., 1962. Vvedenskaya N.A. Generalization of seismostatistical data in seismic zoning of Central Asia. Tr. OF IPZ OF AS OF USSR, #22, 1962. - 196 p.
4. Gorshkov G.P. Tectonic earthquakes and seismic zoning of the territory of the USSR, Proceedings of the IPZ of the USSR Academy of Sciences, 1947.

5. Dzhazuzakov K.D., Ilyasov B.I., Knauf V.I., Korolev V.G., Khristov E.V., Chedia O.K. Seismic zoning of Kirghiz SSR. - Frunze: Ilim, 1977.
6. Ibragimov R.N. Seismotectonics of Fergana depression. -Tashkent: Fan, 1971
7. Kalmetieva Z.A., Lesik O.M. On relation of aftershocks of Isfara-Batken and Khaidarkan earthquakes with fracture tectonics. // Geophysical studies of seismogenic zones of Kyrgyzstan. - Frunze: Ilim, 1983.
8. Kalmurzaev K.E., Knauf V.I., Yudakhin F.N., Dzhazuzakov K.D., Trofimov A.K. Preliminary results of study of Isfara-Batken earthquake on January 31, 1977. News of Academy of Sciences of Kyrgyz SSR, No 5, 1977.
9. Kamchybekov M.P., Usmanova M.T., Frolova A.G., Juraev A., Egemberdieva K.A., Nurmatov U.A., Kamchybekov Y.P., Charimov T.A. Kansk earthquake 19 July 2011//Earthquakes of Northern Eurasia, 2011. - Obninsk: FIZ EGS RAS, 2017. - P. 379-391.
10. Lemzin I.N. Faults of the Kyrgyz part of the Tien Shan. - Bishkek: Ilim, 2005. - 60 p.
11. New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975. Moscow: Nauka, 1977. - 536 p. (P.198-296).
12. Report "Study by instrumental methods of the seismic regime and types of faults in the South Fergana seismogenic zone and local seismicity in the Isfara region of the Batken, Khaidarkan and Chongarinsky earthquakes of 1977. / Funds of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic
13. Report "Seismic microzoning of the territory of the Batken district center and adjacent settlements" Frunze, 1979. / Funds of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic.
14. Semenov A.A. List of earthquakes in Central Asia and neighboring countries from ancient times to 1830. "Proceedings of the Seism Institute. building and seismic, Academy of Sciences of Taj. SSR", 1958. 94.
15. Semenov P.G., Semenova V.A. Catalog of earthquakes felt on the territory of Tajikistan for the period 1865-1940. and 1941-1952. Stalinabad: Publishing House of the Academy of Sciences Taj. SSR, 1958. // Tr. in-ta seismol. AN Taj. SSR 1958. - T.86. Edition. 3. - 146 p.
16. Trofimov A.K. Layered relief of the mountains of Central Asia and the problem of correlated deposits. // Regularities of the geological development of the Tien Shan in the Cenozoic. - Frunze: Ilim, 1973. - P. 116-128.
17. Khusanbaev D.D., Ibragimov R.N., Nurmatov U.A. Seismotectonic potential of the earth's crust and assessment of M seismogenic zones. // Seismic zoning and earthquake forecast in Uzbekistan - Tashkent: Hydroingeo, 2002. - P. 64-68.
18. Kamchybekov M.P., Yegemberdiyeva K.A., Murataliev N.M., Kamchybekov Y.P., Adjibek kyzy A Strong earthquakes in the territories adjacent to the Batken city // Vestnik of Instiute of Seismology NAS KR, 2023, #1(21) – P. 52-58.

Khachikyan G. Ya.

Institute of Seismology of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan,
Al-Farabi Ave. 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan, E-mail: galina.khachikyan@gmail.com

SOLAR ACTIVITY, GLOBAL AND REGIONAL SEISMICITY (overview and possible perspectives)

Summary. A connection of global and regional seismicity with variations of solar activity is shown. Global seismicity tends to increase in minimums of solar activity (maybe in solar grand minimums). The regional seismicity varies in accordance with the global one. So, the strongest earthquakes of the recent past in the Northern Tien Shan occurred during low-amplitude 11-year solar cycles (solar grand minimums). The seismotectonic deformation on data of focal mechanisms at local area in North-West Tien Shan, which is eroded by upwelling hot material from the mantle [*Shatsilov et al.*, 2000, 2005; *Wang et al.*, 2022], shows dependence on solar activity variations. It could be perspective to carry out similar investigations at China territory of the East Tien Shan, which also is eroded by upwelling hot material from the mantle as showed by *Wang et al.* [2022].

Аннотация. Показано соответствие между вариациями солнечной активности, глобальной и региональной сейсмичности. Глобальная сейсмичность возрастает в периоды низкой солнечной активности (возможно, в периоды глобальных солнечных минимумов). Региональная сейсмичность изменяется согласованно с глобальной. Так, сильнейшие землетрясения недалекого прошлого на Северном Тянь Шане произошли во время низкоамплитудных 11 летних солнечных циклов (солнечных гранд-минимумов). Сеймотектоническая деформация по данным о механизмах очагов землетрясений на локальной территории Северо-Западного Тянь Шаня, где земная кора подстигается высокотемпературной мантией [Шацков и др., 2000, 2005; Wang et al., 2022], показывает связь с вариациями солнечной активности. Представляется перспективным провести аналогичные исследования на Китайской территории Восточного Тянь Шаня, где земная кора также испытывает влияние высокотемпературных потоков вещества из верхней мантии, как показано в работе [Wang et al., 2022].

1. Solar activity and global seismicity

An idea that solar activity as measured by sunspots numbers may play a role in triggering earthquakes has a long story. Obtained results show that seismic activity tends to increase in low solar activity [1-10] and mainly in periods of solar grand minima [8]. In Figure 1 we present, as an example, the results from [10], which show the distribution of the logarithm of the daily amount of released on the globe seismic energy LogEs (data of USGS global catalog for $M \geq 4.5$ for 1973-2017 have been used) in dependence on daily mean sunspot numbers (1a); and the variations of the daily mean sunspot numbers and daily counts of earthquakes in 21–24 solar cycles (1b). It is seen from (1a) that at the globe, the strongest earthquakes ($\text{LogEs} \geq 17.5$) occurred in the periods of low solar activity. Figure 1b demonstrates that a noticeable increase of daily mean earthquake counts took place after the start of the 21st century. It was underlined in [11] that during that time, the clustering of the strongest earthquakes occurred on the globe. Namely, three strong events were in Indonesia near the island of Sumatra in 2004 - M9.1, in 2005 - M8.5, and in 2012 - M8.5; three in Chile in 2010 - M8.8; in 2014 - M8.2, and in 2015 - M8.3; two on the Kuril Islands in 2006 - M8.3, and in 2007 - M 8.1; in Japan in 2011 - M9.0; in the Sea of Okhotsk in 2013 - M8.3; and in Mexico City in 2017 - M8.2. As shows Figure 1b, the clustering of the strongest seismic events at the globe took place during the declining phase of the 23 solar cycle, and during 24 solar cycle, which had the low intensity (magnitude). The state of solar activity, in which the intensity of several (usually three) consecutive 11year cycles is significantly less than the average value, is characterized as a grand solar minimum. As it was discussed in [12, 13], from the beginning of the 21st century a new grand solar minimum may be developing. Thus, Figure 1 demonstrates that seismic activity on the globe tends to increase in periods of low solar activity, and especially, in a period of very low solar activity (maybe solar grand minimum).

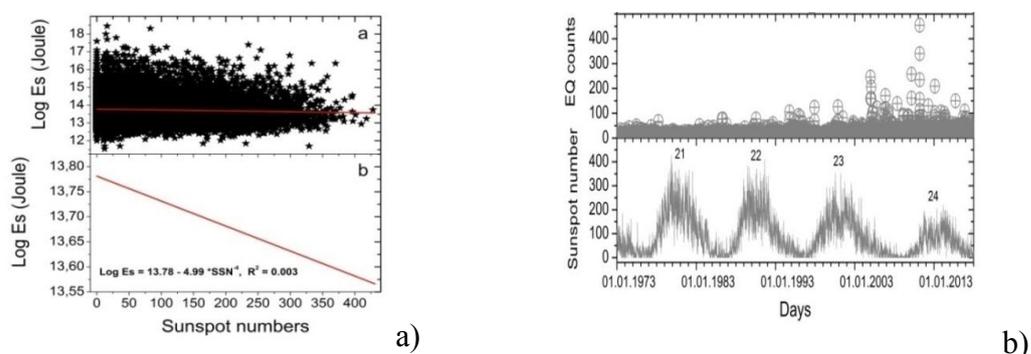


Figure 1. (a) – The distribution of the logarithm of the daily amount of released on the globe seismic energy (Log Es) in dependence on daily mean sunspot numbers, where red lines show linear trend (data on $M \geq 4.5$ for 1973-2017 were used); (b) - the variations of the daily mean sunspot numbers and daily counts of earthquakes with $M \geq 4.5$ occurred on the globe in 21– 24 solar cycles, as adopted from [8].

2. Solar activity and strongest earthquakes on the Northern Tien Shan

Figure 2 shows annual mean sunspot numbers since 1750 up to present.

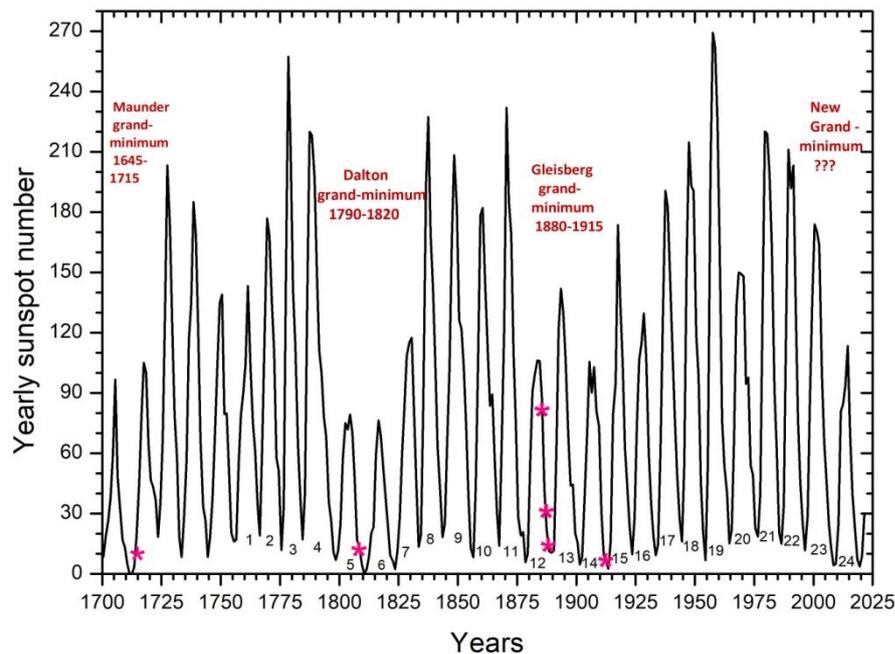


Figure 2 - The average annual number of sunspots according to <https://wwwbis.sidc.be/silso/datafiles> and the dates of the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan (asterisks from left to right): Lake Balkhash -1715, Almaty - 1807, Belovodsk -1885, Verny - 1887, Chilik -1889, Kemin – 1911.

In Figure 2, the periods of solar grand minima are indicated accordingly [14]: Maunder (~1645-1715), Dalton (1790-1820), Gleisberg (1880- 1915). As was already mentioned, authors of [12,13] predict that in our time, a new grand minimum may begin to develop on the Sun. The red stars in Figure 3 mark the dates of the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan that occurred in the recent past [15]. As can be seen, the strong paleoearthquake of 1715 in the vicinity of Lake Balkhash on the Lepsinskii fault [16] was timed to coincide with the Maunder solar grand minimum. During the Dalton grand minimum, the strong Almaty earthquake of 1807 occurred, and the Belovodsk 1885, Verny 1887, Chilik 1889, and Kemin 1911 earthquakes occurred during the Gleisberg solar grand minimum (1880-1915). Thus, Figure 2 shows that since 1715, the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan gravitated towards periods of solar grand minima. What are the most earlier solar grand minima: Sperer (1470 ± 80 AD), Wolf (1305 ± 35), and Oort (1040 ± 30 AD), authors of [8] also identified for them the paleo-earthquakes: in the Chon-Aksu river valley $\sim 1480-1660$ [17], in the river valley Dzhelamysh in the tectonic zone of the Issyk-Ata Fault at $\sim 1385 \pm 100$ [18], and in Dzungar fault in the region of the Alakol lake at $\sim 910 \pm 300$ [19], respectively.

3. Solar activity and seismotectonic deformations.

It has been recently noted in [20]: “Most earthquakes are processes of crustal stress release, which causes changes in the stress field on or around the fault, and has a great impact on the seismic activity in the area near the earthquake source [21]”. The timing of the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan to solar grand minima (Figure 2) may suggest that during these periods of time there is a certain specific development of deformation processes that end in the release of a huge amount of elastic energy (strong earthquake). An effective method to study the process and mechanism of earthquake initiation and occurrence is the inversion of the tectonic stress field based on the earthquake focal mechanism solution [22, 23]. Although the earthquake focal mechanism solution of a single earthquake cannot be used to define the actual direction of the tectonic stress applied underground, the characteristics of the tectonic stress field in the region can be inferred through many focal mechanism solutions in a given area [24, 25]. For many years, the Institute of Seismology of Kazakhstan has been studying the seismotectonic deformation of the earth's crust in the territory of the Northern Tien Shan on the mechanisms of earthquake sources, which are determined by the method [26]. The calculation of the average

strain tensor is carried out by summing the contribution of each earthquake, taking into account its seismic moment to the total strain of the elementary volume of averaging according to the expression [27]:

$$\bar{\varepsilon}_{ik} = \frac{1}{2mV} \sum_{n=1}^N M_0^n \varepsilon_{ik}^n,$$

где m – the shear modulus V – is the unit cell volume; M_0^n – are the values of the seismic moment of the n -th earthquake; ε_{ik}^n – are the components of the unit vector of the focal mechanism; N is the number of earthquakes in an elementary volume. The most important statistical characteristic of seismotectonic deformation is the Lode-Nadai coefficient (μ), which determines the type of strain tensor (shortening, shear, elongation) and is expressed numerically in terms of the principal values of the strain tensor $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, в виде [27]: $\mu = 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) / (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) - 1$. In general, the values of μ vary from -1 to $+1$ and make it possible to quantitatively express the relationship between the type of deformation and the nature of the position of the stress axes (in the mechanical sense), namely, the values $-0,3 \leq \mu \leq +0,3$ correspond to the state of shear, $\mu \geq 0,3$ correspond to uniaxial compression, $\mu \leq -0,3$ correspond to uniaxial tension [27, 28]. The results of studies on focal mechanisms with class $K \geq 7$ showed [29-32] that in the territory with coordinates $42.75-43.5N, 76.5-78E$, which is located in the central part of the Zailiysky and Kungei Alatau ridges, the average annual values of the Lode-Nadai coefficients change in antiphase with the 11-year variations in solar activity (Figure 3).

Figure 3 shows that during the periods of high-amplitude solar cycles (21-23), the variations in the Lode-Nadai coefficient were in antiphase with the variations in solar activity. Namely, during the years of low solar activity (1986, 1996, 2008), compressive stresses dominated in the study area (positive values of the Lode-Nadai coefficient). During the years of maximum solar activity (around 1990 and 2001), tensile stresses dominated (negative values of the Lode-Nadai coefficient).

In 2009, a low-amplitude solar cycle 24 began to develop, which, according to forecasts [12, 13], may be the beginning of a new solar grand minimum. We see that since that time, the pattern of antiphase change in solar activity and the Lode-Nadai coefficient has been violated, and compressive stresses steadily dominate in the local area under study. This result supports the assumption about the possible specific development of deformation processes in the Earth's crust and mantle during periods of low-amplitude solar cycles, at least in individual territories.

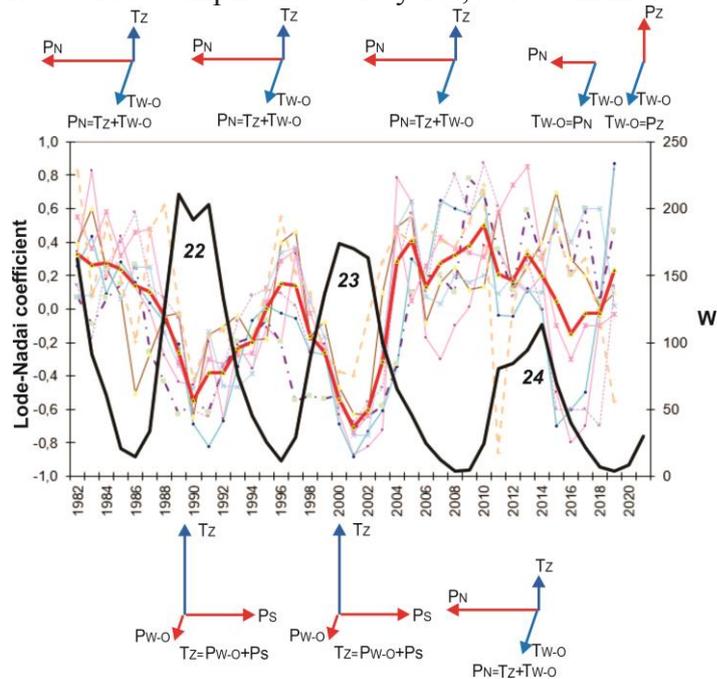


Figure 3. Variations in the average annual values of the Lode-Nadai coefficient in eight elementary cells

with a size of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ belonging to the local territory 42.75-43.5N, 76.5 - 78E (thin colored curves) and their averaging (red thick curve); black curve - average annual sunspot numbers (W); at the top and bottom are the vectors of deformations during the years of solar minima and maxima, respectively, where the red vectors refer to the shortening deformation (P) and the blue vectors to the elongation deformation (T), according to [29–32].

4. On possible prospects for the development of the research

As discussed in [31], the Earth's crust in the local area (42.75-43.5N, 76.5-78E), where a relationship between seismotectonic deformation parameters and solar activity variations is revealed (Figure 3), is underlain by a high-temperature mantle [33, 34]. Other words, investigated area may be eroded by upwelling hot material from the mantle [20]. Also, it is noted in [20] that in tectonic activity of the Tien Shan, an important role plays the far-field effects of the collision between Eurasian and Indian plates, that results in compressive stresses of earth's crust. One could suggest that upwelling hot material from the mantle could decrease the effect of compressive stresses and generate seismotectonic extension. If in years of high solar activity the upwelling hot material could be more intensive than in years of low solar activity and solar grand minima as well, this could explain the observed correspondence between variations in solar and seismic activity (Figures 2,3). Therefore, further verification of this assumption seems appropriate and may be promising.

Recently, Zhang et al., 2023 [20] collected seismic data recorded by 74 broad-band stations from the China Provincial Digital Seismic Networks and the Regional Kyrgyzstan and Kazakhstan Networks between January, 2007 and September, 2009. A joint inversion technique that combines three types of datasets (receiver functions, phase velocities of Rayleigh wave measured from both ambient noise and teleseismic earthquake data) was applied to image the crustal and upper mantle structure beneath the Tien Shan and its adjacent areas. They showed that the average S wave velocity structure at different depths in the crust and upper mantle highlights heterogeneities. For example, Figure 4, as adopted from [20, their Figure 6c] shows the average S wave velocity structure within the low crust in the depth interval from 40 km to Moho.

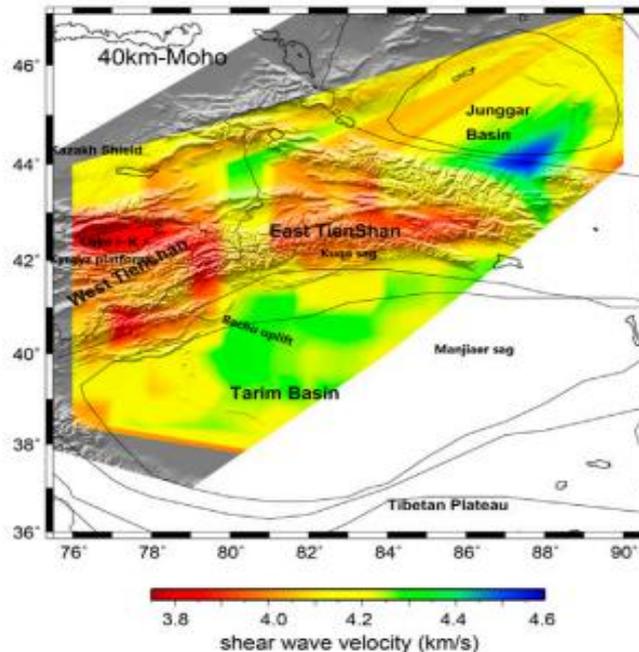


Figure 4. Averaged S wave velocity at Tien Shan within the low crust in the depth interval from 40 km to Moho from [20, their Figure 6c].

Figure 4 shows relatively low S wave velocities for the west Tien Shan, and for the east Tien Shan as well (marked with red). Authors [20] concluded that the low S wave velocities may tell us that this region may have been eroded and damaged by upwelling hot materials from the upper mantle. It is not difficult to understand that considered in above area (42.75⁰N-43.5⁰N, 76.5⁰E-78⁰E), where a relationship between seismotectonic deformation parameters and solar activity variations was found (Figure 3), belongs to the west Tien Shan. The findings [20] for the west Tien Shan are in agreement with earlier findings [33, 34] for this area, showing that this region may have been eroded and damaged by upwelling hot materials from the upper mantle. Since the average S wave velocity structure at the east Tien Shan is similar to those one at the west Tien Shan (Figure 4), the investigation of possible correlation between the solar activity and seismotectonic deformations at the east Tien Shan, on the base of focal earthquake mechanisms, could become one of the promising steps in the development of this area of research.

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19677977).

References

- [1] Simpson I.F. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. *Earth and Planet. Sci. Letter*, 1968, v.3, No5, p.417-425.
- [2] Sytinsky A.D. On the influence of solar activity on the seismicity of the Earth // *DAN USSR*. 1973. T. 208 (5). C. 1078-1081 (in Russian)
- [3] Zhang, Gui-Qing. Relationship between global seismicity and solar activities *Acta Seismologica Sinica*, Volume 11, 1998, Issue 4, p. 495-500.
- [4] Sobolev G.A., Shestopalov I.P., Kharin E.P. Geoeffective solar flares and seismic activity of the Earth // *Physics of the Earth*. 1998. (7). pp. 85–90.
- [5] Shestopalov, I.P., Kharin, E.P. Secular variations of solar activity and seismicity of the Earth. *Geophys. Journ.* 2006, Volume 28, No. 4, 59-70.
- [6] Huzaimy, J. M., and K. Yumoto. Possible correlation between solar activity and global seismicity. *Proc. 2011 IEEE Int. Conf.Space Sci. Comm.* 2011, Penang, Malaysia. 138–141.
- [7] Ebisuzaki, T., Miyahara, H., Katoaka, R., Sato, T., Ishimine, Y. Explosive volcanic eruptions triggered by cosmic rays: Volcano as a bubble chamber. *Gondwana Res.* 2011, Volume 19, 1054 – 1061.
- [8] Zhantayev Zhu. Sha., K. E. Abdrakhmatov, G.Ya. Khachikyan. Research of solar-lithospheric relationships in North Tian Shan attracting paloseismic data. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2020, Vol. 1, No.439, P. 138 – 145. ISSN 2224-5278. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.17> UDC 550.348.
- [9] Khachikyan G.Ya. On the issue of litho-space weather. *Tectonophysics and topical issues of Earth sciences. Proceedings of the All-Russian Conference with international participation*, October 5-9, 2020, Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow. pp. 124-129. <https://ifz.ru/institut/struktura/nauchnyie-podrazdeleniya/ii-otdelenie/laboratoriya-204/pyataya-tektonofizicheskaya-konferenciya-2020> (in Russian)
- [10] Ouzounov D., G. Khachikyan. On the impact of the geospace environment on solar-lithosphere coupling and earthquake occurrence. *arXiv[physics.geo-ph]* 16 February 2022. <https://www.researchgate.net/publication/358655937>
- [11] Michael, A.J. Random variability explains apparent global clustering of large earthquakes. *Geophysical Research Letters*.2011, Volume 38. L21301. Doi:10.1029/2011GL04944347
- [12] Feynman J., Ruzmaikin A. The Sun’s Strange Behavior: Maunder Minimum or Gleissberg Cycle. *Solar Physics*. 2011, Volume 272, P. 351–363, doi:10.1007/s11207-011-9828-045.
- [13] Mörner, N.-A. The Approaching New Grand Solar Minimum and Little Ice Age Climate Conditions // *Natural Science*. 2015. V.7. C. 510-518. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2015.711052>
- [14] Usoskin I.G., Solanki S.K., Kovaltsov G.A. (2007) [Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints](#). *Astronomy Astrophysics*. Vol. 471. N 1 (2007). P. 301-309.
- [15] Mushketov I.V., Orlov A.P. (1893) *Catalog of Earthquakes of the Russian Empire*. Zapiski RGO. Imperial Academy of Sciences St. Petersburg. Russian Empire.
- [16] Campbell G.E., Walker R.T., Abdrakhmatov K., Jackson J., Elliott J.R., Mackenzie D.,

Middleton T., and Schwenninger J.L. (2015). Great earthquakes in low strain rate continental interiors: An example from SE Kazakhstan. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. Vol. 120. Doi:10.1002/2015JB011925.

[17] Abdrakhmatov K.E., Strom A.L., Delvo D., Havenit H.V., Vittori E. (2013) Temporary clustering of strong earthquakes in the Northern Tien Shan. *Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*. N 1 (2013). P. 9-15 (in Russ.).

[18] Patyniak M., Landgraf A., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K.E., Rosenwinkel S., Korup O., Preusser F., Fohlmeister J., Arrowsmith J.R. and Strecker M.R. (2017) Paleoseismic Record of Three Holocene Earthquakes Rupturing the Issyk-Ata Fault near Bishkek, North Kyrgyzstan. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 107. N 6 (2017). P. 2721-2737. Doi: 10.1785/0120170083.

[19] Campbell G.E., Walker R.T., Abdrakhmatov K., Schwenninger J.L., Jackson J., Elliott J.R., Copley A. (2013) The Dzhungarian fault: Late Quaternary tectonics and slip rate of a major right-lateral strike-slip fault in the northern Tien Shan region. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. Vol. 118. N 10 (2013) P.1-18. Doi: 10.1002/jgrb.50367.

[20] Zhang S, Zhang B, Zhou M and Ouyang L (2023), Seismic velocity structure of the crust and uppermost mantle beneath the Tien Shan and its adjacent areas. *Front. Earth Sci.* 11:1215103. doi: 10.3389/feart.2023.1215103

[21] Lin, J.; Stein, R.S. Stress triggering in thrust and subduction earthquakes and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2004, *109*, B02303.

[22] Ellsworth, W.L.; Xu, Z.H. Determination of the stress tensor from focal mechanism data. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 1980, *61*, 1117.

[23] Gephart, J.W.; Forsyth, D.W. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 1984, *89*, 9305–9320.

[24] Lund, B.; Townend, J. Calculating horizontal stress orientations with full or partial knowledge of the tectonic stress tensor. *Geophys. J. Int.* 2007, *170*, 1328–1335.

[25] Michael, A.J. Use of focal mechanisms to determine stress: A control study. *J. Geophys. Res.* 1987, *92*, 357–368.

[26] Kasahara K. Earthquake mechanics. Cambridge University Press, 1981, (рус. пер. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.

[27] Riznichenko Yu.V. Problems of seismology. Selected works. M.: Science. 1985. 406 p. (in Russian)

[28] Yunga S.L. Methods and results of studying seismotectonic deformations. M.: Nauka, 1990, 191p. (in Russian)

[29] Poleshko N.N., Sadykova A.B., Sydykov A., Timush A.V. Khachikyan G.Ya., Shatsilov V.I. Variations in solar activity and seismotectonic deformations in the Northern Tien Shan: Part 1. Lode-Nadai coefficient // *Vestnik NNC RK*. 2009. Issue 1. pp. 86-92. (in Russian)

[30] Poleshko N.N., Sadykova A.B., Sydykov A., Timush A.V. Khachikyan G.Ya., Shatsilov V.I. Variations in solar activity and seismotectonic deformations in the Northern Tien Shan: Part 2. Azimuth of the compression stress axis // *Vestnik NNC RK*. 2009. Issue 1. pp. 93-97. (in Russian)

[31] Timush A.V., Sadykova A.B., Stepanenko N.P., Khachikyan G.Ya. The structure of the lithosphere as a factor of variations in seismotectonic deformations in the Northern Tien Shan due to solar activity // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, a series of geology and technical sciences*. 2013. No. 1. P. 55-66. (in Russian)

[32] Sadykova A.B., Sydykov A., Khachikyan G.Ya., Poleshko N.N. Seimotectonic deformation of the earth's crust of Kazakhstan. Almaty, 2020. 171 p. ISBN 978-601-04-4750-9. (in Russian)

[33] Shatsilov V.I., Gorbunov P.N. Timush A.V. New data on the tectonosphere of the Tien Shan // *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2000. No. 2. P.50-54. (in Russian)

[34] Shatsilov V.I., A.V. Timush, N.P. Stepanenko, T.M. Kaidash, and N.P. Belousova. Features of the structure of the lithosphere of the Tien Shan and adjacent territories // *Geodynamic, seismological and geophysical foundations of earthquake prediction and seismic risk assessment. Reports of the Kazakh-Russian conference on June 22-24, 2004 Almaty, 2005*. P.118-129. (in Russian)

THE DEADLY 06 FEBRUARY 2023 EARTHQUAKES: AN UNEXPECTED SURPRISE?

Abstract. The February 6th, 2023, M7.8 - 27 km E of Nurdağı and M7.5 - 4 km SSE of Ekinözü, Turkey earthquakes with more than 60,000 fatalities in Turkey and Syria share the 5-6th place in the List of the World's deadliest earthquakes since the year 2000. The observed ground shaking was much larger than the maximum PGA estimates with 10% probability of exceedance in 50 years at their sites of either the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP, 1999) or Global Earthquake Model (GEM, 2018) final hazard maps. On the other hand, the occurrence of devastating earthquakes was expected in the disjunctive D-node of the morphostructural zonation of Anatolia pattern recognized by Gelfand et al. in 1973 and within the only two out of 262 circles of investigation that spread over most of the global seismic belts where Time of Increased Probability starting from July 2021 was determined in the ongoing real-time Global Testing of the M8 algorithm aimed at magnitude range M8.0+ (confirmed in the next semi-annual updates, most recently in January 2023).

Аннотация. Землетрясения 6 февраля 2023 г., M7.8 - 27 км к востоку от Нурдаги и M7.5 - 4 км к юго-юго-востоку от Экинозю, Турция, с более чем 60 000 погибших в Турции и Сирии, делят 5-6 место в Списке самых смертоносных землетрясений мира с 2000 года. Наблюдаемые сотрясения грунта были намного больше, чем максимальные оценки PGA с вероятностью превышения 10% в 50 лет в местах землетрясений на любой из окончательных карт Глобальной программы оценки сейсмической опасности (GSHAP, 1999) или Глобальной Модели Землетрясений (GEM, 2018). С другой стороны, возникновение разрушительных землетрясений ожидалось в дизъюнктивном D-узле схемы морфоструктурного районирования Анатолии, распознанным Гельфандом и др. в 1973 г. и расположенном в пределах двух из 262 кругов исследования, охватывающих большую часть глобальных сейсмических поясов, где в продолжающемся Глобальном Тестировании алгоритма M8, нацеленного на магнитудный диапазон M8.0+, в режиме реального времени, начиная с июля 2021 г., было определено Время Повышенной Вероятности (подтверждено в последующих полугодичных обновлениях, последний раз в январе 2023 г.).

1 Introduction. The recent couple of 06 February 2023 earthquakes in Turkey reminded a common refrain that “Earthquakes don’t kill people, buildings do!” The first one of magnitude M_w 7.8 occurred at 01:17 UTC followed by the M_w 7.5 event at 10:24:48 UTC with epicentres located at 27 km E of Nurdağı and at 4 km SSE of Ekinözü (Turkey), respectively. This Kahramanmaras earthquake sequence [Dal Zilio and Ampuero, 2023] resulted in widespread damage in an area of about 350,000 km² and about sixty thousands of fatalities in Turkey and Syria; both earthquakes share tied the 5-6th deadliest quake since 2000. Different agencies reported the extreme macroseismic intensity up to XII (in MMI scale) around the first major shock epicentre and in Antakya, as well the maximum peak ground acceleration (PGA) of 2.2 g recorded at Pazarçık Belediyesi Parkı and some higher magnitude determinations of the two major earthquakes, e.g. GEOSCOPE estimated M_w 8.0 and 7.7 and Geological Survey of Russian Academy of Science provided M_s 8.0 and 7.8, respectively, with $I_0 =$ XI-XII in MMI scale for both shocks.

After the deadly 2010 Haiti earthquake, a systematic comparison of the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) final map of the maximum PGA estimates with 10% probability of exceedance in 50 years (10% poe in 50 years) at the sites of actual earthquakes disclosed gross inadequacy of this “probabilistic” product [Kossobokov, 2010]; for 50% of 1320

strong ($M \geq 6.0$) earthquakes, the PGA values on the GSHAP PGA map were surpassed by 0.17 g or more within 10 years of publication in [Giardini, 1999], which fact evidently contradicts the predicted 10% poe in 50 years. After the 2011 mega-earthquake off the Pacific coast of Tōhoku (Japan) a comprehensive analysis have shown that inadequacy of their final map could have been discovered by the participants of GSHAP based on the earthquake statistics for the period of 1990–1999 [Kossobokov and Nekrasova, 2011; 2012]. A decade ago Wyss et al. [2012] have shown “that earthquake mitigation measures in areas wherelarge earthquakes are possible may not be based on GSHAP maps” and urged “that theinternational project Global Earthquake Model (<http://www.globalquakemodel.org/>) is on the wrong track, if it continues to base seismic risk estimates on the standard method to assess seismic hazard”. Apparently, the contributors to GEM keep misleading interested parties by providing erroneous seismic hazard maps [Pagani et al., 2018]. It should be noted, however, that, as a matter of fact, the GEM’s Disclaimer does characterize the Model as absolutely useless:

“The information included in this map must not be used for the design of earthquake-resistant structures or to support any important decision involving human life, capital and movable and immovable properties.”

On the contrary, the achieved statistics of testing the term-less predictions (for decades) of the “dangerous” D-nodes and/or D-intersections of the regional schemes of morphostructures [Gorshkov and Novikova, 2018], as well as the intermediate-term middle-range diagnoses of the Times of Increased Probability (for years and a few sources of target earthquakes) for the occurrence of the largest earthquakes worldwide [Ismail-Zadeh and Kossobokov, 2021; Kossobokov and Soloviev, 2021] confirm the evident reliability and usefulness of the pattern recognition approach in step-by-step resolving the issues of operational earthquake forecasting [Kossobokov et al., 2015].

We analyse the contribution of the 06 February 2023 Kahramanmaras earthquake sequence to a comparison of probabilistic and deterministic approaches aimed at Reliable Seismic Hazard Assessment [Panza and Bela, 2020].

2 Results

2.1 Unexpected Surprise. Table 1 lists all the eighteen of the World’s deadliest earthquakes since the year 2000. The last three columns show up the differences between the macroseismic intensity at epicenter of the observed earthquake ($I_{0\ EVENT}$) and that predicted by the GSHAP and GEM Maps ($I_{0\ GSHAP}$ and $I_{0\ GEM}$) followed by the ratio R_{PGA} between the predicted maximum PGA values with 10% poe in 50 years on the GEM versus GSHAP maps.

The macroseismic intensity differences, sampled by deadliest earthquakes, are all but one positive with their average and median of 2 units on MMI scale. Note that an underestimation of 2 or more units of MMI corresponds, at best, to a transition from *STRONG* (VI MMI) – *light damage to poorly constructed buildings, cracks and a few instances of fallen plaster occur*– to *SEVERE* (VIII MMI)– *moderate or heavy damage to ordinary substantial buildings with partial collapse, large cracks in the walls, falling cornices and chimneys*.

The values of R_{PGA} (in the last column of Table 1) indicate an apparent upgrade of the GEM Seismic Hazard map in respect to the one of GSHAP; the 18 sampled values with the average of 1.8 and median of 1.6 disclose a tendency to increase maximum PGA values with 10% poe in 50 years at the sites of the occurred (in our case, deadliest) earthquakes. Interestingly, in comparison to GSHAP the seismic hazard at sites of the 2003 Bam and 2002 Hindu Kush earthquakes is downgraded by 14% and 26%, respectively, while is about the same at locations of the 2015 Nepal and 2023 Kahramanmaras earthquakes.

Table 1. Top deadliest earthquakes since 2000. Notes: at least 1,000+ fatalities including victims of tsunami and other associated effects. The ratio $R_{PGA} = mPGA_{GEM}/mPGA_{GSHAP}$ (* from GEM interactive map); increments $\Delta I_0 = I_{0\ EVENT} - I_{0\ GSHAP}$ and $\Delta I_0' = I_{0\ EVENT} - I_{0\ GEM}$ are computed as in (Kossobokov and Nekrasova, 2012) rounded to the closest integer.

Region	Date	M	Fatalities	ΔI_0	$\Delta I_0'$	R_{PGA}
Sumatra-Andaman Islands	26 Dec 2004	9.0	227,898	4	4	1.20*
Port-au-Prince (Haiti)	12 Jan 2010	7.3	222,570	2	1	3.10
Wenchuan (Sichuan, China)	12 May 2008	8.1	87,587	3	3	1.60
Kashmir (northern border India-Pakistan region)	8 Oct 2005	7.7	87,351	2	2	2.06
Nurdağı (Turkey)	6 Feb 2023	7.8(8.0)	59,359+	1(2)	2	1.08
Ekinözü (Turkey)		7.5(7.7)		1(2)	2	1.11
Bam (Iran)	26 Dec 2003	6.6	26,271	0	1	0.86
Bhuj (Gujarat, India)	26 Jan 2001	8.0	20,085	3	2	2.30
Off the Pacific coast of Tōhoku (Japan)	11 Mar 2011	9.0	19,759+	3	3	1.22*
Bharatpur (Nepal)	25 Apr 2015	7.8	8,964	2	2	1.01
Yogyakarta (Java, Indonesia)	26 May 2006	6.3	5,782	0	0	1.57
Sulawesi Island (Indonesia)	28 Sep 2018	7.5	4,340	2	2	1.62
Southern Qinghai (China)	13 Apr 2010	7.0	2,968	2	1	1.68
Boumerdes (Algeria)	21 May 2003	6.8	2,266	2	0	3.75
Nippes (Haiti)	14 Aug 2021	7.2	2,248	2	1	3.39
Nias Island (Indonesia)	28 Mar 2005	8.6	1,313	3	3	2.22
Padang (Southern Sumatra, Indonesia)	30 Sep 2009	7.5	1,117	1	1	1.38
Hindu Kush (Afghanistan)	25 Mar 2002	6.1	1,000+	-1	-1	0.74

It deserves mentioning that GEM’s map appears to ignore ground shaking resulted by many earthquakes with epicenters off shore, including the 26 December 2004 Indian Ocean Disaster and the 11 March 2011 Great Tōhoku earthquake and tsunami; as a matter of fact, only six out of 24 magnitude 8 or larger earthquakes since the year 2000 have GEM’s determination of PGA nearby their epicenters.

2.2 Not a surprise expected in long-term of decades

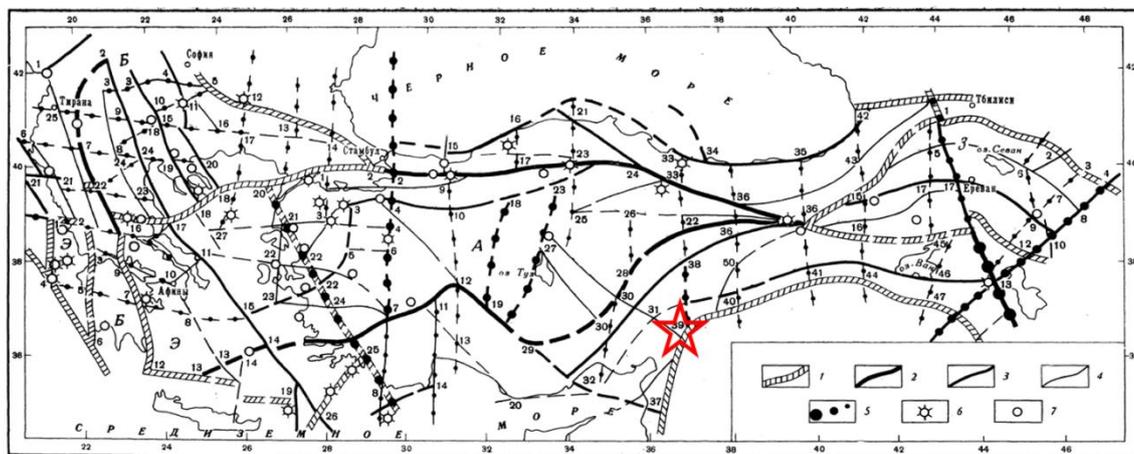


Рис. 1. Морфоструктурная схема Юго-Восточной Европы и Малой Азии. 1–5 — морфоструктурные границы (1–4 — продольные, 5 — поперечные к простиранию основных форм рельефа): 1 — регионов; 2 — морфоструктурных стран; 3 — областей; 4 — районов. 6–7 — эпицентры сильных землетрясений с магнитудой $6,5 \leq M \leq 6,9$ (7), $M \geq 7$ (6); цифры — номера дизъюнктивных узлов

Figure 1. Morphostructural scheme after [Gelfand et al., 1973] and the epicenter of the 06 February 2023 major main shock (star).

In fact, the epicenters of the 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence confirm the pattern-recognition determination of the strong earthquake-prone areas by Gelfand et al. (1973; 1974): epicenters of both major earthquakes fall inside a narrow vicinity of the “dangerous” D-intersections of morphostructural D-node A39 recognized in 1973 as prone to disastrous earthquakes (Figure 1).

It is notable that D-node A39 where the catastrophic earthquakes occurred on February 6, 2023 was characterized by 10 out of 11 class D (“dangerous”) features in the absence of those of

class N (“not dangerous”) transferred from Central Asia to Anatolia and adjacent regions [Gelfand et al., 1973]. In Anatolia, features of D-nodes are formed mainly from indicators of tectonic fragmentation of the Earth's crust: the length of the main lineament, the complexity of the node, the proximity of lineaments of the first rank, and the closeness of lineaments.

2.2 Not a surprise expected in intermediate-term of years

The 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence confirms as well the alert for a magnitude M8.0+ in July 2021 – June 2026 diagnosed in the on-going real time Global Testing of the M8 algorithm carried on in 242 Circles of Investigation worldwide (Healy et al., 1992; Ismail-Zadeh and Kossobokov, 2020; Kossobokov and Soloviev, 2021) – the epicentres of both major earthquakes fall inside the two out of the only seven Circles of Investigation alerted for a magnitude 8 earthquake in January 2023 (Figure 2).

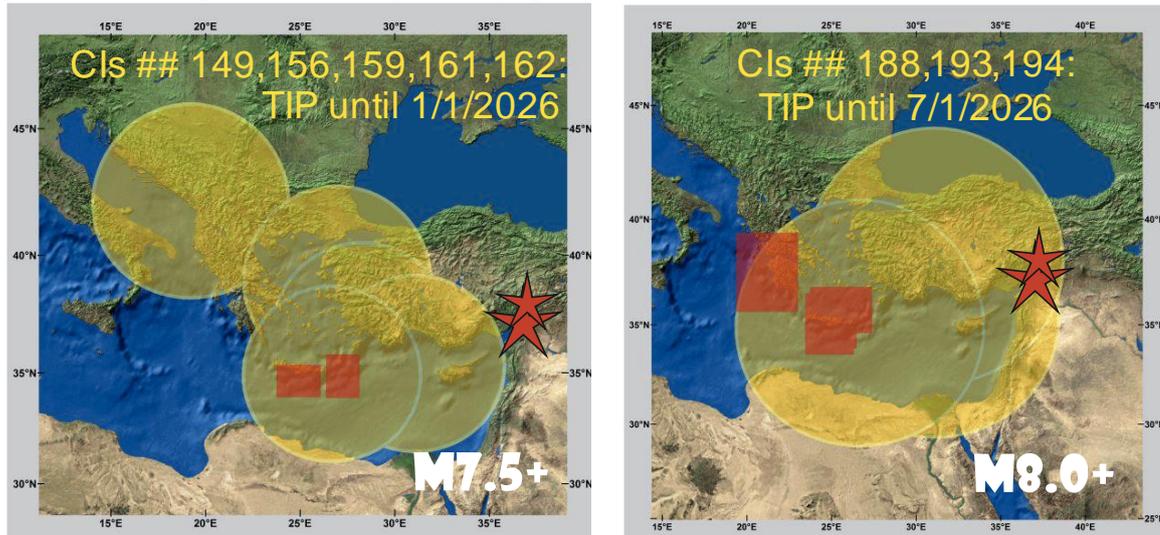


Figure 2. Global Testing the M8-MSc predictions: Time of Increased Probability (TIP) diagnostics in Circles of Investigation (CIs) according to M8 algorithm for January–June 2023 and epicenters of the two major shocks of the 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence (stars). Notes: (1) Forecasts refer exclusively to seismically active areas within 180 and 262 CI’s with a radius of 427 and 667 km, focused on global monitoring of the occurrence of the M7.5+ and M8.0+ events, respectively. (2) Both earthquakes occurred outside the territory of the 180 CI’s for monitoring in the M7.5+ range (left) and within the cluster of three out of 262 CI’s alerted for TIP of M8.0+ earthquake (right). (3) Apparently erroneous refinement of the M8 algorithm prediction by applying the MSc algorithm [Kossobokov et al., 1990] is marked by red polygons.

3 Conclusion. Evidently, a comprehensive analysis similar to [Kossobokov and Nekrasova, 2012; Wyss et al., 2012] is needed to confirm that, same as GSHAP, the GEM *po*e product’s “inconsistency is inadmissible for any type of responsible evaluation of seismic risk and making decisions concerning earthquake disaster prevention”. An indirect confirmation of this claim is the GEM’s Disclaimer cited in Introduction.

It deserves noting that the “standard method” of Probabilistic Seismic Hazard Analysis of GSHAP and GEM is challenged by methodology of Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment [Panza et al., 2021]. This new multi-disciplinary scenario- and physics-based approach for evaluation of seismic hazard is gaining momentum in spreading worldwide an innovative paradigm of Reliable Seismic Hazard Assessment [Panza and Bela, 2020]. Evidently, the NDSHA applications in many regions worldwide presented in [Panza et al., 2021] outscore the widespread PSHA by taking advantage of a synergy between Pattern Recognition of Earthquake Prone Areas (PREPA), Intermediate-Term Earthquake Prediction (ITEP) of different spatial accuracy, Unified Scaling Law for Earthquakes (USLE) that accounts for fractal distribution of seismic occurrence, Geodetic Data Analysis (GDA), Scenario-based Seismic Hazard Analysis (SSHA), and other available determinations. The synergy of

PREPA×ITEP×USLE×GDA×SSHA applies to a wide spectrum of geophysical observables and allows delivering user-specific NDSHA products, which are tested to be reliable, realistic, and useful evaluation and mapping of apparently time-dependent seismic hazard and associated risks. In summary, as noted above, the epicentres of the 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence confirms the PREPA determination of the strong earthquake-prone areas by Gelfand et al. [1973; 1974] and also the ITEP alert for a magnitude M8.0+ in July 2021 – June 2026 diagnosed in the on-going real time Global Testing of M8 algorithm carried on since 1992 [Healy et al., 1992; Ismail-Zadeh and Kossobokov, 2020; Kossobokov and Soloviev, 2021]: in particular, the epicentres of both major earthquakes fall inside (i) narrow vicinity of the “dangerous” D-intersections of morphostructural node A39 recognized in 1973 as prone to disastrous earthquakes and (ii) the two out of the only seven Circles of Investigation alerted for an expected magnitude 8 earthquake (as of January 2023).

Acknowledgments. We thank the GEM Foundation for providing Global SEISMIC HAZARD MAP version 2019.1 for a comparison with GSHAP 1999 final map. The study is carried on in the framework of the Russian State Task of Scientific Research Works of IEPT RAS (0143-2019-0006).

References

1. Dal Zilio L, Ampuero JP (2023) Earthquake doublet in Turkey and Syria. *Commun Earth Environ* 4, 71. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00747-z>
2. Gelfand IM, Guberman ShA, Zhidkov MP, Kaletskaya MS, Keilis-Borok VI, Ranzman EIa (1973) Experience in transferring high seismicity criteria from Central Asia to Anatolia and adjacent regions. *Doklady AN SSSR* 210(2): 327–330 (in Russian). <https://www.mathnet.ru/rus/dan/v210/i2/p327>
3. Gelfand IM, Guberman ShA, Zhidkov MP, Keilis-Borok VI, Ranzman EIa, Rotwain IM (1974) Recognition of places where strong earthquakes may occur. III. The case when the boundaries of disjunctive knots are unknown. *Computational Seismology* 7: 41-64. Moscow, Nauka (in Russian)
4. Giardini D (1999) The global seismic hazard assessment program (GSHAP) – 1992/1999. *Ann Geophys* 42(6): 957–974. <https://doi.org/10.4401/ag-3780>
5. Gorshkov A, Novikova O (2018) Estimating the validity of the recognition results of earthquake prone areas using the ArcMap. *Acta Geophysica* 66(5): 843–853. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0177>
6. Healy JH, Kossobokov VG, Dewey JW (1992) A test to evaluate the earthquake prediction algorithm, M8. USGS Open-File Report 92-401, 23 p. with 6 Appendices. <https://doi.org/10.3133/ofr92401>
7. Ismail-Zadeh A, Kossobokov V (2020) Earthquake Prediction, M8 Algorithm. In: Gupta H (Ed) *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham, p.1893-1896. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10475-7_157-1
8. Kossobokov VG (2010) Scaling laws and earthquake predictability in assessment of seismic risk. Lecture presented at the Advanced Conference on Seismic Risk Mitigation and Sustainable Development (ICTP, Miramare, Trieste - Italy, 10-14 May 2010). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32855.09121>
9. Kossobokov VG, Keilis-Borok VI., Smith SW (1990) Localization of intermediate term earthquake prediction. *J. Geophys. Res.* 95 (B12): 19763-19772. <https://doi.org/10.1029/JB095IB12P19763>
10. Kossobokov V, Nekrasova A (2011) Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) Maps Are Misleading. *Problems of Engineering Seismology* 38 (1): 65-76 (in Russian)
11. Kossobokov VG, Nekrasova AK (2012) Global Seismic Hazard Assessment Program Maps are Erroneous. *Seismic Instr.* 48 (2): 162-170. <https://doi.org/10.3103/S0747923912020065>
12. Kossobokov V, Peresan A, Panza GF (2015) On operational earthquake forecast and prediction problems. *Seismol. Research Letters* 86(2):287-290. <https://doi.org/10.1785/0220140202>
13. Kossobokov VG, Soloviev AA (2021) Testing Earthquake Prediction Algorithms. *Journal of the Geological Society of India* 97:1514-1519. <https://doi.org/10.1007/s12594-021-1907-8>
14. Pagani M, Garcia-Pelaez J, Gee R, Johnson K, Poggi V, Styron R, Weatherill G, Simionato M, Viganò D, Danciu L, Monelli D (2018). Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard

Map (version 2018.1 - December 2018), <https://doi.org/10.13117/GEM-GLOBAL-SEISMIC-HAZARD-MAP-2018.1>

15. Panza GF, Bela J (2020) NDSHA: A new paradigm for reliable seismic hazard assessment. *Engineering Geology* 275,105403. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105403>

16. Panza G, Kossobokov V, De Vivo B, Laor E (Eds) (2021) *Earthquakes and Sustainable Infrastructure: neo-deterministic (NDSHA) approach guarantees prevention rather than cure*. Elsevier. Paperback ISBN: 9780128235034, eBook ISBN: 9780128235416, xxv, 672 p. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-00052-6>

17. Wyss M, Nekrasova A, Kossobokov V (2012) Errors in expected human losses due to incorrect seismic hazard estimates. *Natural Hazards* 62(3): 927-935. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0125-5>

Victor Novikov

Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia novikov@ihed.ras.ru

POSSIBLE INTERRELATION OF SPACE WEATHER AND SEISMIC ACTIVITY: AN IMPLICATION FOR SHORT-TERM EARTHQUAKE PREDICTION

Summary. An approach to short-term earthquake prediction based on electromagnetic triggering effects due to variations in space weather parameters as a result of strong solar flares is presented. It is shown that a solar flare can cause a burst of telluric currents in seismogenic faults comparable in density to electric currents in the Earth's crust generated by an artificial source and resulted in a spatiotemporal redistribution of regional seismicity. As a verification of the proposed approach, the cases of the occurrence of two Christchurch earthquakes of $M > 6$ in New Zealand on the Port Hills fault, which is most sensitive to external electromagnetic impact, with a delay of 5-6 days after strong solar flares of class X and M is considered.

Despite the rather large number of publications presented the study of a possible influence of solar activity on the seismic processes [Wolf, 1853; Simpson, 1967; Gribbin, 1971; Meeus, 1976; Florindo and Alfonsi 1995; Florindo et al., 1996; Sobolev et al., 1998; Sobolev et al., 2001; Zakrzhevskaya and Sobolev, 2002; Duma and Ruzhin, 2003; Odintsov et al., 2006; Rabeh et al., 2010; Tavarez and Azevedo, 2011; Shestopalov and Kharin, 2014; Urata et al., 2018; Sorokin et al., 2019; Marchitelli et al., 2020; Novikov et al., 2020; Sobolev, 2021; Tarasov, 2021; Anagnostopoulos, 2021; and references therein], no final conclusion has been made yet on the possibility of earthquake triggering by solar flares or geomagnetic storms. At the same time, some authors generally deny the existence of such a connection between the processes in the Sun and in the lithosphere, resulted in occurrence of earthquakes [Love, Thomas, 2013; Akhoondzadeh, De Santis, 2022].

It should be noted that all the studies mentioned above employed only a statistical analysis of geophysical and seismological data in which the hypothesis of the presence or absence of a possible correlation (positive or negative) between solar activity and Earth's seismicity was tested. The physical mechanisms of solar-terrestrial relations resulted in the triggering of earthquakes were not considered in detail, and their possible existence was only phenomenologically indicated when a statistically significant relationship was found between external influences and the response of the Earth's seismicity to them. Such a simplified approach to the study of the solar-terrestrial relationships can provide false results and incorrect conclusions.

In [Sorokin et al, 2023; Novikov et al. 2023] the authors considered a possible physical mechanism of earthquake triggering by electromagnetic impact on the area of earthquake preparation due to X-ray emission of solar flares proposed in [Sorokin et al., 2019]. This hypothesis is based on the results of field observations and laboratory experiments on the study of a new phenomenon in seismology - electromagnetic triggering of earthquakes, as a result of the interaction of electromagnetic and electric fields with rocks and faults in the Earth's crust in a

subcritical stress-strain state [Zeigarnik et al., 2022]. For numerical estimates of telluric currents generated in the Earth's crust by X-rays from solar flares, a mathematical model and a computer code have been developed that provide a possibility of numerical simulation of the electromagnetic impact of various space weather phenomena on the lithosphere [Sorokin et al., 2023; Novikov et al. 2023].

The results of numerical studies obtained using the developed physical and mathematical models and computer code indicate that after the X-class solar flare, the density of telluric currents in the conductive layer of the lithosphere can rise to $10^{-8} - 10^{-6} \text{ A/m}^2$, the current pulse duration is about 100 s, and the duration of the current rise front is ~ 10 s. These values are 2 - 3 orders of magnitude higher than the average density of telluric currents in the lithosphere [Lanzerotti, Gregori, 1986] and are comparable with the parameters of electric current pulses generated in the lithosphere ($10^{-7} - 10^{-8} \text{ A/m}^2$) by artificial pulsed sources of electrical energy [Zeigarnik et al., 2022]. It should be noted that the injection of electrical impulses into the earth's crust in seismically active regions led to the electromagnetic initiation of weak earthquakes and the regional redistribution of seismicity in the Pamirs and Northern Tien Shan. This means that solar flares providing an energy flux density above 0.005 J/m^2 are also capable of initiating earthquakes in seismically hazardous regions, as was assumed in [Han et al., 2004; Sorokin et al., 2019; Novikov et al., 2020]. This conclusion is confirmed by cases of observation of magnetic pulses before an earthquake [Scoville et al., 2015; Guglielmi and Zotov, 2012] similarly to the obtained numerical estimates of magnetic pulses generated by solar flare X-rays and telluric current pulses in the conductive layer of the lithosphere), as well as the case of a sharp increase in global and regional seismicity (Greece) after a solar flare of class X9.3 that occurred September 6, 2017 [Novikov et al., 2020]. This effect can be used as the basis for a short-term earthquake prediction using confidently recorded strong external electromagnetic triggering effects on the earthquake preparation zone.

A concept of earthquake predictability based on triggering phenomena was formulated in [Sobolev, 2011]. Based on observations of the behavior of seismicity before strong earthquakes, as well as laboratory studies of the response of acoustic emission (fracturing) from rock samples in a subcritical stress-strain state under external triggering impacts. The following algorithm for short-term earthquake prediction based on triggering phenomena was proposed: (a) determining the volume of an unstable zone (a system of unstable zones of various scales); (b) monitoring the triggering effects and assessing their impact on unstable areas; (c) estimating the probability of place, time, and magnitude of impending earthquakes.

The first step (a) of this approach to earthquake prediction can be performed on the basis of various methods for selecting regions with an upcoming earthquake [e.g., Sobolev, 2011; Dzeboev et al., 2021; Gorshkov et al., 2003; Gorshkov et al., 2003; Gorshkov and Soloviev, 2021; Ruzhich and Levina, 2022]. For the case of electromagnetic impact on the earthquake preparation zone in these regions, it is necessary to select additionally the faults of the Earth's crust where the generation of maximum telluric currents may be expected, taking into account their orientation and electrical conductivity. Obviously, the maximum telluric currents in the fault will be generated when the current density vector is parallel to the fault direction, rather than perpendicular to it.

The numerical results show that the maximum values of the current density should be observed in the southern hemisphere, while the subsolar point locates in the northern hemisphere. Thus, the response of seismic activity to a strong solar flare may be expected with a higher probability in the southern hemisphere. The current density vectors in the northern hemisphere at low and middle latitudes are oriented mainly in the latitudinal direction, and in high latitudes in the meridional direction. In the southern hemisphere they are oriented, as a rule, in the meridional direction. This is important when choosing regions and faults where the response of seismic activity to solar flares will be statistically analyzed. In this case, the sampling the earthquakes from seismic catalogs should be made only for faults, where the expected triggering effect from electromagnetic impact will be maximum. To increase the

reliability of such a statistical analysis, taking into account the above numerical results, only such seismic-prone regions should be selected where the orientation of the crust faults coincides with the direction of the current density vector. Otherwise, the density of the telluric current generated in the fault may be insufficient for electromagnetic triggering of earthquake, resulting in false statistical results and conclusions about the solar-terrestrial relationships when the behavior of seismicity is analyzed for the entire region with the faults of various orientations.

Another important aspect in selecting crustal faults that are sensitive to strong variations in space weather parameters is their electrical resistivity, which is usually determined by magnetotelluric (MT) sounding [e.g., Ledo et al., 2002; Wu et al., 2002]. MT sounding results have shown that the San Andreas Fault (California, USA) [Unsworth et al., 1997] and other major faults such as the Alpine Fault in New Zealand [Ingham and Brown, 1998] and the Fraser River Fault in British Columbia, Canada [Jones et al., 1992] have conductive zones with the resistivity of 0.8 to 50 Ohm·m. At the same time, some large faults demonstrate the presence of both conductive and resistive zones. For example, MT sounding of the Tintina fault in the Northern Cordillera [Ledo et al., 2002] showed that the fault represents a resistive zone (>400 Ohm·m) of 20 km wide at a depth over 5 km. The Denali Fault in Alaska also has a relatively resistive structure in the upper crust [Stanley et al., 1990], and the San Andreas Fault in the Carrizo Plain region has a resistive zone in the mid-deep crust [Mackie et al., 1997]. The resistivity of these faults varies in the range of ~250 to 10000 Ohm·m, and, therefore, the generation of a telluric current splash due to strong variations in the space weather parameters to trigger an earthquake is unlikely or impossible.

Thus, based on the obtained numerical estimates, in our opinion, a correct statistical correlation analysis of solar-terrestrial relationships should be performed as follows:

a) determination of an unstable area (a section of a fault in the earth's crust) where strong earthquakes are expected based on existing methods for selecting seismically hazardous regions [e.g., Sobolev, 2011; Gorshkov et al., 2003; Dzeboev et al., 2021; Gorshkov and Soloviev, 2021; Ruzhich and Levina, 2022];

b) selection of crustal faults in the regions identified in step (a) that are most sensitive to electromagnetic effects in terms of their orientation close to the direction of the current density vector, as well as their electrical conductivity;

c) sampling from regional seismic catalogs of those earthquakes that occurred on the faults selected in step (b);

d) correlation analysis of the time of occurrence of an earthquake and variations in space weather parameters to determine the delay time of earthquake triggering and threshold values of space weather parameters that cause a triggering effect.

Verification of this approach was carried out for the southern hemisphere region of New Zealand for a solar flare of X2.2 class that occurred on February 15, 2011 and caused a geomagnetic storm with geomagnetic activity index $K_p=5$ on February 18, 2011. According to the numerical estimations [Sorokin et al., 2023; Novikov et al., 2023], as well as the results of a study of regional geomagnetically induced currents, the current density vector in this region has a southwestern direction and is about 10^{-7} A/m² similar to generated artificial current in the crust resulted in earthquake triggering at the Northern Tien Shan [Zeigarnik et al., 2022]). In this case, the current density vector coincides with the strike direction of the Port Hills fault, which provides the maximum value of telluric currents in the fault that may have a triggering potential. An earthquake with magnitude $M_w=6.2$ occurred on this fault 20.02.2011 with a delay of 5 days after the strong solar flare, similar to the response of seismicity to artificial electromagnetic impacts [Zeigarnik et al., 2022]. Moreover, after the first shock, on the same fault on June 13, 2011, a repeated earthquake with $M_w=6.0$ occurred after a strong solar flare on June 7, 2011 of M2.54 class with approximately the same delay (6 days).

Thus, the proposed method, in our opinion, has some prospects in the complex approach to the short-term prediction, including observation of possible earthquake precursors, and, of course, it should be additionally verified for a possible seismic response of other regions to the

strong solar flares. It should be noted that the method is not universal and may be applied only to the regions seismically sensitive to electromagnetic impacts on the earthquake preparation zones.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment of Joint Institute for High Temperatures of RAS No. 075-01129-23-00).

Литература

Akhoondzadeh M., De Santis A., 2022. Is the Apparent Correlation between Solar-Geomagnetic Activity and Occurrence of Powerful Earthquakes a Casual Artifact? *Atmosphere* 13, 1131. <https://doi.org/10.3390/atmos13071131>.

Anagnostopoulos G., Spyroglou I., Rigas A. et al., 2021. The sun as a significant agent provoking earthquakes. *The European Physical Journal Special Topics* 230, 287–333. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000266-2>.

Duma G., Ruzhin Y., 2003. Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3, 171–177, <https://doi.org/10.5194/nhess-3-171-2003>.

Dzeboev B.A., Gvishiani A.D., Agayan S.M., Belov I.O., Karapetyan J.K., Dzeranov B.V., Barykina Y.V., 2021. System-Analytical Method of Earthquake-Prone Areas Recognition. *Applied Sciences* 11, 7972. <https://doi.org/10.3390/app11177972>.

Florindo F., Alfonsi L., 1995. Strong earthquakes and geomagnetic jerks: a cause/effect relationship? *Annali di Geofisica* 38, 457-461. <https://doi.org/10.4401/ag-4107>.

Florindo F., Alfonsi L., Piersanti A., Spada G., Marzocchi W., 1996. Geomagnetic jerks and seismic activity. *Annals of Geophysics* 319, 1227-1233. <https://doi.org/10.4401/ag-4049>.

Gorshkov A., Kossobokov V., Soloviev A. 2003. Recognition of Earthquake-Prone Areas. In: V.I. Keilis-Borok, A.A. Soloviev (Eds), *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*. Springer Series in Synergetics. Springer, Berlin, Heidelberg. p.239-311. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05298-3_6.

Gorshkov A.I., Soloviev A.A., 2021. Recognition of earthquake-prone areas in the Altai-Sayan-Baikal region based on the morphostructural zoning. *Russian Journal of Earth Sciences* 21, ES1005. <https://doi.org/10.2205/2020ES000751>.

Gribbin J., 1971. Relation of sunspot and earthquake activity, *Science* 173, 558. <https://doi.org/10.1126/science.173.3996.55>.

Guglielmi A.V., Zotov O.D. Magnetic perturbations before the strong earthquakes. *Izv. Phys. Solid Earth*. 2012. 48, 2, 171-173.

Han Y., Guo Z., Wu J., Ma L., 2004. Possible triggering of solar activity to big earthquakes ($M_s \geq 8$) in faults with near west-east strike in China. *Science in China Series G: Physics and Astronomy* 47, 173–181. <https://doi.org/10.1360/03yw0103>.

Ingham M., Brown C., 1998. A magnetotelluric study of the Alpine Fault, New Zealand. *Geophysical Journal International* 2, 542–552. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.00659.x>.

Jones A.G., Kurtz R.D., Boerner D.E., Craven J.A., McNeice G.W., Gough D.I., DeLaurier J.M., Ellis R.G., 1992. Electromagnetic constraints on strike-slip fault geometry - The Fraser River fault system. *Geology* 20, 561–564. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0561:ECOSSF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0561:ECOSSF>2.3.CO;2).

Lanzerotti L.J., Gregori G.P., 1986. Telluric currents: The natural environment and interaction with man-made systems. In: *The Earth's Electrical Environment*. The National Academic Press, Washington, D.C. p. 232-257.

Ledo J., Jones A.G., Ferguson I.J., 2002. Electromagnetic images of a strike-slip fault: The Tintina fault-Northern Canadian. *Geophysical Research Letters* 29, 1225. <https://doi.org/10.1029/2001GL013408>.

Love J.J., Thomas J.N., 2013. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes. *Geophysical Research Letters* 40, 1165–1170. <https://doi.org/10.1002/grl.50211>.

Mackie R.L., Livelybrooks D.W., Madden T.R., Larsen J.C., 1997. A magnetotelluric investigation of the San Andreas Fault at Carrizo Plain, California. *Geophysical Research Letters* 24, 1847-1850. <https://doi.org/10.1029/97GL01604>.

Marchitelli V., Harabaglia P., Troise C., De Natale G., 2020. On the Correlation between Solar Activity and Large Earthquakes Worldwide. *Scientific Reports Article No. 11495*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67860-3>.

Meeus J., 1976. Sunspots and earthquakes. *Physics Today* 29, 6, 11. <https://doi.org/10.1063/1.3023508>.

- Novikov V., Ruzhin Yu., Sorokin V., Yaschenko A., 2020. Space weather and earthquakes: possible triggering of seismic activity by strong solar flares. *Annals of Geophysics* 63(5), PA554. <https://doi.org/10.4401/ag-7975>.
- Novikov V.A., Sorokin V.M., Yaschenko A.K., Mushkarev G.Yu. Physical model and numerical estimated of telluric currents generated by X-ray radiation of a solar flare. *Dynamic Processes in Geospheres*. 2023;15(1):23-44. (In Russian) https://doi.org/10.26006/29490995_2023_15_1_23.
- Odintsov S.; Boyarchuk K.; Georgieva K.; Kirov B.; Atanasov D., 2006. Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.03.004>.
- Rabeh T., Miranda M., Hvozdar M., 2010. Strong earthquakes associated with high amplitude daily geomagnetic variations. *Natural Hazards* 53, 561–574. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9449-1>.
- Ruzhych V., Levina E. On the development of a seismological approach to the medium-term forecast of earthquakes in the Baykal rift zone. *Dynamic Processes in Geospheres*. 2022; 14(1):17-28. (In Russian) https://doi.org/10.26006/22228535_2022_14_1_17.
- Scoville J., Heraud J., Freund F., 2015. Pre-earthquake magnetic pulses. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15, 1873–1880. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1873-2015>.
- Shestopalov I.P., Kharin E. P., 2014. Relationship between solar activity and global seismicity and neutrons of terrestrial origin. *Russian Journal of Earth Sciences* 14, ES1002. https://doi.org/10.2205/2014E S0005_36.
- Simpson J.F., 1967. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes, *Earth and Planetary Science Letters* 3, 417-425. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(67\)90071-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(67)90071-4).
- Sobolev, G.A. The effect of strong magnetic storms on the occurrence of large earthquakes. *Izv. Phys. Solid Earth*. 2021, 57, 1, 20-36. <https://doi.org/10.1134/S1069351321010080>
- Sobolev, G.A.; Zakrzhevskaya, N.A.; Kharin, E.P. On the relation between seismicity and magnetic storms. *Izv. Phys. Solid Earth*. 2001, 37, 11, 917-927.
- Sobolev G.A., Shestopalov I.P., Kharin E.P. Geoeffective solar flares and seismic activity of the Earth. *Izv. Phys. Solid Earth*. 1998, 7, 85-90 (In Russian).
- Sobolev, G.A., 2011. Seismicity dynamics and earthquake predictability. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 445–458. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-445-2011>.
- Sorokin V.M., Yashchenko A.K., Novikov V.A., 2019. A possible mechanism of stimulation of seismic activity by ionizing radiation of solar flares. *Earthquake Sciences* 32(1) 26-34. <https://doi.org/10.29382/eqs-2019-0026-3>.
- Sorokin, V.; Yaschenko, A.; Mushkarev, G.; Novikov, V. Telluric Currents Generated by Solar Flare Radiation: Physical Model and Numerical Estimations. *Atmosphere* 2023, 14, 458. <https://doi.org/10.3390/atmos14030458>.
- Stanley W.D., Labson V.F., Nokleberg W.J., Csejtey B., Fisher M.A., 1990. The Denali fault system and Alaska Range of Alaska: Evidence for underplated Mesozoic flysch from magnetotelluric surveys. *Bulletin of Geological Society of America* 102, 160-173. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1990\)102<0160:TDFSAA>2.3.CO2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1990)102<0160:TDFSAA>2.3.CO2).
- Tarasov N.T., 2021. Effect of Solar Activity on Electromagnetic Fields and Seismicity of the Earth. *IOP Conferences Series: Earth and Environment Sciences* 929, Article ID: 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/929/1/012019>.
- Tavares M., Azevedo A., 2011. Influence of solar cycles on earthquakes. *Natural Science* 3(6), 436-443. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2011.36060>.
- Unsworth M.J., Malin P.E., Egbert G.D., Booker J.R., 1997. Internal Structure of the San Andreas Fault Zone at Parkfield, California. *Geology* 25, 359-362. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0359:ISOTSA>2.3.CO2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0359:ISOTSA>2.3.CO2).
- Urata N., Duma G., Freund F., 2018. Geomagnetic Kp Index and Earthquakes. *Open Journal of Earthquake Research* 7, 39-52. <https://doi.org/10.4236/ojer.2018.71003>.
- Wolf R., 1853. On the periodic return of the minimum of sun-spots: The agreement between those periods and the variations of magnetic declination. *Philosophical Magazine* 5, 67.
- Wu X., Ferguson I.J., Jones A.G., 2002. Magnetotelluric response and geoelectric structure of the Great Slave Lake shear zone. *Earth and Planetary Science Letters* 196, 35-50. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00594-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00594-5).
- Zakrzhevskaya, N.A.; Sobolev, G.A. On the seismicity effect of magnetic storms. *Izv. Phys. Solid Earth*. 2002, 38, 4, 249-261.

Zeigarnik, V.A.; Bogomolov, L.M.; Novikov, V.A. Electromagnetic Earthquake Triggering: Field Observations, Laboratory Experiments, and Physical Mechanisms - A Review. *Izv., Phys. Solid Earth*. 2022, 58, 30–58. <https://doi.org/10.1134/S1069351322010104>.

Рыбин А.К., Баталева Е.А., Непейна К.С.

Научная станция РАН, г. Бишкек, Киргизская Республика
elena.bataleva@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ (ТЯНЬ-ШАНЬ)

Аннотация. В статье обсуждаются проблемы и результаты мониторинговых наблюдений, полученных электромагнитными методами на территории Бишкекского геодинамического полигона. Такие полигоны представляют собой уникальную форму изучения современных геодинамических процессов, позволяющих исследовать их взаимосвязь с физическими параметрами геологической среды, используемых в фундаментальных и прикладных исследованиях. С использованием оригинальных авторских методических подходов были проведены экспериментальные исследования геодинамических процессов в тензочувствительных пунктах электромагнитного мониторинга. Показано, что существует взаимосвязь интенсивности вариаций геоэлектрических параметров с особенностями геологического строения пункта наблюдения. Установлен ряд закономерностей в отклике геофизических полей на геодинамическую активизацию сейсмоактивных регионов Северного Тянь-Шаня.

Abstract. The article discusses the problems and results of monitoring observations obtained by electromagnetic methods on the territory of the Bishkek geodynamic polygon. Such polygons are a unique form of studying modern geodynamic processes, allowing to study their relationship with the physical parameters of the geological environment used in fundamental and applied research. Using the original author's methodological approaches, experimental studies of geodynamic processes in strain-sensitive points of electromagnetic monitoring were carried out. It is shown that there is a relationship between the intensity of variations in geoelectric parameters and the features of the geological structure of the observation point. A number of patterns have been established in the response of geophysical fields to geodynamic activation of seismically active regions of the Northern Tien Shan.

Важнейшим практическим значением изучения геодинамических процессов, обусловленных эндогенными и экзогенными факторами, является решение задач прогноза, снижения риска и уменьшения последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера, а также мониторинга окружающей среды. Экспериментальное изучение геодинамических процессов, играющих основную роль в формировании напряженно-деформированного состояния геологической среды, представляет собой сложную научную проблему. Этим обусловлена необходимость совершенствования подходов, методик и технологий исследования геодинамических процессов, на основе меняющихся во времени геофизических параметров [1-7]. Наиболее яркие вариации геофизических полей, отражающие проявления геодинамических процессов, тяготеют к активным тектоническим нарушениям и непосредственно прилегающим к ним зонам динамического влияния разломов [8-12]. В связи с чем подавляющее большинство пунктов электромагнитного мониторинга приурочено к разломным структурам, где измерение временных вариаций электромагнитных полей, полей упругих колебаний и т.д. дает количественную оценку напряженно-деформированного состояния геологической среды. Исследование взаимосвязи между геодинамическими процессами и вариациями геофизических полей различного происхождения имеет важнейшее значение при решении фундаментальных и прикладных проблем геофизики. В целом, геофизический мониторинг достаточно широко применяется в мире для изучения и контроля современных геодинамических процессов.

Геофизические методы относятся к методам неразрушающего контроля и позволяют с высокой точностью и достаточной степенью детальности получать информацию о физических параметрах горных пород на различных глубинах. Выбор конкретных методов геофизического мониторинга зависит от поставленных задач, геологического строения пунктов наблюдений, гидрогеологической обстановки, тектонических особенностей и др. В настоящее время для электромагнитного мониторинга применяются различные методы, основанные на изучении естественных и контролируемых электромагнитных полей. На территории Бишкекского геодинамического полигона создана система геофизического мониторинга, включающая в себя электромагнитные наблюдения [13].

К настоящему времени сотрудниками Научной станции проведено много исследований, направленных на изучение современных геодинамических процессов электромагнитными методами [14-17]. Одной из проблем при создании методических разработок для электромагнитного мониторинга является обеспечение высокой точности полевых наблюдений и отсутствия помех. Наиболее актуальным этот вопрос представляется при проведении мониторинговых наблюдений в виде режимных зондирований территории. В случае стационарных мониторинговых пунктов наблюдения, таких как Аксу и Чун-Курчак, точность пространственной привязки и минимизация влияния приповерхностных неоднородностей обеспечивается постоянным положением электродов. Зачастую исследования, выполненные электромагнитными методами, представляют собой однократные измерения, что позволяет оценить лишь статичную ситуацию, а не изучать динамику развития процессов.

В Научной станции РАН методы электротомографии и магнитотеллурического зондирования применяются для исследования современных геодинамических процессов во взаимосвязи с вариациями электромагнитных параметров геологической среды, что приближает нас к решению задач прогноза, снижения риска и уменьшения последствий катастрофических явлений природного и техногенного характера, а также мониторинга окружающей среды.

В качестве примера экспериментального подтверждения факта взаимосвязи вариаций электрического сопротивления с изменением напряженно-деформированного состояния земной коры Тянь-Шаня, рассмотрим результаты анализа полевых материалов, полученных на режимном мониторинговом пункте МТЗ в Кочкорской впадине Уюк-2. В преддверии мониторинговых исследований нами были детально изучены структуры чехла и поверхности фундамента Кочкорской впадины по геологическим и геофизическим данным [18-19]. Непрерывные записи магнитотеллурического поля на этом пункте проводятся ежегодно в течение 20-21 дней, что позволяет устойчиво определить все компоненты электромагнитного поля и проследить их динамику в корреляции с гравитационными воздействиями и распределением сейсмичности. Рассмотрим результаты 3-х суточной записи электромагнитного поля, в течение которой произошло 3 землетрясения, зарегистрированных сейсмическими сетями (рис. 1).

На частотно-временных рядах (ЧВР) рисунка 2 показаны вариации кажущегося сопротивления в сопоставлении с вертикальной компонентой лунно-солнечных приливных воздействий (A_n) и распределением сейсмичности. Для расчета лунно-солнечных приливов использовалась программа TIDE_3.exe, с помощью которой можно рассчитать лунно-солнечные приливные воздействия. В результате работы программы в файле TIDEALL.txt (лунно-суточные вариации) для каждого часа получаются четыре значения для кривой приливов: восточная компонента (A_u), северная компонента (A_V), вертикальная составляющая (A_n) и модуль полного вектора (A). В основном рассчитываются полусуточные и суточные приливные волны для Земли с океаном и для твердой Земли (без учета океана). Диапазон изменений ρ_k достаточно велик – от 20 до -20 Ом·м, принимая во внимание, что кривая ρ_k в пункте наблюдения находится на уровне первых сотен омметров. Изменения кажущихся электросопротивлений в ортогональных направлениях для первых двух сейсмических событий происходят в нижней части

псевдоразрезов, а для 3-го землетрясения – в средней. Наиболее четко вариации ρ_k , к градиентным зонам которых приурочены сейсмические события, выражены в верхней части разреза.



Рисунок 1. Распределение сейсмичности за выбранный период наблюдений по каталогам Научной станции РАН (KNET), Института сейсмологии КР (KRNET) и Международного сейсмологического центра (ISC). 1 – эпицентры землетрясений, произошедшие за период МТ-регистрации на пункте Укок-2; 2 - местоположение пунктов наблюдения; 3 – номера сейсмических событий; 4 – крупнейшие разломные структуры: ТФ - Таласо-Ферганский, ЛН - Линия Николаева, ЦТ - Центрально-Терскойский. АИ - Атбаши-Иныльчекский, ГК - Гиссаро-Кокшаальский.

На основе анализа характера распределения сейсмичности (рисунок 2) можно сделать вывод, что в вариациях электромагнитных параметров могут проявляться сейсмические события, случившиеся за 500 и более км от пункта мониторинга. Анализ поведения A_n и распределения $\Delta\rho_k$, представленных на рисунке 2, свидетельствует о том, что максимальной амплитуде вертикальной компоненты лунно-солнечных приливов (временные интервалы 04 - 22 часа и 25 - 44 часа записи) соответствует увеличение ρ_k (максимум на 20 Ом·м), минимуму – уменьшение. При этом все произошедшие землетрясения за рассматриваемый период наблюдения приурочены к минимуму лунно-солнечных приливов. Из рисунка 2 следует, что сейсмические события приурочены к градиентным зонам (зоны смены знака) вариаций кажущегося электрического сопротивления.

На рисунке 3 представлены корреляционные полярные диаграммы, которые построены нами для визуализации полученных данных. На пункте зондирования наблюдаются высокие коэффициенты корреляции для вариаций основного импеданса и A_n , их значения меняются от - 0,85 до 0,65, что свидетельствует о хорошей тензочувствительности пункта наблюдений. При сопоставлении с геологической картой очевидно, что ориентация разлома, который находится в непосредственной близости от пункта зондирования Укок, соответствует положению кластеров на корреляционных полярных диаграммах. На пункте зондирования наблюдаются высокие коэффициенты корреляции для вариаций основного импеданса и A_n , их значения меняются от - 0,85 до 0,65, что свидетельствует о хорошей тензочувствительности пункта наблюдений. При сопоставлении с геологической картой очевидно, что ориентация разлома, который находится в непосредственной близости от пункта зондирования Укок, соответствует положению кластеров на корреляционных полярных диаграммах.

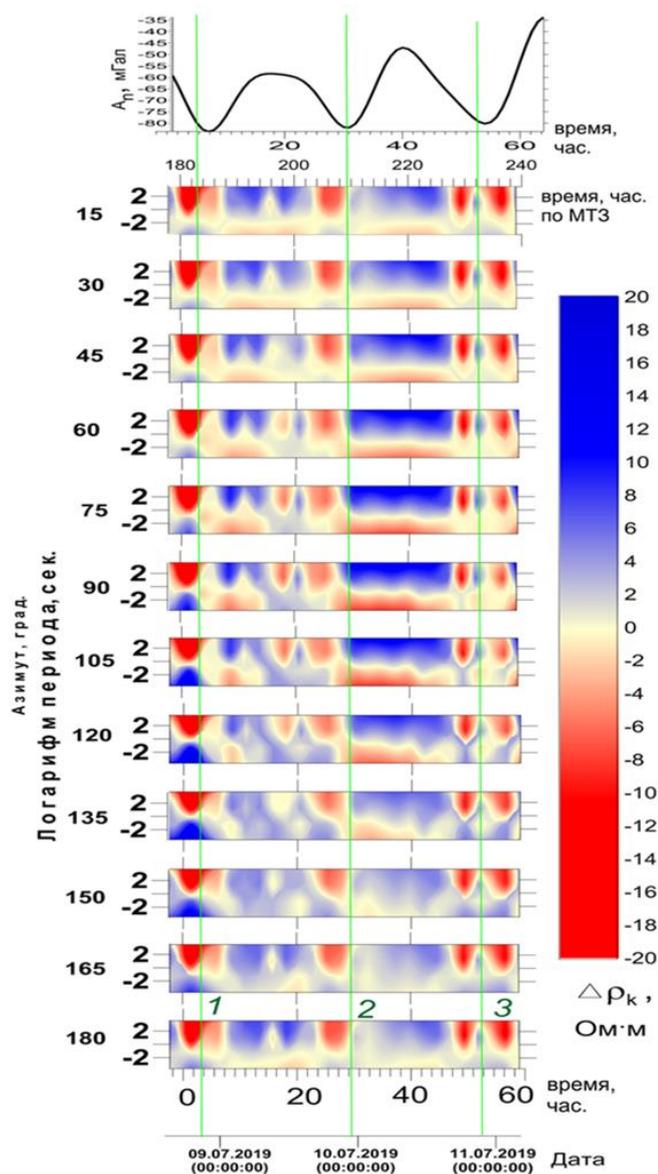


Рисунок 2. Результат наблюдений на пункте Укок-2 08.07.2019-11.07.2019. Верхний график – вертикальная компонента лунно-солнечных приливов, нижние разрезы - частотно-временные ряды МТЗ, построенные с шагом 15°. Вертикальными линиями отмечены произошедшие землетрясения.

Что касается природы электропроводности геологической среды, то существование проводящих объектов в земной коре в настоящее время принято рассматривать с позиций электропроводящей и флюидной моделей. Для верхней части геоэлектрического разреза мы рассматриваем флюидную модель электропроводности осадочного чехла и подстилающего его дезинтегрированного фундамента. Флюидная модель предполагает существование минерализованных рассолов и растворов, которые, как правило, приурочены к различным пространственно-масштабным уровням земной коры. В случае Тянь-Шаня повышенная пористость осадочного чехла и высокая трещиноватость фундамента обусловлены проявлением современной сейсмичности.

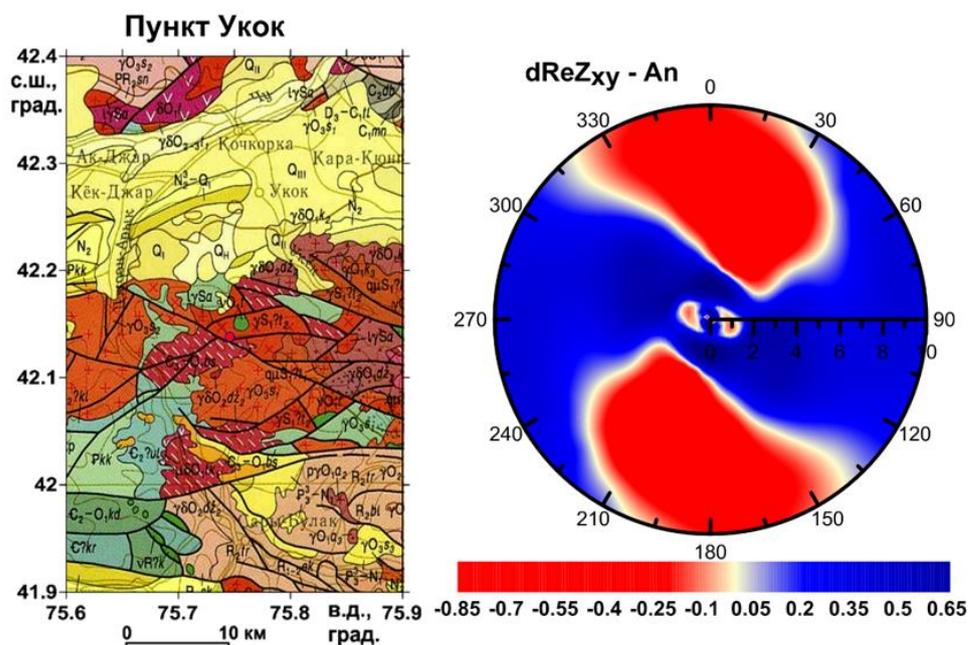


Рисунок 3. Слева – фрагмент геологической карты вблизи расположения режимного пункта МТ мониторинга Укок; справа – полярная диаграмма: распределение коэффициента корреляции (основной импеданс Z_{xy} и вертикальная компонента приливных воздействий A_n) в полярных координатах, где по оси радиусов показан \sqrt{T} (T-период). Цвет показывает значения коэффициента корреляции

Для режимного пункта МТ-мониторинга Укок-2 (рисунок 2), где, начиная с 2017 года ежегодно проводятся экспериментальные работы, например, в 2019 г. можно отметить, что: 1) существует устойчивая связь между анизотропией электрического сопротивления, лунно-солнечными приливными воздействиями и сейсмичностью; 2) существует приуроченность сейсмических событий к экстремумам лунно-солнечных приливов; 3) максимальной амплитуде вертикальной компоненты лунно-солнечных приливных воздействий соответствует увеличение ρ_k , минимуму – уменьшению ρ_k ; 4) наиболее четко вариации ρ_k , к градиентным зонам которых приурочены сейсмические события, выражены в верхней части разреза; 5) резкие изменения напряженно-деформированного состояния происходят на небольших глубинах, не более 10-15 км.

Литература

1. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2011. Том 11. №4. С.29-40
2. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Изучение необратимых деформаций в литосфере Тянь-Шаня по магнитотеллурическим данным (методологический аспект) // Вестник КРАУНЦ. 2019. № 2(42). С. 42-56. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М. : Недра, 1992. 250 с. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.
4. Rybin A., Bataleva E., Nepeina K., Matiukov V., Alexandrov P., Kaznacheev P. Response of cracking processes in variations of geophysical fields // Journal of Applied Geophysics. 2020. 104144. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104144>.
5. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Часть 1. Анализ данных магнитотеллурического мониторинга // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2014. Т. 14. – № 7. С. 3-7.

6. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Часть 2. Разработка программного обеспечения для анализа данных МТ-мониторинг // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2014. Т. 14. № 7. С. 8-12.
7. Неведрова Н.Н., Шалагинов А.Е. Мониторинг электромагнитных параметров в зоне сейсмической активизации Горного Алтая // Геофизика. 2015. № 1. С. 31-40.
8. Баталева Е. А., Баталев В. Ю. К вопросу о зонах динамического влияния разломных структур // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле : материалы докладов Москва, 03–08 октября 2016 года. – Москва: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2016. С. 350-354.
9. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженно-деформированного состояния среды // Геофизические исследования. 2014. Т. 15. № 4. С. 54-63.
10. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Детализация геоэлектрической структуры зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта (миниполигон Кентор) // Вестник КРСУ. 2018. Т.18. №12. С.134-140.
11. Баталева Е. А.Изучение глубинного строения сейсмоактивных зон методом магнитотеллурического зондирования // ИнтерэкспоГЕО-Сибирь. 2021. Т 2(1). С.345-353. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-1-345-353>
12. Шалагинов А.Е., Неведрова Н.Н., Шапаренко И.О. Вариации электрофизических параметров по данным электромагнитного мониторинга как индикатор активности разломных зон // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 1. С. 93-107. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0339>.
13. Брагин, В. Д. Активный электромагнитный мониторинг территории Бишкекского прогностического полигона. Москва, 2001. 135 с.
14. Брагин В.Д., Мухамадеева В.А. Изучение вариаций анизотропии электрического сопротивления в земной коре на территории Бишкекского геодинамического полигона электромагнитными методами. В сб.: Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Бишкек, 2009. В. 4. С. 74–84.
15. Рыбин А.К. Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по результатам магнитотеллурических исследований. М.: Науч. мир, 2011. 232 с.
16. Баталева Е. А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров // Доклады Академии наук. 2016. Т. 468 № 3. С. 319. <https://doi.org/10.7868/S08695652161501>
17. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // Geodynamics & Tectonophysics. 2018. № 2. С.461-487. [10.5800/GT-2018-9-2-0356](https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0356)
18. Баталева Е.А., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Лаврушина Е.В., М.Г. Леонов, В.Е. Матюков, Рыбин А.К. Новые данные о глубинном строении Южно-Кочкорской зоны концентрированной деформации // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475, № 5. С. 571-575. DOI 10.7868/S0869565217230219.
19. Пржиялговский Е. С., Лаврушина Е. В., Баталев В. Ю., Баталева Е. А., Леонов М. Г., Рыбин А. К. Структуры чехла и поверхности фундамента Кочкорской впадины (Тянь-Шань) по геологическим и геофизическим данным // Геология и геофизика. 2018. Т. 59 – № 4. С. 417–436. [10.15372/GiG20180401](https://doi.org/10.15372/GiG20180401)
20. Ваньян Л.Л. О природе электропроводности активизированной земной коры // Физика Земли. 1996. № 6. С. 93–95.
21. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Изучение необратимых деформаций в литосфере Тянь-Шаня по магнитотеллурическим данным (методологический аспект) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 2 (42). С. 42-56. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56>.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ $M_S > 7$

Аннотация. Показано, что всплески интенсивности ионизирующего электромагнитного излучения Солнца, также как и геомагнитные бури, вызывают статистически значимое уменьшение общего количества землетрясений на Земле. После всплесков ионизирующего излучения происходит статистически значимое уменьшение суммарной энергии землетрясений, а после геомагнитных бурь наблюдается ее возрастание. В основном это происходит за счет роста количества наиболее сильных землетрясений с $M_S > 7$ после геомагнитных бурь и уменьшения числа таких землетрясений после всплесков ионизирующего излучения Солнца. Во время геомагнитных бурь и в течение нескольких суток после них вероятность возникновения сильных землетрясений более чем в 2 раза повышается, а после всплесков ионизирующего излучения такая вероятность почти в 2 раза снижается.

Abstract. It is shown that bursts of intensity of ionizing electromagnetic radiation from the Sun, as well as geomagnetic storms, cause a statistically significant decrease in the total number of earthquakes on Earth. After bursts of ionizing radiation, a statistically significant decrease in the total energy of earthquakes occurs, and after magnetic storms, its increase is observed. This is mainly due to an increase in the number of earthquakes with $M_S > 7$ after geomagnetic storms and a decrease in the number of such earthquakes after bursts of ionizing radiation. During magnetic storms and for several days after them, the probability of occurrence of strong earthquakes increases more than two times, and after bursts of ionizing radiation, this probability decreases almost twice.

Введение. Влияние процессов, протекающих на Солнце и в околоземном пространстве, на состояние земной коры и сейсмичность вызывает у геофизиков большой интерес, поскольку новые результаты, полученные в этом направлении, могут помочь более точно предсказывать периоды повышения сейсмической опасности и изучить воздействие на сейсмичность факторов разной физической природы. Однако опубликованные результаты нередко носят противоречивый характер (см., например, [1-3]). Поэтому исследования в этом направлении продолжаются. В данной работе изучено изменение глобальной сейсмичности Земли после магнитных бурь (МБ) и резких всплесков электромагнитного излучения (ЭИ) Солнца.

Методика. С этой целью использовался каталог глобальной сейсмичности NEIC [4] с 1973 по 2001 гг., который содержит более 320-ти тысяч землетрясений, каталог магнитных бурь (МБ), включающий 1071 МБ, данные о скорости солнечной плазмы на границе магнитосферы Земли высокоорбитального спутника IMP-8 и об интенсивности потока электромагнитного излучения (ЭИ) Солнца, публикуемые NOAA [5]. Сначала было изучено изменение сейсмичности после магнитных бурь (МБ).

Для выделения вызванных изменений сейсмичности на фоне ее естественных вариаций применялась методика наложения эпох. Сейсмичность рассматривалась в пределах временных окон шириной ± 10 сут от начала каждой из бурь, которые затем совмещались во времени. В качестве реперов для выбора таких окон использовались времена начала каждой из магнитных бурь. Дата и время каждого из землетрясений, возникших в пределах таких окон, заменялись на время, пересчитанное относительно момента начала соответствующей бури, а по магнитуде вычислялась его энергия (Дж) с помощью известного соотношения:

$$\lg E = 1.5 \cdot M_S + 4.8. \quad (1)$$

Далее временное окно разбивалось на короткие последовательные интервалы и подсчитывалось число землетрясений, возникших в пределах каждого из них, их суммарная и средняя сейсмическая энергия (СЭ) и время, соответствующее середине

каждого из таких интервалов, отсчитываемое от момента начала МБ. Затем строились зависимости количества землетрясений и их СЭ от времени и оценивались средние значения этих величин за временные интервалы перед МБ (уровень фона) и после их начала. Для оценки статистической значимости изменения средних значений после МБ использовался непараметрический критерий Вилкоксона. Определялись также суммарные энергии всех землетрясений, возникших до и после МБ.

Результаты. На рис.1 представлены зависимости ежесуточного количества землетрясений от времени до и после МБ, полученные как по землетрясениям только представительных магнитуд (с $M_S > 4.4$), так и по всем сейсмическим событиям. Из него следует, что в первые 5 сут после МБ происходит заметное уменьшение количества землетрясений, а через 5-6 сут их число вновь возрастает. Неожиданным является то, что отмеченное понижение сейсмичности началось, как минимум, за 2-3 сут до начала магнитных бурь. Более детальный анализ показывает, что это уменьшение начинается за 3-5 сут до МБ (рис.1,в). Очевидно, что в этом интервале времени МБ не могли быть его причиной.

МБ возникают через несколько суток после солнечных вспышек и корональных выбросов масс из-за относительно невысокой скорости солнечной плазмы. Однако ЭИ достигает Земли всего за 8.2 мин, что позволяет предположить, что оно и является причиной изменения сейсмичности до МБ. Скорость фронта солнечной плазмы на границе магнитосферы Земли во время возникновения рассматриваемых МБ лежала в пределах 309 - 1040 км/сек. Следовательно, время запаздывания МБ относительно всплесков ЭИ должно лежать в пределах 1.6-5.6 сут, что хорошо согласуется со временем, на которое спад сейсмичности опережает начало МБ. Следовательно, всплески ЭИ должны более точно отражать моменты их воздействия на сейсмичность Земли.

Поэтому вместо МБ в качестве реперов для выбора временных окон были использованы моменты резкого повышения потока ЭИ. Формально такие моменты определялись как времена, когда скорость изменения потока радиоизлучения Солнца (dW/dt) превышала 95%-ный доверительный интервал. Всего за рассматриваемый период времени было обнаружено 949 резких всплесков ЭИ, что сопоставимо с числом магнитных бурь.

На рис. 2 показана зависимость от времени количества землетрясений до и после всплесков ЭИ, полученная по землетрясениям представительных магнитуд и по всем событиям. Видно, что после повышения потока ЭИ происходит резкое уменьшение количества землетрясений, которое совпадает с ними по времени (еще лучше это видно на рис. 2в, где показан фрагмент последней зависимости шириной ± 3 сут, построенный с более высоким разрешением по времени). Сразу же после всплесков ЭИ количество землетрясений падает, а через 2-3 сут начинает плавно возрастать.

В таблице 1 представлены численные оценки изменения количества землетрясений, которые наблюдаются на рисунках 1 и 2. Из нее следует, что уменьшение числа сейсмических событий после МБ составляет всего около 1 - 6 процентов от уровня фона. Несмотря на это, выявленные изменения статистически высоко значимы, поскольку оценки их значимости оказались много меньше значения 0.05, обычно принимаемого в геофизике за уровень значимости. Таким образом, и после МБ, и после ЭИ наблюдается некоторое подавление глобальной сейсмичности Земли.

Интересно, что при этом СЭ возрастает, причем не на несколько процентов, как это было с количеством землетрясений, а на десятки, что следует из таблицы 2. Однако такие изменения статистически не значимы (т.к. они существенно больше 0.05). Возможно, это связано с разным влиянием МБ и ЭИ на СЭ. На рис. 3а представлена зависимость от времени СЭ до и после ЭИ. Видно, что после ЭИ СЭ изменяется во времени очень неупорядоченно. Сначала она уменьшается, затем возрастает и т.д., ее дисперсия заметно возрастает. Однако оценки изменения СЭ после МБ и ЭИ, на первый взгляд, это не

подтверждают (см. таб. 2).

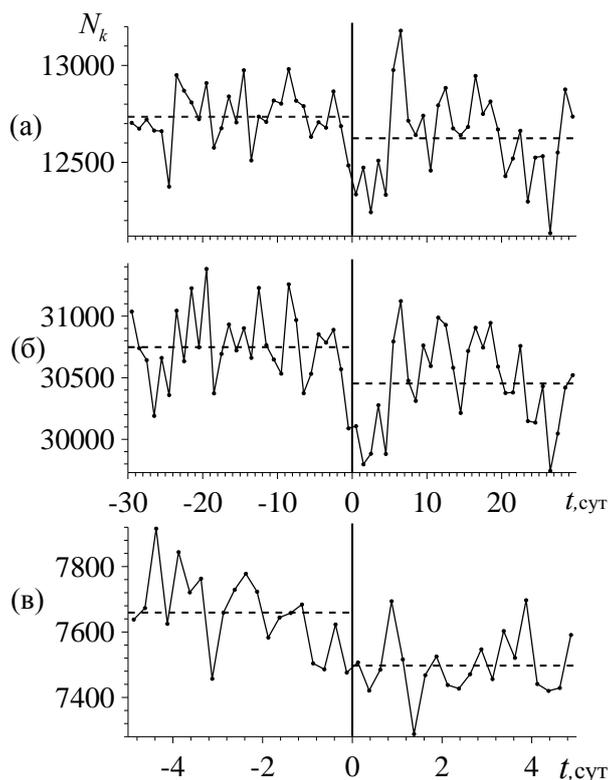


Рисунок 1. Изменение во времени количества представительных (а) и всех (б) землетрясений до и после МБ, а также фрагмент последней зависимости, построенный с более высоким разрешением по времени (в). Вертикальной линией отмечено время начала МБ, пунктиром - средние значения до и после них.

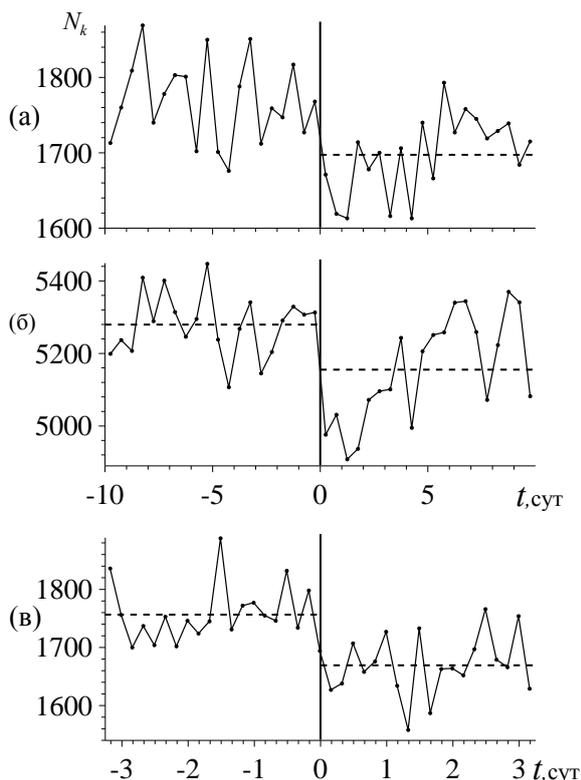


Рисунок 2. Изменение во времени числа представительных (а) и всех (б) землетрясений до и после всплесков ЭИ и аналогичная зависимость, построенная в окне ± 3.2 сут с более высоким разрешением по времени (в).

Таблица 1. Изменения среднего числа землетрясений (ΔN), их статистическая значимость (P) после МБ и ЭИ во временных окнах шириной ± 10 и ± 3 сут.

Триггер	$N, \%$	Δ	P
М	-	0	
Б	1.1	.0023	
Э	-	0	
И	2.5	.0002	
Э	-	0	
И (± 3 с)	5.7	.0001	

Таблица 2. Изменения СЭ (ΔE) после МБ и ЭИ, их статистическая значимость (P) и отношение суммарной энергии (E_a/E_b) землетрясений, возникших после и до них, и аналогичные оценки, полученные по выборке МБ, до и после которых не фиксировалось ЭИ, и выборке ЭИ, до и после которых не наблюдалось МБ.

Триггер	$\Delta E, \%$	P	E_a/E_b
МБ	5	0	1
все	7.1	.082	.55
ЭИ	3	0	1
все	3.6	.089	.32
МБ без ЭИ	5	0	1
	8.5	.049	.52
ЭИ без МБ	-	0	0
	70.8	.043	.27

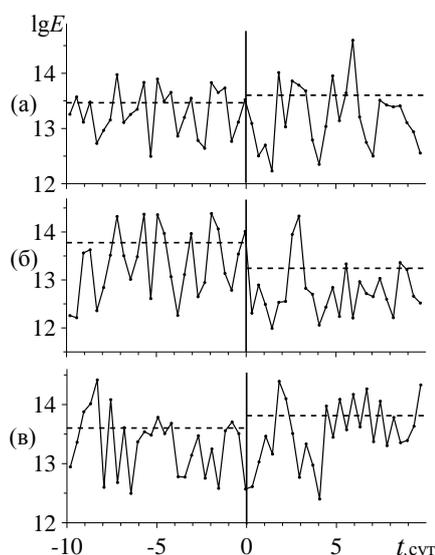


Рисунок 3. Изменение во времени СЭ до и после всплесков ЭИ (а), аналогичная зависимость, полученная по ЭИ, до и после которых не возникало МБ (б), и изменение СЭ до и после МБ, до и после которых не фиксировалось всплесков ЭИ (в). По оси ординат - энергия землетрясений (Дж) в логарифмическом масштабе.

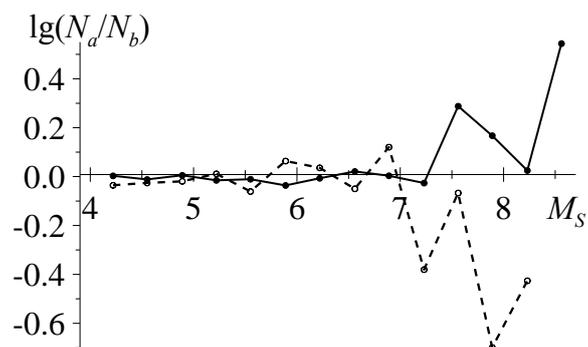


Рисунок 4. Отношение (N_a/N_b) числа землетрясений, возникших после и до всплесков ЭИ (пунктир), и после и до МБ (сплошная линия) в зависимости от их магнитуды M_S .

Чтобы внести ясность, влияние МБ и ЭИ на СЭ было рассмотрено по отдельности. Сначала с этой целью из общего числа ЭИ были отобраны только те, до и после которых не возникало МБ. Используя полученную при этом выборку в качестве реперов для выбора временных окон, по той же методике что и раньше, было изучено изменение во времени СЭ до и после всплесков ЭИ. На рис. 3б, где показано ее изменение во времени, видно, что сразу же после ЭИ происходит резкое уменьшение СЭ. Аналогично было изучено изменение СЭ после МБ. Из их общего числа была произведена выборка только тех МБ, до и после которых не фиксировалось всплесков ЭИ, и построена зависимость, характеризующая изменение СЭ до и после МБ в отсутствие ЭИ (рис. 3в). В отличие от предыдущего случая, здесь наблюдается повышение СЭ, которое происходит после МБ с задержкой в несколько суток. Это обстоятельство отмечалось и раньше при облучении земной коры мощными электромагнитными импульсами, после которых активизация сейсмичности также возникала с задержкой в 2-5 суток [6].

Численные оценки наблюдаемых на рис. 3б и 3в изменений СЭ после ЭИ и МБ также представлены в таблице 2. Из нее следует, что воздействие ЭИ приводит к уменьшению СЭ относительно уровня фона почти на 71%, а МБ - к ее увеличению на 58.5 %, и эти изменения оказались уже статистически значимы, поскольку в обоих случаях значимость оказалась меньше 0.05. Такие же выводы следуют и из анализа представленных в этой же таблице значений отношения суммарной энергии всех землетрясений, произошедших после и до (E_a/E_b) воздействия этих факторов. Таким образом, после ЭИ происходит не только уменьшение количества землетрясений, но и их энергии. Однако после МБ число сейсмических событий также несколько уменьшается, но при этом их энергия, напротив, существенно возрастает.

Для практических приложений важно получить представление о том, как при этом землетрясения перераспределяются по своим энергиям. С этой целью по землетрясениям разных магнитуд M_S был произведен подсчет их числа до (N_b) и после (N_a) ЭИ и отношения N_a/N_b , характеризующего изменение количества таких сейсмических событий после всплесков ЭИ. Эти отношения показаны на рис. 4 в зависимости от магнитуд землетрясений. На нем же представлена аналогичная зависимость отношения N_a/N_b количества землетрясений, возникших после и до МБ. Видно, что количество слабых и

умеренных сейсмических событий с $M_S < 7$ как после ЭИ, так и после МБ, меняется незначительно. При этом число сильных землетрясений с $M_S \geq 7$ после ЭИ почти в 4 раза уменьшается, а после МБ, напротив, более чем в 3 раза возрастает. Последнее обстоятельство согласуется с результатами работ [7-10], в которых отмечалось, что после магнитных бурь происходит активизация землетрясений с $M_S > 6.5-7.0$.

Эти результаты были проверены и другим способом. Для этого были построены зависимости от времени количества сильных землетрясений с магнитудой $M_S > 7$ до и после ЭИ и МБ. Но поскольку таких сильных землетрясений относительно немного, период наблюдений был расширен. Рассматривались сейсмические события, произошедшие в интервале 1973-2020 гг. Всего таких землетрясений оказалось 349. При этом, как и раньше, в качестве реперов для выбора временных окон использовались выборки ЭИ, до и после которых не было МБ, и выборки МБ, до и после которых не фиксировалось всплесков ЭИ.

Полученные при этом зависимости количества землетрясений от времени даны на рис. 5. Там же показаны средние значения числа землетрясений до (уровень фона) и после воздействия рассматриваемых факторов. На нем хорошо видно, что сразу же после всплесков ионизирующего излучения Солнца число землетрясений с $M_S > 7$ заметно уменьшается (рис. 5а). После геомагнитных бурь, напротив, наблюдается активизация таких землетрясений, которая возникает с задержкой в несколько суток (рис. 5б).

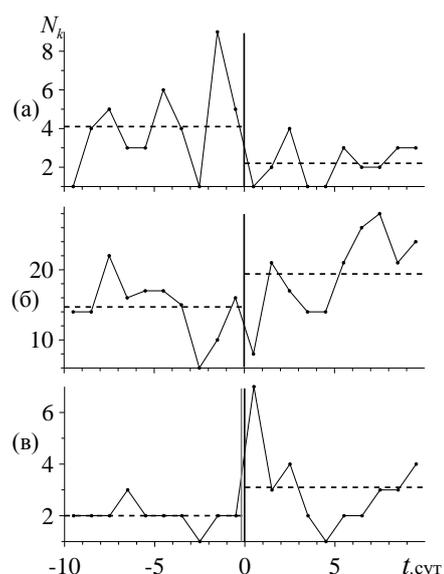


Рисунок 5. Изменение во времени количества землетрясений с $M_S > 7$, произошедших до и после ЭИ (а), МБ (б) и одновременного воздействия этих двух факторов (в).

Помимо этого было изучено влияние комбинированного воздействия МБ и ЭИ в различных их сочетаниях. В большинстве случаев выявленные выше изменения смазывались, однако по выборке магнитных бурь, перед которыми в течение трех суток и менее фиксировались всплески ЭИ, а в остальное время их не наблюдалось, был получен более отчетливый результат. На рисунке 5в, где он представлен, видно, что после такого воздействия возникает резкая активизация землетрясений с $M_S > 7$, которая продолжается всего около трех суток. В отличие от предыдущего случая (рис. 5б), она начинается сразу же после МБ, без заметной задержки.

Численные оценки изменения среднего количества таких землетрясений представлены в таблице 3. Из нее следует, что воздействие ЭИ приводит к статистически значимому уменьшению количества землетрясений с $M_S > 7$ на 46% от уровня фона. После

Таблица 3. Изменение во времени числа землетрясений с $M_S > 7$, произошедших за период 1973-2020 гг., до и после интенсивных всплесков ЭИ, МБ, а также и до и после одновременного воздействия этих двух факторов (ЭИ и МБ), и то же самое во временном интервале ± 3 суток.

Триггер	$\Delta N, \%$	P
ЭИ	-46.3	0.024
МБ	32.0	0.013
ЭИ и МБ	55.0	0.154
то же, 3 с	133.3	0.035

магнитных бурь их число, напротив, статистически значимо возрастает на 32%. Но наиболее сильный прирост числа землетрясений (на 55%) происходит после МБ, непосредственно перед которыми появлялись интенсивные всплески ионизирующего излучения Солнца. Однако в этом случае значимость очень мала. Связано это с тем, что наблюдаемая активизация сейсмичности продолжается всего трое суток. В этом временном интервале возрастание числа землетрясений по отношению к фону достигает уже 133%, а оценка значимости составляет 0.035.

Заключение. Полученные результаты с большой степенью достоверности показывают, что процессы, протекающие на Солнце, оказывают влияние на сейсмичность Земли и, следовательно, на состояние ее литосферы. Однако картина их взаимодействия очень сложная. Факторы разной физической природы, порождаемые солнечной активностью, могут влиять на литосферу Земли и ее сейсмичность разнонаправлено. Воздействие интенсивных всплесков ЭИ приводит к уменьшению вероятности возникновения в последующие 10 суток катастрофических землетрясений почти в два раза, а магнитных бурь, напротив, к повышению такой вероятности в ближайшие 10-15 сут. почти на треть. Но наиболее сильно, более чем в два раза, она возрастает в течение 3 сут. после магнитных бурь, перед возникновением которых на протяжении 3 сут. фиксировались всплески интенсивности ионизирующего излучения Солнца (табл. 3). Следовательно, характер воздействия этих факторов на состояние литосферы и ее сейсмичность может меняться в зависимости от их сочетания. Последнее обстоятельство позволяет понять причину получения противоречивых результатов, публикуемых разными исследователями.

Литература

1. Гульельми А.В. О связи между землетрясениями и геомагнитными возмущениями // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 2. С. 78-84. doi.org/10.21455/gr2020.2-6.
2. Козырева О.В., Пилипенко В.А. О взаимосвязи геомагнитной возмущенности сейсмической активности для региона Аляски // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 1. С. 33-49. <https://doi.org/10.21455/gr2020.1-333>.
3. Тарасов Н.Т. Влияние солнечной активности на сейсмичность Земли // Инженерная физика. 2019. № 6. С. 23-33. DOI: 10.25791/infizik.06.2019.668.
4. NEIC, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
5. NOAA, <https://www.swpc.noaa.gov>.
6. Tarasov N.T., Tarasova N.V. Effect of Electromagnetic Fields and Explosions on Seismicity and Geodynamic Consequences // Journal of Xiangtan University Natural Science Edition. 2020. Vol. 42. Issue 4. p. 94-103. DOI : 10.13715/j.cnki.nsjxu.2020.04.007.
7. Tarasov N.T. Effect of solar activity on electromagnetic fields and seismicity of the Earth // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 929. 012019. P. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/929/1/012019.
8. Барсуков О.М. Солнечные вспышки, внезапные начала и землетрясения // Физика Земли. 1991. № 12. С. 93-97.
9. Соболев Г.А. Влияние больших магнитных бурь на возникновение больших землетрясений // Физика Земли. 2020. № 1. С.24-40. DOI: 10.31857/S0002333721010087.
10. Buchachenko A.L. Self-Excitation of the Earthquakes // Open Journal of Earthquake Research. 2022/. 11. p. 18-30

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАНГА СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

Аннотация. На основе многолетнего фактического материала приведены результаты исследования особенностей проявления геомагнитных предвестников в зависимости от ранга сеймотектонических единиц. Выявленные особенности – фактическое доказательство правомочности ранее высказанных выводов ведущих ученых-сейсмологов об ответственности определенного ранга сеймотектонических единиц в возникновении землетрясений определенной силы.

Summary. Based on many years of factual material, the article presents the results of a study of the features of the manifestation of geomagnetic precursors depending on the rank of seismotectonic units. The revealed features are the actual proof of the validity of the previously stated conclusions of leading seismologists about the responsibility of a certain rank of seismotectonic units in the occurrence of earthquakes with a certain force.

Более 50 лет в Узбекистане и в других сейсмоактивных районах мира активно исследуется поиск магнитных предвестников землетрясений. Выявлены некоторые особенности проявления геомагнитных предвестников и их использования в практическом прогнозировании землетрясений [1-3]. Общее количество стационарных магнитометрических станций, участвующих в контроле сейсмической опасности на геодинамических полигонах Узбекистана, – 15 (рис. 1). Контроль вариаций геомагнитного поля на пунктах геомагнитных наблюдений проводится относительно опорной станции – обсерватории Янгибазар, расположенной в Приташкентском районе. Предмет изучения временного ряда геомагнитного поля – среднесуточные разностные значения модуля полного вектора ΔT между рядовыми станциями и опорной.

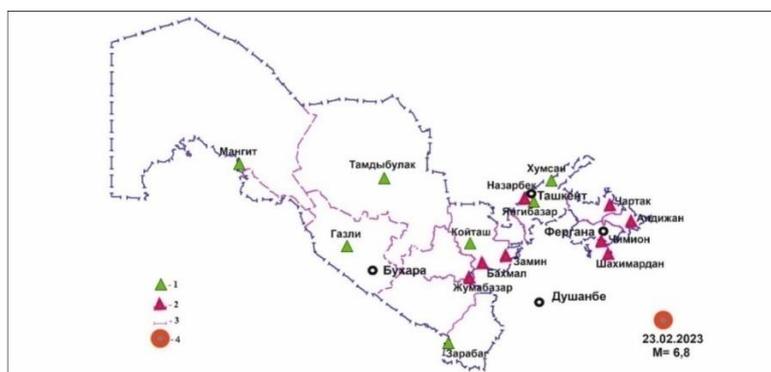


Рисунок 1. Схема расположения магнитометрических прогностических стационарных станций Института сейсмологии АН РУз и Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз, участвующих в контроле сейсмической опасности Узбекистана и соседних республик.

Магнитометрические станции: 1 – где не проявились предвестниковые аномалии землетрясения 23.02.2023 г. с $M=6,8$, 2 – где проявились предвестниковые аномалии; 3 – границы республики и областей; 4 – эпицентр землетрясения 23.02.2023 г. с $M=6,8$.

За истекший период исследований выявлены многочисленные (более 70) геомагнитные предвестники землетрясений. Наиболее значимые, надежно выделенные из них – среднепериодные. Из-за существенного воздействия внешних вариаций на

исследуемое разностное магнитное поле менее уверенно выделяются короткопериодные. По той же причине ни разу значимо не выделены оперативные предвестники землетрясений. В связи с вышеизложенным, рассмотрим особенности проявления среднепериодных геомагнитных предвестниковых аномалий в разноранговых тектонических единицах. К.Н.Абдуллабеков [4] по характерным линейным размерам тектонических элементов и сейсмической активизации выделяет 6 сеймотектонических единиц (рангов).

На практике чаще мы сталкиваемся с сейсмическими событиями, вызываемыми тектоническими структурами VI ранга (горные хребты, сейсмогенные зоны и т.д.), реже – с сильнейшими землетрясениями, вызываемыми взаимоотношением тектонических структур V ранга (части горных стран, микроплиты и т.д.). Катастрофические землетрясения ($M=8,0-8,2$) происходят очень редко, и они отражают взаимоотношения горных стран (IV ранг).

Рассмотрим особенности проявления геомагнитных предвестников землетрясений в зависимости от ранга сеймотектонических структур. Количество выявленных среднепериодных бухтообразных предвестниковых аномалий в тектонических единицах в Узбекистане и соседних республиках в зависимости от геолого-геофизических особенностей расположения прогностических станций распределено таким образом: ст. Чимион – 17 случаев; ст. Бухара – 6 раз; ст. Цветущий – 5 раз; ст. Хумсан и Шурчи – по 3 раза; ст. Майск, Бахмал (Галляарал), Андижан, Маданият, Тамдыбулак – по 2 раза; ст. Самарканд (Каратепо), Ташата – по 1 разу. Предвестники специфически ступенчатой формы обнаружены на ст. Чартак – 6 раз, Хумсан и Коканд – по 1 разу. Всего за период исследования 54 раза [5].

Так, из 54 случаев (100%) регистрации среднепериодного предвестникового сигнала 17 (31,5%) зафиксированы на ст. Чимион. Остальные 68,5% случаев приходятся на долю других 18 станций. В связи с этим проанализируем особенности проявления геомагнитных предвестников на структурных единицах V ранга на примере высокочувствительной станции Чимион. Станция Чимион расположена на северной стороне Южно-Тянь-Шаньского блока V ранга Западно-Тянь-Шаньской микроплиты V ранга. Размеры блока 100×300 км. Блок ограничен с севера Южно-Ферганским разломом и флексурно-разрывной зоной, с юга – Южно-Тянь-Шаньским глубинным разломом, с востока и запада – поперечными разломами. Станция находится на пересечении Южно-Ферганского разлома и флексурно-разрывной зоны с поперечным Кумбель-Памирским линейным элементом. Район характеризуется аномальной электропроводностью земной коры с разуплотненными, декомпрессионными свойствами подстилающих толщ. Относительно повышенная сейсмическая активность и вышеотмеченные характеристики района способствовали повышенной чувствительности ст. Чимион к землетрясениям. Станция Чимион, имея повышенную чувствительность, реагирует в основном на землетрясения, происходящие в пределах Южно-Тянь-Шаньского блока V ранга, выделенным И.У.Атабековым и др. в 2022 г. (рис.2) [6]. Здесь Южно-Тянь-Шаньский блок V ранга отмечен как № 8.

Минимальная сила землетрясений, от которых можно ожидать предвестниковый сигнал на ст. Чимион, – $M=4,5$. Результаты статистики чувствительности ст. Чимион в нормальные периоды его функционирования к землетрясениям, происшедшим в Южно-Тянь-Шаньском блоке, следующие: из 53 землетрясений с $M=4,5-5,0$ в 5-ти случаях получены предвестниковые сигналы (9,4%); с $M=5,1-5,5$ из 7 случаев в 4-х (57,1%); из 7 случаев проявления землетрясения с $M \geq 5,6$ во всех 7-ми (100%) [5].

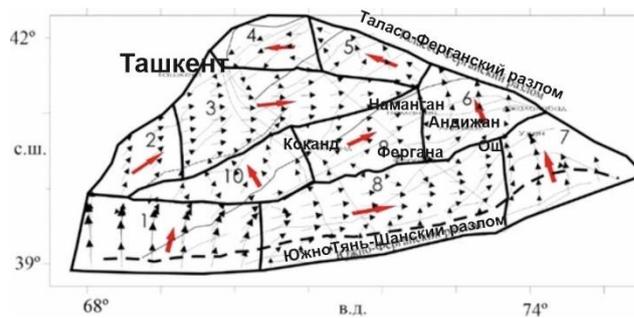


Рисунок 2. Сгруппированные по направлениям скорости перемещений из решения модельной задачи; тонкие линии – разломы высших рангов, установленные по тектоническим данным (Атабеков и др., 2022).

С ростом силы землетрясения увеличивается чувствительность станции к ним, независимо от эпицентрального расстояния и географической ориентации – от 9,4 до 100%. Это означает, что предвестниковые аномалии землетрясений $M=4,5-6,5$ на ст. Чимион в основном вызваны геодинамическими процессами, происходящими по всему периметру Южно-Тянь-Шаньского блока, и внутриблочными процессами (рис. 3). Процессы, вызывающие землетрясения силой $M=4,5-6,5$ в пределах соседних блоков Vранга, по-видимому, поглощаются в межблочной среде (разломы, флексурно-разрывные зоны). Установленные зависимости дальности распространения предвестникового сигнала от силы землетрясения: $lgR=0,35M+0,04$ [7], $lgR=0,201M + 1$ [8] преимущественно правомочны для определения параметров средних землетрясений, происходящих внутри блочной однородной среды и в зонах динамического действия разломов, где регистрируется предвестниковый сигнал.

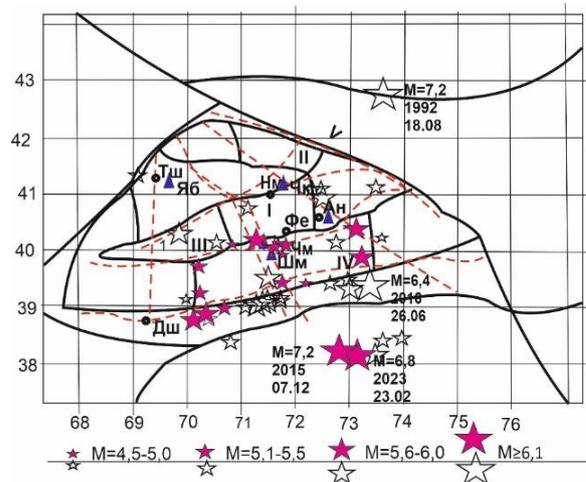


Рисунок 3. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестников землетрясений на ст. Чимион в 1980-2023гг. Закрашенные звездочки – случаи проявления предвестника землетрясения с соответствующей силой(M); не закрашенные – предвестники не проявились.

По параметрам значимо выявленных предвестниковых аномалий и происшедших землетрясений в Центральной Азии определена эмпирическая зависимость между длительностью проявления предвестниковой аномалии и силой землетрясения $lg\Delta t_a=0,27M+0,84$ [2] (рис.4).

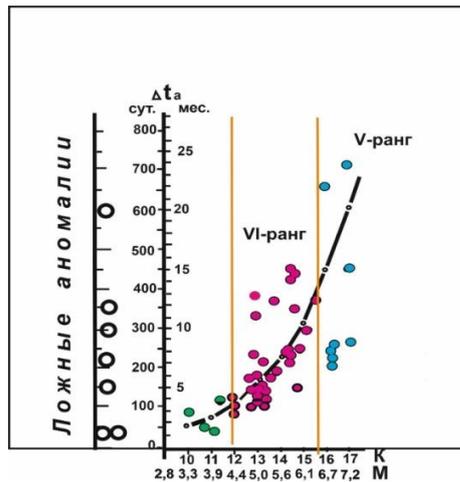


Рисунок 4. Зависимость длительности проявления геомагнитных предвестников от силы землетрясения из 46 фактических случаев, зарегистрированных до 2023г. Происшедшие землетрясения: зеленое – в эпицентральной области; красное – в структурах VI ранга; синее – в структурах V ранга; кривая линия – эмпирическая зависимость, определённая в 1986 г. из 24 случаев.

На практике мы чаще сталкиваемся с сейсмическими событиями, вызываемыми тектоническими структурами VI ранга, реже, с сильнейшими землетрясениями, вызываемыми взаимоотношением тектонических структур V ранга. Катастрофические землетрясения ($M=8,0-8,2$) происходят очень редко, и они отражают взаимоотношения горных стран. Об особенностях проявления землетрясений $M=4,5-6,5$ в структурных единицах V ранга приведено множество фактов. Известны случаи, когда магнитометрические станции реагировали на более сильные землетрясения, возникавшие за пределами блока V ранга, где они сами находились. К ним относятся Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. с $M=7,2$ и $7,3$, предвестники которого наблюдались на некоторых станциях Приташкентского района и Южного Узбекистана [1-3]; Алайское землетрясение 1978 г. с $M=6,8$, вызвавшее аномальные изменения различных прогностических полей Восточного Узбекистана и Таджикистана [1-3].

На тектонических единицах V ранга геомагнитные предвестниковые аномалии землетрясений проявляются специфическими особенностями. Как известно, во взаимоотношениях тектонических единиц V ранга задействованы большие массы и напряжения, на порядок и больше превышающие взаимоотношения тектонических единиц VI ранга. Соответственно, эти напряжения, распространяясь на большие территории, вызывают сильнейшие землетрясения ($M \geq 6,8$), которые по своим особенностям проявления предвестников существенно отличаются от особенностей землетрясений, обусловленных тектоническими единицами VI ранга. В этих случаях ранее определенные оценочные параметры для структур V ранга иногда существенно расходятся от реальных (см. рис.4).

Перед землетрясением в районе озера Сарез $M=6,8$ предвестниковые аномалии проявились синхронно на 7-ми станциях, расположенных в соседних тектонических блоках V ранга внутри Западно-Тянь-Шаньской микроплиты (V ранга) и за её пределами (см. рис. 1 и 5). Максимальная удалённость между крайними станциями $2R=460$ км. Согласно зависимостям $lgR=0,35M+0,04$ [7], $lgR=0,201M + 1$ [8], масштабы проявления соответствовали возникновению сильного землетрясения с $M \approx 6,6-6,8$, что и произошло 23.02.2023г. Из этого следует, что вышеупомянутые зависимости в структурах V ранга относительно приближены к реалиям. Этого не скажем в отношении зависимости длительности проявления предвестника от силы землетрясения (см. рис. 4). На рис. 6 также отражен временной ход магнитного поля на ст. Зарабаг, возможно, обусловленный градиентом векового хода между Южным Узбекистаном и Приташкентским районом.

Отметим, что в период инструментальных геомагнитных исследований нашего региона катастрофические землетрясения, обусловленные взаимоотношением тектонических единиц IV ранга, не наблюдались. С увеличением силы землетрясения расхождение между минимальным и максимальным значениями наблюдавшейся фактической длительности проявления предвестникового сигнала заметно увеличивается. Похожие ситуации происходят в зависимостях дальности распространения предвестника от силы землетрясения. Здесь еще, кроме определения места землетрясения, могут существенно влиять анизотропия распространения поля напряжения, вызывающая предвестники землетрясения, сильно зависящая от геолого-геофизических условий района исследований и некоторых особенностей чувствительности прогностических станций к землетрясениям региона [5].

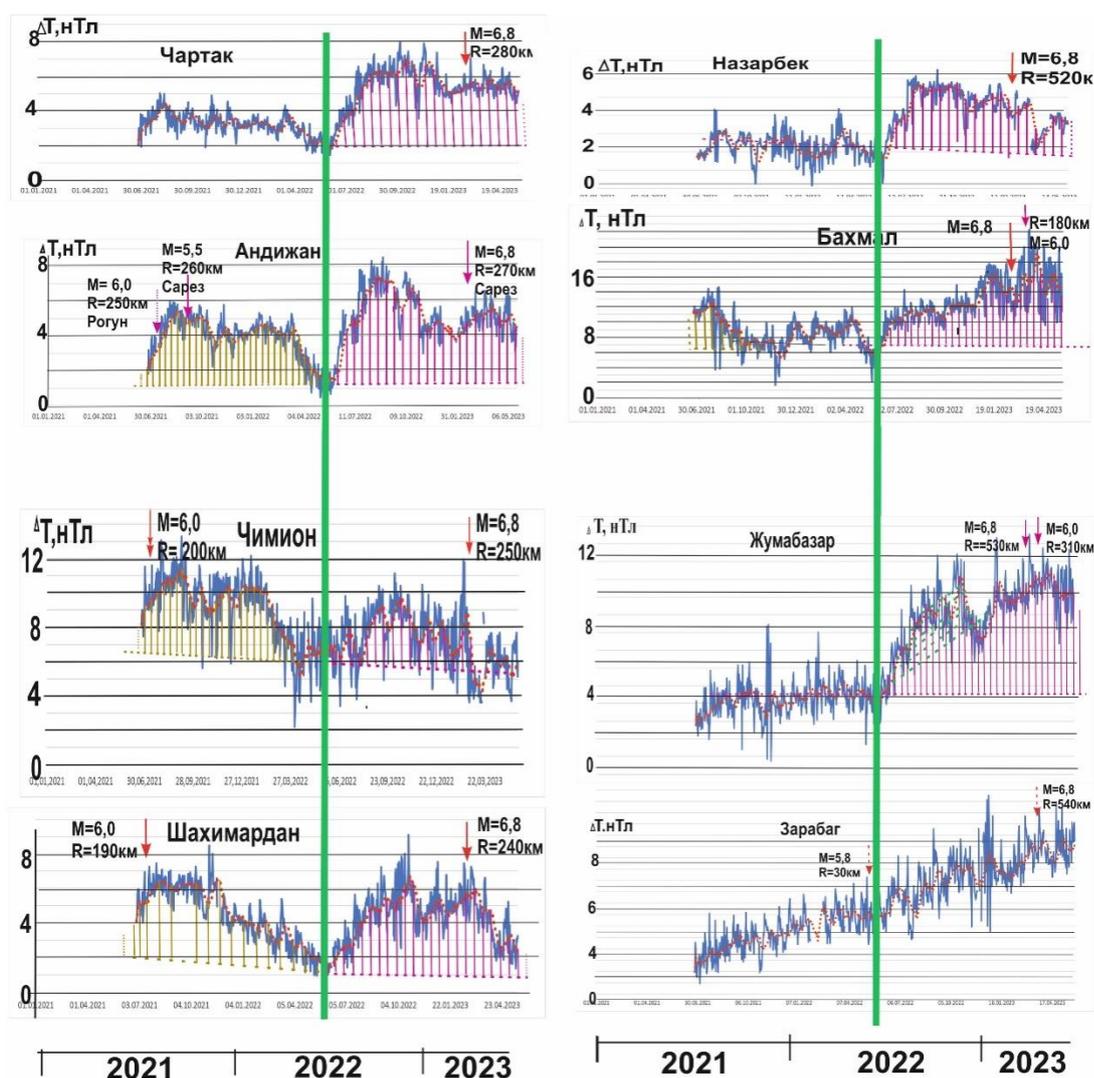


Рисунок 6. Синхронное проявление предвестниковой аномалии на 7-ми магнитометрических станциях перед землетрясением вблизи озера Сарез 23.02.2023 г. с $M=6,8$. Зеленый столбик соответствует началу проявления предвестниковых аномалий.

Заключение. 1. По фактическим случаям наблюдаемых предвестниковых аномалий землетрясений геомагнитного поля на ст. Чимион установлена повышенная чувствительность этой станции только на те землетрясения, которые происходят в том же блоке VI ранга, где и сама станция расположена.

2. Одновременное проявление предвестников на различных блоках VI ранга может являться прогностическим критерием возможности возникновения сильнейшего ($M \geq 6,8$)

землетрясения в регионе, так как в формировании предвестникового сигнала землетрясений с $M \geq 6,8$ задействованы гораздо большие напряжения, вызываемые взаимоотношением структур более высокого ($\geq V$) ранга.

3. Выявленные особенности проявления геомагнитных предвестников на разноранговых сеймотектонических единицах – фактическое доказательство правомочности ранее высказанных выводов ведущих ученых-сейсмологов об ответственности определенного ранга сеймотектонических единиц в возникновении землетрясений определенной силы.

Литература

- 1.Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. - Т.: Фан, 1989.- 232с.
- 2.Муминов М.Ю. Пространственно-временные особенности проявления сейсмамагнитного эффекта в Узбекистане и их использование в прогнозировании землетрясений: Автореф. дисс... канд. физ.-мат. наук. - Т., 1990. - 18 с.
- 3.Муминов М.Ю. Типизация геомагнитных предвестников землетрясений // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - Т.: ИС АН РУз, 2012. - №9. - С. 26-35.
- 4.Абдуллабеков К.Н. Глобальные, региональные и локальные особенности проявления сейсмической активизации // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - Т.: ИС АН РУз, 2006. - №3. - С. 5-11.
- 5.Муминов М.Ю., Ганиев А.У., Мирзоев М.З., Жабборов У.Ч. Возможности магнитометрической станции Чимион в прогнозировании землетрясений // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - Т.: ИС АН РУз, 2023. - №1. - Т.5. - С.28-40.
- 6.Атабеков И.У., Садыков Ю.М. Напряженное состояние земной коры Западного Тянь-Шаня в Центральной Азии (Узбекистан): Математическое моделирование // Геотектоника. - 2022. - №3. - С. 50-65. DOI:10.31857/S0016853X22030031.
- 7.Садовский М.А., Негматуллаев С.Х., Нерсесов И.А., Сковородкин Ю.П. Тектономагнитные исследования на Душанбинском и Гармском полигонах // ДАН СССР. - 1979. - Т. 249. - № 2. - С. 326-329.
8. Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И. Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием // Геология и минеральные ресурсы. -2015.-№6.-С.36-40.

Абдуллаев А.У.¹, Усупаев Ш.Э.²

1-ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК, г.Алматы

2-Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г.Бишкек
u.abdullaev@mail.ru; sh.usupaev@caiag.kg

«ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОД ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ»

Аннотация. В докладе рассматривается роль и влияние внутриконтинентальных водоемов (озер) и режим изменения уровня вод как отражение планетарных, тепловых, климатических и гидрологических факторов. В современную эпоху в аспекте возникновения различных катастрофических явлений, георисков и экологических проблем отдельно рассматривается динамика изменения уровня вод во внутриконтинентальных озерах (Иссык-Куль, Балхаш, Байкал и др.). На примере уникального горного озера Иссык-Куль, находящегося внутри пояса современного горообразования, где происходит с высокими темпами контрастные вертикальные и горизонтальные смещения отслеживаются факторы изменения его уровня за последние 3 века. Установлено, что за последние столетия вокруг горного обрамления происходили мощнейшие в мире катастрофические землетрясения с магнитудой до $M=8,4$. При этом очаговые зоны многих из них находились и реализовались непосредственно на территории Иссык-Кульской впадины. На общем устойчивом тренде последовательного снижения за

последние 200 лет авторы убедительно показывают влияние крупных землетрясений на формирование режима вод в этом водоеме. Предполагается, что выявленные закономерности послужат основой развития новых методов долгосрочного прогноза землетрясений в Казахстане и Кыргызстане.

Summary. The report examines the role and influence of inland water bodies (lakes) and the regime of water level changes as a reflection of planetary, thermal, climatic and hydrological factors. In the modern era, in the aspect of the occurrence of various catastrophic phenomena, georisks and environmental problems, the dynamics of changes in the water level in inland lakes (Issyk-Kul, Balkhash, Baikal, etc.) is considered separately. On the example of the unique mountain lake Issyk-Kul, located inside the belt of modern mountain building, where contrasting vertical and horizontal displacements occur at a high rate, the factors of changes in its level over the past 3 centuries are monitored. It has been established that over the past centuries, the most powerful catastrophic earthquakes in the world with a magnitude of up to $M = 8.4$ have occurred around the mountain frame. At the same time, the source zones of many of them were located and realized directly on the territory of the Issyk-Kul depression. Based on the general stable trend of gradual decline over the past 200 years, the authors convincingly show the influence of large earthquakes on the formation of the water regime in this reservoir. It is assumed that the identified patterns will serve as the basis for the development of new methods for long-term earthquake prediction in Kazakhstan and Kyrgyzstan.

Последние данные Всемирной метеорологической организации свидетельствуют о том, что глобальный средний уровень моря, который в период с 2013 по 2021 год поднимался в среднем на 4,5 миллиметра в год, а в 2021 году достиг нового рекордного показателя (Рис.1).

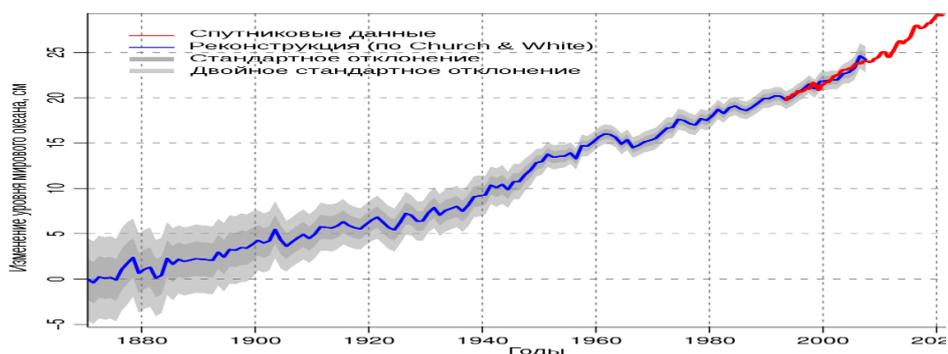


Рисунок 1. График повышения за последние 140 лет уровня воды в океанах и морях Земли

На рисунке 2 приведена модель «Карта затопления территорий разных стран Мира при подъеме уровня воды моря на 6 метров (Википедия) [1].

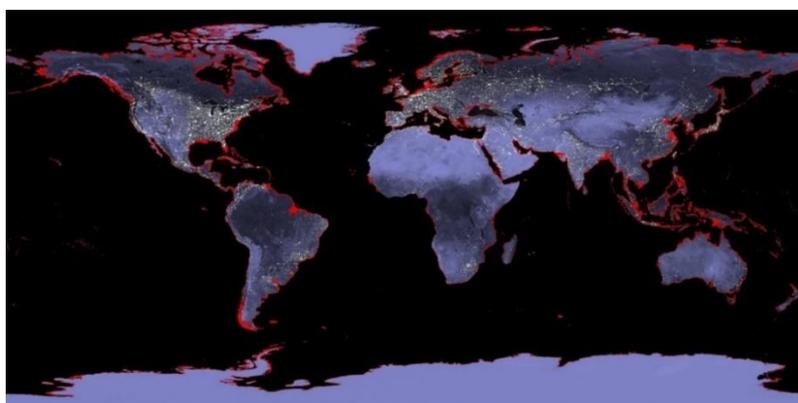


Рисунок 2. Карта-модель вероятного затопления территорий разных стран Мира при подъеме уровня воды моря на 6 метров (Википедия)

Установлено, что озера регулируют сток рек и климат прилегающих районов за счет тепловой инерции водной массы.

На рисунке 3 приведена сравнительная карта–схема конфигурации крупных озер Мира, по занимаемой площади на первом месте находится Каспийское море, а на 24 месте высокогорное соленое озеро Иссык-Куль.

Каспийское море, крупнейший в Мире бессточный замкнутый водоём, уникален по природно-климатическим условиям, размерам. Из Каспия не вытекает ни одна река; в то же время в него впадает более 130 рек, в т.ч. Волга, Урал, Терек. С 2006 года началась тенденция снижения уровня Каспийского моря. Средний уровень в 2016 и в 2017 гг. составил $-27,99$ м. За 2021 год снизился на 30 см, а по сравнению с 2005 г. снизился на 119 см ($-28,1$ м). Понижение уровня началось в 1978 году и 17 лет весьма интенсивно. В конце 1990-х годов уровень моря был на 26,7 метров ниже уровня Мирового океана опустился на 1,5 метра и находится на отметке $-28,18$ м. В 2019 году падение уровня было на 15 см из-за маловодности. Выявлены были 40-летние, 60-летние, 135-летние циклы колебания уровней воды в озере. Ожидается по прогнозам до 2040 года. снижение уровня до 29 метров от уровня Мирового океана [1].

На рисунке 3 представлена “Карта стран Мира в сфере воздействия Каспийского моря (озера), снижение уровня которого непосредственно влияет на социально-экономическое развитие окружающих стран и возможно, является взрывоопасной к 2040 году.



Рисунок 3. Карта стран Мира в сфере воздействия Каспийского моря (озера)

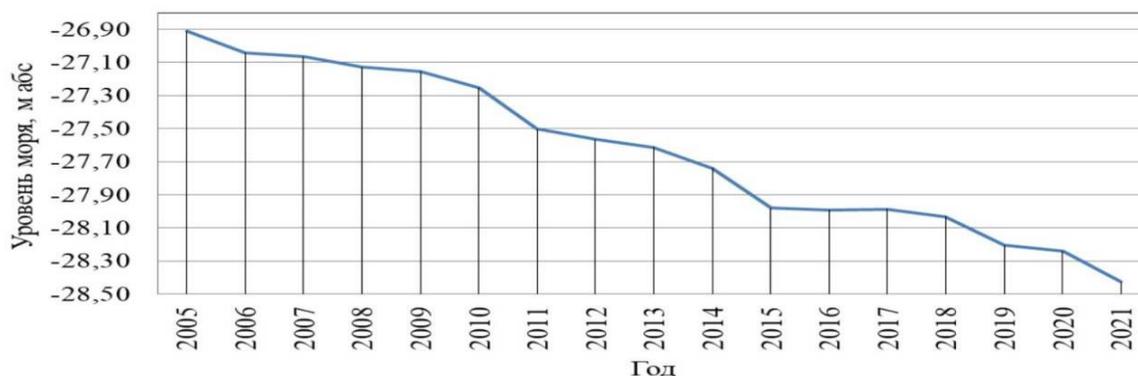


Рисунок 4. График многоступенчатого снижения уровня Каспийского моря (озера)

Каспийский регион в сейсмическом отношении является опасным, особенно в его южной части, где проявляются землетрясения с $M = 8 \pm 0.2$. Предполагаются, что имеется вероятность ожидания во этом регионе, включая сушу, один раз в 216 лет, возникновения разрушительных землетрясений [3-11].

Исследования 3 озер: Байкал, Балхаш и Иссык-Куль позволяют проследить, длительные ряды наблюдений за уровнем воды в этих озерах в базе данных HYDROLARE.



Рисунок 5. Карта расположения и колебания уровней водыв различных озерах Азии
6 – Балхаш, 7 – Иссык-Куль, 8 – Байкал

Озеро Байкал. По мнению ведущих ученых, бессточное озеро Байкал - самое глубокое озеро на планете глубиной 1642 м, полагают, что это зарождающийся океан (рифтообразование), который расширяется на 2 см в год. Он представляет собой самый крупный резервуар пресной воды в мире (23 615 км³), что составляет 19% мировых запасов озерной пресной воды. Общая площадь зеркала занимает 2160 км². С 2014 – 2015 года в результате снижением уровня воды по реке Ангара уровень воды в озере стал падать. Уровень колебания 2 м 31 см. Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, приводит к ущербу объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия и Иркутской области [16-17]. .

Здесь выявлены следы проявлений катастрофических землетрясений до 11–12 баллов. В горном обрамлении в зоне влияния озера Байкал ежегодно регистрируются более 3 тыс. землетрясений в год магнитудой от 1,7 до 7,8. Они преимущественно активны на восточном берегу разлома оз. Байкал: в районе дельты р. Селенги и острова Ольхон, а также в юго-западной части полуострова Святой Нос. Очаги крупных землетрясений находятся на глубинах 12–22 км

Первые стационарные наблюдения за уровнем режимом Байкала были организованы Б. И. Дыбовским в 1869 году. Более широкая сеть водомерных постов на Байкале сформировалась в начале XX века. Установленное, что изменения уровней воды на Байкале вызвано двумя причинами. Первая – это колебания приходно-расходных статей водного баланса, т. е. изменение объема воды в озере, что вызывает долговременные, равномерные повышения и понижения уровня. Вторая – обусловлена денивеляцией уровня за счет ветровых сгоннонагонных явлений, перепадов атмосферного давления, сейшей, приливов и отливов и др., вызывающих обычно кратковременные колебания уровней.

В годовом ходе уровней воды Байкала отмечается начало подъема в апреле-мае из-за резкого увеличения стока впадающих в него рек в период весеннего половодья. Далее уровень воды продолжает расти за счет летних паводков и достигает максимального значения в конце августа – начале октября. Затем, вследствие уменьшения стока рек в течение зимних месяцев, происходит снижение уровня, продолжающееся до апреля. По данным, за многолетний период наблюдений в среднем максимальный уровень приурочен к сентябрю, а минимальный – к апрелю. Амплитуда сезонных колебаний уровней воды Байкала составляет 80–100 см. Максимальная амплитуда составила 217 см. Согласно дендрохронологическим исследованиям Г.И.Галазия (1987), амплитуда вековых колебаний уровня за последние 500 лет не превысила 250 см. Падение уровня воды в континентальных озерах связано в основном с колебаниями уровня Мирового океана. Это общеизвестная планетарная закономерность.

Надо отметить, что уровень Байкала за последние пять веков снижается. Высокие исторические горизонты воды, которые повторяются один раз в 65—70 лет, стали на полметра ниже, чем они были 500—600 лет назад. За последние 100 лет изменения уровня имеют максимальную амплитуду 217 см. Особенно заметно снижение уровня воды в озере за последние 10—15 лет. Ввиду очень сложной картины изменения уровня озера Байкал и его регулирование каскадом Братских ГЭС и стоком р.Ангара, очень трудно отслеживать изменения уровня воды под влиянием крупных и умеренных землетрясений ($M \geq 6$), происходящих в его горном обрамлении. Поэтому представляется весьма затруднительной задачей для практического использования этого фактора для прогноза сильных землетрясений.



Рисунок 6. Высотное положение озера Байкал на фоне Мирового океана и Каспийского моря. Озеро Иссык-Куль значительно выше (1606 м)

Озеро Балхаш. Самое большое в Азии бессточное озеро Балхаш расположено в юго-восточном Казахстане. Он имеет размеры: длина – 614 км, максимальная глубина 26,5 м. Поверхность зеркала воды –18 200 км². Объем воды 106 км³ (рис.7) [6].



Рисунок 7. Озеро Балхаш (аэрокосмический снимок)

Наличие высокогорных хребтов на юге, юго-востоке и востоке территории и низкорного рельефа на севере и западе определяет основное направление стока от окраинных районов к его центру. Большинство рек течет с юго-востока на северо-запад. Более 90 % всего количества рек относятся к бассейну оз. Балхаш, остальные - к бассейну Алакольской группы озер. Многие реки, не доходя до озер, теряются в песках. Все большие озера (Балхаш, Алаколь, Сасыкколь), а так же большинство мелких озер расположены в центральной пониженной части территории этого бассейна (рис.8).



Схема гидрогеологического районирования Балхаш-Алакольского региона:
 1 – гидрогеологические массивы: I – Тарбагатай, II – Жетысуского Алатау, III – Северного Тянь-Шаня; 2 – артезианские бассейны межгорных впадин: IV – Балхашской, V – Алакольской, VI – Лепсинской, VII – Илейской

Рисунок 8. Схема гидрогеологического районирования Балхаш-Алакольского региона

Озеро Балхаш относится к числу крупнейших бессточных озер Азии. Большой размах внутривековых и вековых колебаний водного баланса и уровня озера существенно изменяет его морфометрические характеристики. Циклические колебания уровня воды и положения береговой линии, стонно-нагонные явления, сильные ветры и волнения наносят существенный ущерб народному хозяйству и населению прибрежной полосы. Строительство Капшагайского ГЭС на р. Или и развитие орошаемого земледелия в бассейнах южных притоков Балхаша внесли огромное изменение в водный баланс и уровень озера. По многолетнему разрезу изменений уровня озера Балхаш можно выделить два периода: условно-естественный (1937-1969 гг.) и с 1970 по 2008 гг. период, в который проводилось возведение и заполнение Капшагайского водохранилища (рис.9).



Рисунок 9. График средних месячных уровней воды озера Балхаш и средних месячных осадков по МС о.Алгазы за 1937-2008 гг.

На обзорной карте тектонического строения и расположения озера Балхаш хорошо видно, что это озеро в своем северном, восточном и южном направлении опоясывается достаточно активными сейсмогенными структурами в горных сооружениях и само находится в центре межгорных впадин (*Балхашской, Лепсинской, Алакольской*). Очаговые зоны крупных землетрясений находятся в горных сооружениях на значительном удалении (*сотни км*) от самого озера Балхаш. Поэтому точные определить влияния последних на изменение уровня воды озера в условиях отсутствия вековых данных за исторический период наблюдения не представляется возможным или весьма затруднительным.

С 1995 года в течении 25 лет до 2020 года *уровень озера Балхаш* не снижался ниже отметки 341 м; среднегодовой *уровень озера Балхаш* составляет 341,73см. Озеро мелеет из-за снижения поступления воды от р. Или. Существует риск, что Балхаш повторит сценарий Аральского моря (рис 10).



Рисунок 10. Балхаш — бессточное полупресноводное озеро в Балхаш-Алакольской котловине на юго-востоке Казахстана, второе по величине непересыхающее солёное озеро (после Каспийского моря) и 14-е в списке крупнейших озёр мира

Озеро Иссык-Куль. Иссык-Куль – одно из крупнейших горных озер мира тектонического происхождения. Оно расположено на Северном Тянь-Шане в северо-восточной части Кыргызстана. Площадь озера составляет – 6236 км², длина – 178 км, наибольшая ширина – 60 км, глубина – до 668 м, средняя глубина – 278 м, объем воды – 1738 км³. В озеро впадает более 50 рек, общий годовой сток, которых превышает 3 км³. Наиболее крупные реки – это Джергалан (средний годовой расход воды в устье – 22 м³/сек) и Тюп. Площадь бассейна Иссык-Куль составляет около 21900 км². За 1911—1929 гг. уровень озера Иссык-Куль снизился на 3,5 м.[7-14].

Озеро Иссык-Куль традиционно считается бессточным. Только И.В. Мушкетов в 1887 году высказал предположение, что причиной интенсивного снижения уровня озера может быть подземный отток из озера под Боомским ущельем в Чуйскую впадину, расположенную ниже озера на 1200 м. Точку зрения разделяли другие крупные ученые (А.Н. Краснов, Л.С. Берг). По сообщению местных жителей интенсивное снижение уровня озера началось после катастрофического Кеминского землетрясения в 1911 году.

Скорость регрессии озера очень резко увеличилась в послетюпское время, что нашло отражение в интенсивном врезании современных долин, выполненных отложениями кутмалдинского комплекса (Q4). Этот врез прослеживается и в подводном рельефе (Бондарев, 1962, и др.) до глубины 100—150 м. Затем происходит поднятие уровня озера до высоты 1622—1623 м (Трофимов А.К.). Колебания уровней воды в океанах, морях, озерах приведенных, в т.ч. на примере оз. Иссык-Куль связаны в целом следующими причинами:

- а. антропогенная забор воды на орошение из питающих озеро рек;
- б. климатическое падение уровня в бассейне озера;
- в. тектоническое прогибание озерной ванны;
- г. гидрогеологический подземный отток из озера за пределы котловины;
- д. гидрографическое разобщение озера с рекой Чу.

Уровень воды в Иссык-Куле циклически меняется (то поднимается, то опускается); цикл происходит в течение нескольких десятилетий. Реки Иссык-Кульской котловины имеют снего-ледниковое питание. С 1929 по 1998 годы уровень зеркала воды озера снизился на 3,6 м, далее до 2011 года был подъем воды на 1,1 м.

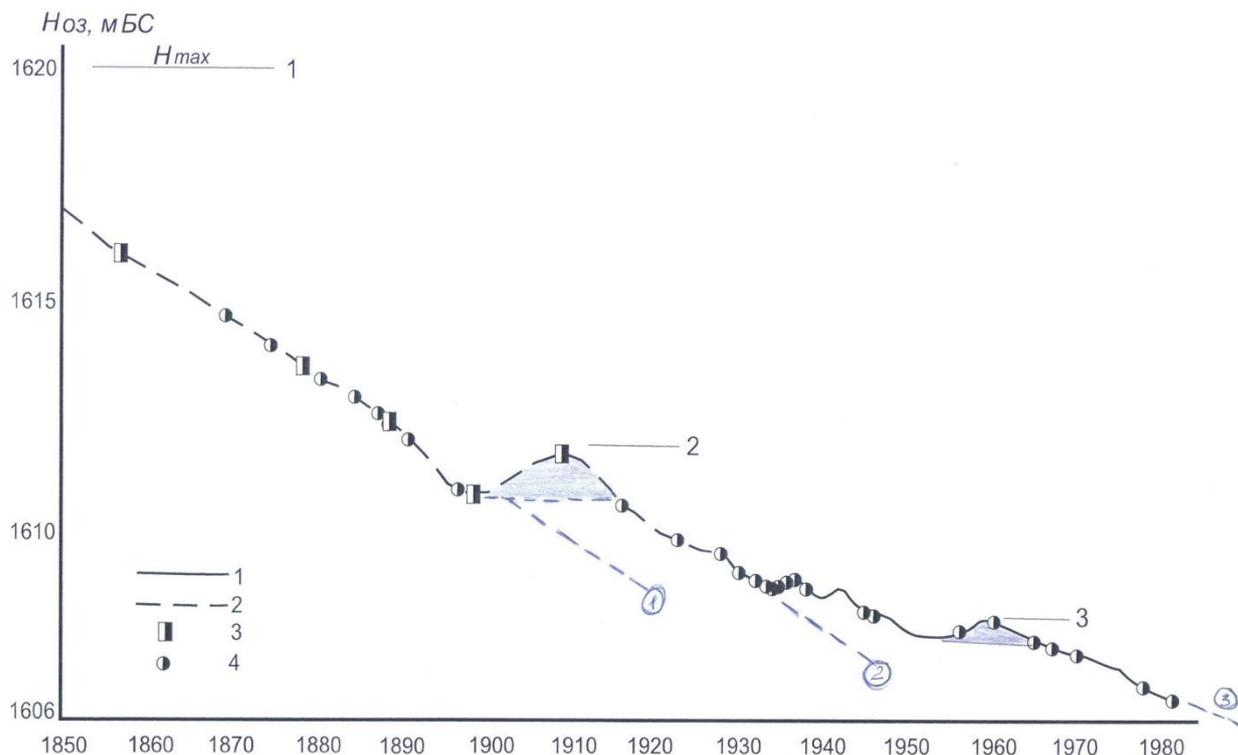


Рисунок 11. Многолетний ход уровня озера Иссык-Куль.
 1-измеренные уровни озера, 2 - восстановленные по историческим данным,
 3 - исторические уровни, 4 - годы сильных землетрясений.

Рисунок 11. График хода изменения уровня зеркала воды озера Иссык-Куль за последние три столетия

Из рис. 11 видно, что прослеживается начальное положение озера Иссык-Куль до 1850 г., где был зафиксирован максимальный уровень H на уровне 1620 м – первый уровень. Вторым исторический уровень 1617 м отмечается в 1858г. Далее с четким трендом снижения в 1889 г. отмечается наименьшее значение -1611м. Когда произошло самое крупное Чиликское землетрясение с $M=8,3$, затем в течение 10 лет от этого уровня до 1900 г. происходит непрерывный подъем уровня озера до отметки 1617 м, этот подъем продолжается до 1911 г. После этого произошло второе катастрофическое Кеминское землетрясение с $M=8,2\pm 2$ мирового уровня в январе 1911 г. По архивным данным [1,2] старожилы Иссык-Куля хорошо помнят, что до Кеминского землетрясения происходил постоянный подъем уровня грунтовых вод, а после катастрофы началось стабильное снижение уровня воды в озере до 1930 г. доходя в 1938 г. отметки 1608,8 м. После некоторой стабилизации уровня воды в озере в течение 8 лет произошло в западном окончании озера Кеминско-Чуйское землетрясение с $M=6,9$ (рис. 12). Следующий подъем отмечен в 1960 г. на уровне 1608,3 м. (третий горизонтальный подъем). После этого формируется достаточно стабильное снижение, которое, возможно, обусловлено, наряду с другими планетарными и локальными факторами реализацией целого ряда сильных землетрясений в восточной части озера в горных обрамлениях Кунгей Алатау: Сарыкамьшское $M=6,8$, 1970г., Жаланашское $M=7,1$, 1978г., Байсорунское $M=6,4$, 1990г. (рис.12).



Рисунок 12. Обзорная карта крупнейших сейсмических событий на Северном Тянь-Шане за последние 120 лет.

- 1-Сейсмогенерирующие зоны, 2-Кемин-Чуйское (M=6,9, 1938), 3-Верненское (M=7,3, 1887), 4-Кеминское (M=8,2, 1911), 5-Байсорунское (M=6,4, 1990), 6-Чиликское (M=8,3, 1889), 7-Заланащское (M=7,1, 1978), 8-Сарыкамышское (M=6,8, 1970)

Чтобы выяснить воздействия произошедших землетрясений на изменения уровня озера Иссык-Куль вернемся к подготовке и реализации Кеминского землетрясения 1911 г. Озеро в этот период до сейсмической катастрофы оказалось в пределах развития очаговой области размерами 200X100 км [1,2]. В условиях тектонического сжатия на этом этапе уровень (Н) озера Иссык-Куль постоянно повышался. Необходимо отметить, что уровень озера Иссык-Куль в 1911 г. у разных исследователей по разному. Однако на основании исторических данных он большинством авторов принимается в значении 1611,6 м.

Таблица 1. Скорость изменения уровня воды в озере (Н) за период 1889-1923 годы (по данным Кривошей М.И., 1989 г.)

	Изменения Н, см.	Скорость изменения, см/год	Отток по водному балансу из озера
1889-1896 – за 6,6 лет	- 100 см	- 15 см/год	
1896-1911 – за 14,8 лет	+ 30 см	+ 2 см/год	13 м ³ /сек
1911-1916 – за 5,2 года	- 90 см	- 17 см/год	59 м ³ /сек
1916-1923 – за 7,2 года	- 68 см	- 68 см/год	

Таким образом, аномалии образующими факторами разрушительных землетрясений в изменении уровня озера Иссык-Куль является дополнительное увеличение стока поверхностных и подземных вод, впадающих в озеро, в условиях регионального тектонического сжатия и в тоже время резкого уменьшения оттока воды из озера в ее восточной части под р.Чу из тектонических трещин. Судя по количественным расчетам баланса воды в озере, пожалуй, последний фактор является главным. Этот же фактор подтверждается тем, что после сильных землетрясений резко снижается поверхностная часть, и главное резко падает уровень воды в озере, т.к. в условиях сменившегося геодинамического режима сжатия наступает этап тектонического растяжения, в результате чего глубокие разломные трещины под озером в восточной части раскрываются на значительную величину, о чем свидетельствует скорость и объем снижения воды за 16 лет от 13 м³/сек до 59 м³/сек.

Глубокая фильтрация вод из озера Иссык-Куль попадает в реку Чу в районе Боомского ущелья и Чуйской впадины в силу различия их высотного положения. Разность между отметками уровня в Иссык-Куле и в реке Чу составляет 318 м на выходе из

Боомского ущелья и 946 м у гидрологического поста Милянфан. При условии, что река Чу является естественной дренаж, в нее неизбежно вместе с грунтовыми и подземными водами должны попасть и фильтрующиеся воды Иссык-Куля. С запада Иссык-Кульская котловина ограничена Караташским порогом стока, на пути фильтрационных вод. Фильтрационные воды, упираясь в Караташский порог, выклиниваться на поверхность, в русло Чу, и только незначительная их часть может уходить в сторону Чуйской долины, просачиваясь по трещинам в скальных породах. Второй участок возможной разгрузки вод из Иссык-Куля район тектонических нарушений по Кеминскому разлому, выше слияния рек Чу и Чон-Кемин. Тектоническая активность этого района должна способствовать разгрузке глубоких подземных вод. Третья зона возможного выклинивания Иссык-Кульских вод находится в районе г.Токмока, где внутренние поперечные поднятия создают подпор подрусловому потоку р.Чу, способствуя его выклиниванию на поверхность и образованию болот. Выше Токмока до с.Чонг-Кемин распространена так называемая “провальная зона”, где происходят большие потери вод на фильтрацию из русла р.Чу. Фактическое понижение уровня на 1995 г. составило 0,7 м. на период 1978-1995 гг. понижение уровня составило 0,3 м.

На рисунке 13 приведены рассчитанные изменения уровня воды в озере Иссык-Куль с 2007 г. до 2050 г. [13]. Рисунок 13 дополнен и приведен составленный авторами «Инженерно-геономический график сравнительной оценки, мониторинга и прогнозирования взаимосвязей колебания уровней водоема с сейсмическим режимом активизации и снижения энергии землетрясений в Кыргызском Тянь-Шане».

На верхнем графике красными штриховками выделены фазы активизации, зелеными снижения сейсмического режима. Максимальному состоянию уровня воды в озере Иссык-Куль соответствует снижение сейсмичности, аналогично и при наименьшем уровне зеркала воды водоема. Фазы активного проявления землетрясений происходят перед достижением максимума уровня в озере, а также перед минимумом, а также при относительной стабилизации хода уровня воды в озере. При этом, повышение уровня воды в океанах и морях показанные голубыми линиями имеют противоположный тренд по сравнению с понижением уровня воды в озере из двух представленных графиков по прогнозам поведения уровня воды, наиболее вероятным представляется нижний, на основе анализа верхнего графика (рис.А,Б).

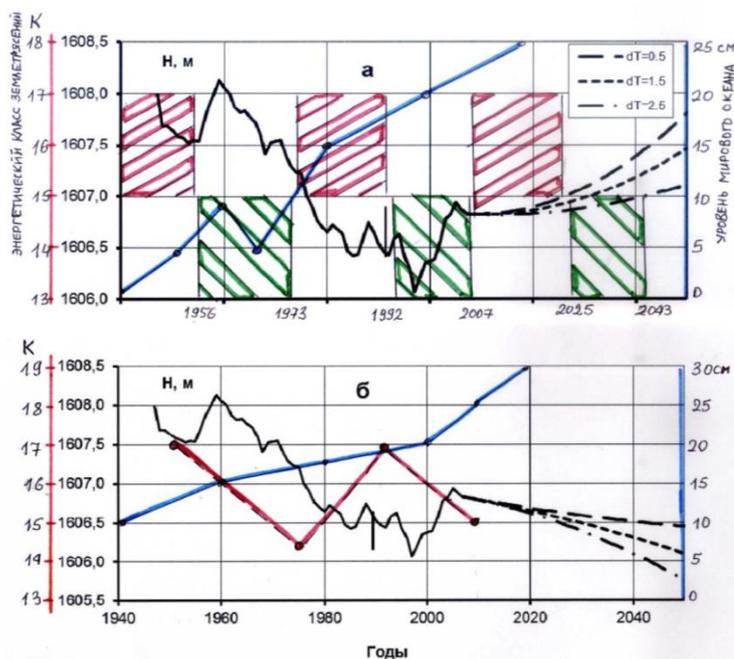


Рисунок 13. График сравнительной оценки, мониторинга и прогнозирования взаимосвязей колебания уровней водоемов на примере озера Иссык-Куль с сейсмическим режимом активизации и снижения энергии в Северном Тянь-Шане

Отметим, что с 2011 года по 2021 год произошло снижение уровня озера на 0,95 м, что обусловлено как климатическими, так и антропогенными факторами. Кривая хронологического хода уровней воды оз. Иссык-Куль напоминает аналогичный график для оз. Балхаш: длительная фаза спада до 1999 г. (падение уровня на 2,5 м.) и затем фаза подъема. Однако в отличие от оз. Балхаш, к 2016 г. уровень не восстановился, а поднялся всего на 0,8 м. В течении 78 лет с 1926 до 2004 постепенное падение уровня озера составило на 2.42 м, т.е. 0,031 м/год. Поднятие быстрого зафиксировано с 1956-1960 и с 1999 до настоящего времени (2004), что соответствует фазам снижения сейсмической активности. Уровень воды озера максимальная в августе-сентябре и минимальная в январе-марте, разница (лето-зима) составляет примерно 0.2-0.3 м.

По изложенным данным можно констатировать, что крупные землетрясения в эпицентральной зоне находятся в тесной связи с притоком поверхностных и подземных вод в озеро со сдвигом на 16 лет от даты землетрясения и изменением уровней грунтовых вод в режимных скважинах и водопунктах Иссык-Кульской впадины.

Проведение корректного мониторинга на основе детального расчета указанных выше глобальных, региональных и местных факторов, по нашему убеждению позволяет разработать достаточно точные алгоритмы долгосрочного прогноза крупных землетрясений в восточной части Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенерирующей зоны (Кыргызстан, Казахстан).

Выводы. На примере внутриконтинентального горного озера Иссык-Куль установлена прямая связь гидросферы с очагами и глубиной реализации крупных землетрясений ($M \geq 6$), что является закономерностью для водоемов, расположенных в тектоническо-активных сейсмичных районах.

1. Подземный отток по тектоническим разломам из замкнутых водоемов характерно для озера Байкал, Каспийского моря и Балхаш. В водных балансах этих водоемов содержится невязки, свидетельствующие об оттоке из водоемов через тектонические трещины. Величина этого оттока напрямую зависит от мощности и глубины очагов землетрясения и геодинамического режима, которые обуславливают образование уровни воды в водоемах.

2. Прослежены на базе исторических и литературных источников оценки изменений уровня режима крупных озер, в т.ч оз Иссык-Куль в условиях изменения климатической ситуации последних десятилетий, которые имеют тренды относительных колебательных режимов внутриконтинентальных водоемов.

3. Установленные закономерности позволяют разработать новые подходы к долгосрочному прогнозу крупных землетрясений в сейсмоактивных горных областях.

Литература

1. Абдуллаев А.У. Флюидный режим земной коры как отражение современных геодинамических процессов (на примере Тянь-Шаня) г. Алматы, 2002 г., 352 с.

2. Абдуллаев А.У. Прогноз катастрофических землетрясений по аномалиям флюидного режима земной коры. Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Бишкек, Москва, 2009, с.148-154

3. Ачкасов П.В., Усупаев Ш.Э. Гипотеза ударного преобразования планет Солнечной системы на примере Земли. Материалы международной конференции «Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе». 18-19 декабря 2000 г. Бишкек, 2000. - С. 139-145.

4. Усупаев Ш.Э. Единая теория поля палеопрочности системы «Земля-Небесные тела-Мироздание». НОВЫЕ ИДЕИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ / Труды Международной научной конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.) // Под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королёва – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. 334 с. С.155 – 165.

5. Белоусов В.В., Вихерт А.В. / Под. ред. Вопросы геонимии (Кора и верхняя мантия). - М.: Изд. МГУ, 1972. - 240 с.

6. Богословский Б.Б. Озероведение. - Изд-во МГУ, 1960, 335 с.

7. Большаков М.Н. Против антропогенной гипотезы понижения уровня озера Иссык-Куль в XX столетии // Изв. АН Кирг. ССР. – 1982. - № 4, - С. 20-25.
8. Глазырин Г.Е., Стависский Я.С., Шабунин Г.Д. Новый подход к изучению водного баланса оз. Иссык-Куль. – Тр. САРНИГМИ, 1980, вып. 77(158), с. 57-63.
9. Романовский В.В. Ход уровня озера Иссык-Куль до 2000 года и влияние на него хозяйственной деятельности // Прибрежная зона озера Иссык-Куль. – Фрунзе: Илим, 1979. – С. 34-50.
10. Романовский В.В., Кузьмиченок В.А., Маматканов Д.М., Подрезов А.О. Все об озере Иссык-Куль в вопросах и ответах. Бишкек, Изд. Кыргызско-Российского славянского университета, 2005. – 406 с.
11. Хейфец М.Н. Причины понижения уровня озера за последние десятилетия. – В кн. Озеро Иссык-Куль. –Фрунзе, Илим, 1978. – С. 117-121.
12. Кузнецова М. Р. Оценка изменений уровня режима крупных озер мира в условиях изменения климата. Выпускная квалификационная работа. Санкт-Петербург 2019 76 с.
13. Вуглинский В.С., Журавлев С.А., Трушевский В.Л. Методические указания к практикуму по воднобалансовым расчетам. СПб: Изд-во С.-Петерб. Ун-та. 2012, 60 с.
14. Шабунин А.Г. Анализ климатических изменений в бассейне озера Иссык-Куль. В сборнике. «ДИСТАЦИОННЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ “Бишкек: Изд-во «City Print», 2016. 216 с. С. 64 – 73.
15. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
16. Беркин А.А., Макаров А.А., Русинек О.Т. Байколоведение, учебное пособие. Иркутск, 2009. Глазый Г.И. Байкал в вопросах и ответах. Иркутск, 1987 г., 167с. Сейсмичность Тянь-Шаня. Фрунзе, 1989 г., 331с.
17. Сейсмичность Тянь-Шаня, Фрунзе «Илим», 1989, 331с.

Ариффулова И.И., Суровцева Н.В., Нью В.А., Диханбаев А.Н.
ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

СЕЙСМОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ: ВИДЫ НАБЛЮДЕНИЙ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА

Аннотация. В работе приведен обзор методов наблюдения и обработки сейсмобиологической информации, применяемых в настоящее время в сейсмоопасных регионах Республики Казахстан. Приводятся результаты анализа эффективности биопредвестников в краткосрочном прогнозе землетрясений за пятилетний период.

Summary. The paper provides an overview of the methods of observation and processing of seismobiological information currently used in seismically hazardous regions of the Republic of Kazakhstan. The results of the analysis of the effectiveness of bioprecursors in the short-term forecast of earthquakes over a five-year period are presented.

Во всех странах мира, расположенных в сейсмически опасных регионах, проблема обеспечения безопасности населения при угрозе землетрясений является важной социально-экономической задачей. Основой прогноза землетрясений является организация в сейсмически уязвимых регионах системы сейсмологических наблюдений (сейсмомониторинга) и разработки методов обнаружения процесса подготовки землетрясений. Сейсмобиомониторинг – один из методов комплексного прогноза сейсмических процессов в Казахстане, за основу которого взяты аномалии в поведении животных, формирующиеся под влиянием физических факторов среды обитания в период сейсмической активизации на территории или вблизи очага землетрясения.

В мировой литературе имеется немало сведений о необычном поведении животных накануне сильных и разрушительных землетрясений. Информация эта получена, главным образом, от населения районов, в которых происходили сейсмические катастрофы.

Ретроспективные материалы дают ценные сведения о животных – представителях различных систематических групп, о магнитудах сейсмических событий, эпицентрах и распределении гипоцентров землетрясений, предвалявшихся биопредвестниками [1].

Эффективность сети биологических наблюдений зависит от информативности используемых в системе сейсмобиомониторинга методов наблюдений и аппаратуры. При разработке прогностических критериев на основе данных наблюдения за поведением животных в зонах сейсмического риска под информативностью следует понимать извлечение максимального объема полезной информации о необычном поведении биологических объектов, полученной различными методами на ранних этапах формирования аномалий в период подготовки землетрясений.

До настоящего времени в Республике Казахстан функционировало 4 биостационара (один из них на территории города Алматы) и один пункт наблюдения (Рисунок 1). Однако, ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК ведет работы по расширению сети сейсмобиомониторинга: в 2022–2023 гг. на базе кинологических служб ГУ «Республиканский оперативно-спасательный отряд» МЧС РК (далее «РОСО» МЧС РК) были организованы пункты биологических наблюдений в Алматинской и Восточно-Казахстанской областях.

Выбор объектов для сейсмобиомониторинга осуществлялся на основе анализа исторических материалов о чувствительности отдельных групп животных к воздействию природных факторов и поведению до и во время сейсмических событий, особенностей биологии, экологии и распространения животных различных видов, удобства содержания в неволе. Таким образом, на каждом биостационаре был определен стандартный видовой и количественный состав животных с целью получения сопоставимых данных в разных точках биополигона. На биостационарах содержатся 2 вида змей (восточный удавчик и узорчатый полоз), 3 вида ящериц (разноцветные и быстрые ящурки, сцинковые гекконы), 1 вид рыб (мешкожаберные сомики), 3 вида птиц (волнистые попугайчики, голуби, куры-бентамки), 1 вид млекопитающих (кролики норного и клеточного содержания). В пунктах наблюдения кинологических служб ГУ «РОСО» МЧС РК ведутся наблюдения за служебными собаками.

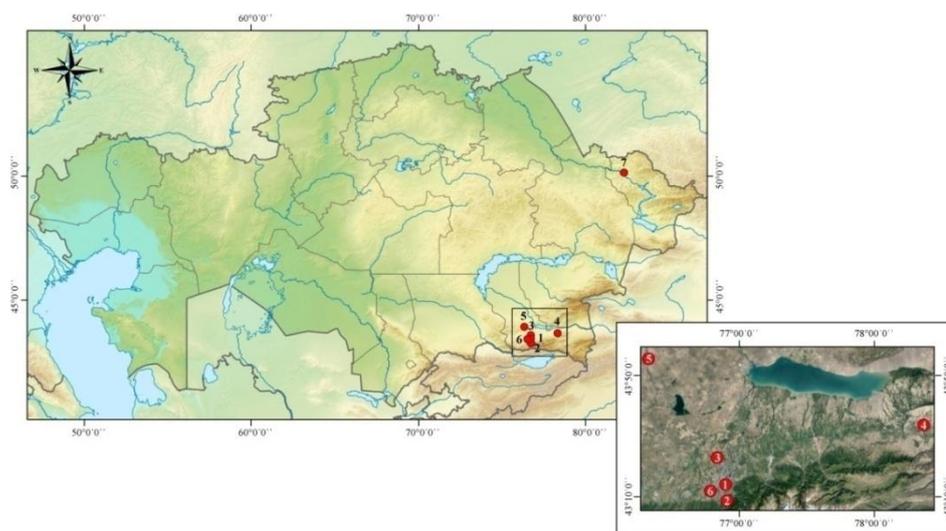


Рисунок 1 – Карта сейсмобиополигона в Казахстане

Биостационары: 1 – «Ботсад», 2 – «Казачка», 3 – «Бурундай», 4 – «Чилик». Пункты наблюдения: 5 – «Курты», 6 – Кинологическая служба МЧС РК Алматинской области, 7 – Кинологическая служба МЧС РК Восточно-Казахстанской области

Наблюдение за животными на биополигоне проводится с использованием визуальных, автоматизированных и аппаратурных методов (рисунок 2). Результаты наблюдений со всех биостационаров и пунктов наблюдения ежедневно передаются в лабораторию сейсмобиологии ТОО «Институт сейсмологии» для обработки и анализа.

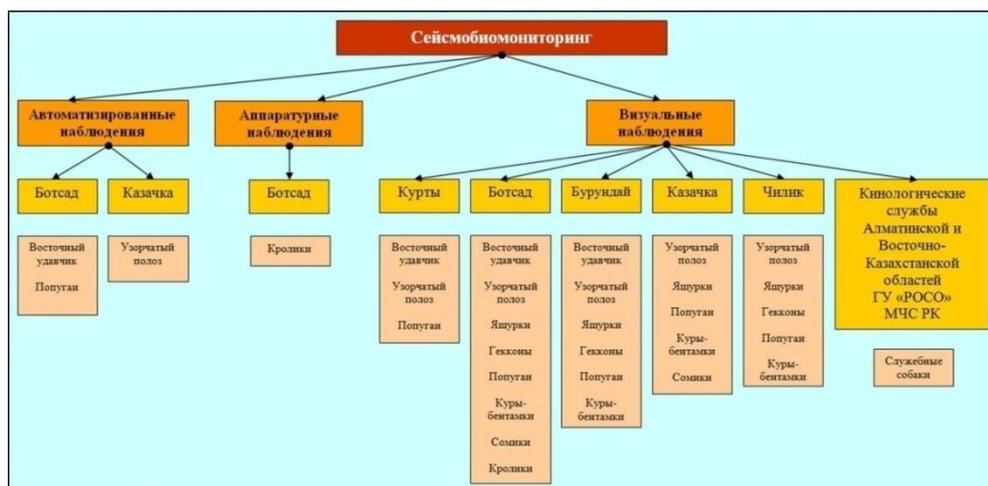


Рисунок 2 – Схема сети наблюдений за поведением животных в Казахстане

Автоматизированные методы наблюдения. При помощи автоматизированных методов регистрируется двигательная активность змей и волнистых попугайчиков. Под наблюдением находятся 2 вида змей (восточный удавчик, узорчатый полоз) и один вид птиц (волнистые попугайчики). Для регистрации двигательной активности птиц используется специальный прибор с механическим контактным датчиком, фиксирующий количество присаживаний птиц на жердочку [1, 2, 3, 4]. Регистрация двигательной активности змей в условиях террариума осуществляется бесконтактным способом с использованием фотодатчиков, фиксирующих количество «проходов» в различные отсеки террариума и время перемещения пресмыкающегося [4, 5, 6, 7]. Показания приборов снимаются один раз в сутки, заносятся в базу данных Excel и в дальнейшем подвергаются математической обработке и анализу.

Информативными параметрами как для птиц, так и для рептилий являются изменение амплитуды вариаций двигательной активности, рассогласование и инверсия суточного ритма. В этой связи, в основе исследований двигательной активности лежит изучение фоновой активности наблюдаемых групп животных, выделение аномальных вариаций, определение корреляционных связей между активностью животных и воздействием метеогеофизических полей.

Аппаратурные методы наблюдения. Объектами исследования являются кролики породы «Шиншилла». В эксперименте используются две модели наблюдений. Часть животных находится в норах глубиной около 2 метров, вырытых на территории вольера. Эти кролики ведут образ жизни, максимально приближенный к природному. Животные второй группы содержатся в условиях ограничения двигательной активности (гиподинамии) – в клетках, расположенных на территории того же вольера. Животные обеих групп круглый год находятся на открытом воздухе под воздействием естественных метеогеофизических полей. Совокупность всех животных рассматривается как единый «макрообъект» исследования [8].

Замеры электрической проводимости кожи в биологически активных точках (ЭП БАТ) проводятся в одно и то же время суток после отлова и 15–минутной адаптации. Всего в день регистрируется 27 показателей ЭП БАТ, что достаточно для получения статистически значимых значений. Информативными параметрами являются вариации исследуемого параметра.

Результаты измерений приборов (автоматизированные наблюдения) и экспериментальных замеров (аппаратурные наблюдения) подвергаются дальнейшей математической обработке, которая сводится к расчёту значений среднего квадратического

отклонения (σ). Выявляются аномалии, превышающие пороги 2σ (отклонения от фонового уровня) и 3σ (критический уровень, отражающий аномалии предвестникового характера).

Визуальные методы наблюдения. Визуальные наблюдения за поведением животных на сейсмобиостационарах осуществляются в круглосуточном режиме, данные регистрируются с дискретностью 3 часа: в 06, 09, 12, 15, 21, 24 часа, аномальные вариации регистрируются круглосуточно.

Запись наблюдений осуществляется в специальных картах наблюдений – этограммах, которые были разработаны для каждого вида животных [9] и позволяют систематизировать визуальную информацию о поведении животных. Этограммы включают в себя ряд комплексных параметров, с помощью которых классифицируются алгоритмы поведения животных: местоположение, двигательная, звуковая и пищевая активность, взаимодействие особей друг с другом, внутривидовая агрессия, брачное поведение, реакция на внешние раздражители. Каждый комплексный параметр включает все возможные вариации поведения животных от «нормального» до «аномального» (предвестникового). Этограмма и, следовательно, алгоритм, описывающий различные виды активности, составлен таким образом, что каждый последующий признак поведенческой реакции по интенсивности более сильный, чем предыдущий с точки зрения прогнозных критериев в связи с возможными сейсмическими событиями.

Помимо стандартной методики, описанной выше, для отдельных групп животных разработаны специальные методы обработки и анализа визуальной информации. Для оценки активности рептилий Серазетдиновой Б.З. [1] была разработана экспресс-шкала, где определенным комбинациям комплексных поведенческих параметров были присвоены коэффициенты – условные единицы, отражающие степень активности животных. Экспресс-шкала позволяет упростить определение интенсивности активности террариумных животных по вариациям коэффициентов активности, а также позволяет перевести данные визуальных наблюдений в числовые ряды, что упрощает дальнейшую обработку. Согласно данной шкале типичное поведение рептилий, которое определяется как «нормальное», характеризуется коэффициентом активности от 0,1 до 0,6 включительно. Повышенную активность, возбужденность животных, некоторую настороженность и агрессию, характеризующуюся коэффициентами активности от 0,7 до 1,2 включительно, относят к «аномальному» поведению. Реакции избегания, попытки выбраться из террариума, повышенная агрессия и гипервозбужденное состояние животных классифицируются как аномальное предвестниковое поведение и характеризуются коэффициентами от 1,3 до 1,8. Коэффициенты активности рептилий заносятся в базу данных программы Excel для дальнейшей обработки и анализа. На основании среднесуточных и среднемесячных данных строятся графики годовых и сезонных вариаций активности террариумных животных, выявляются аномальные вариации [1, 10].

Так же для обработки визуальной информации был разработан программный модуль «Биополигон» [1, 9]. Программный продукт разработан на основе СУБД VISUAL FoxPro с использованием графического редактора Delphi. На основе моделей поведения животных сформированы оценочные шкалы как критерии аномального поведения животных. Назначение программного модуля «Биополигон» – создание исследовательской базы данных (ИБД) на основе визуальных наблюдений, представленных в цифровом виде, преобразование биологической матрицы во временные ряды с последующим представлением данных о поведении животных (этограммы) в графическом виде для анализа активности животных, выявления аномалий в их поведении для краткосрочного прогноза землетрясений. Программа загрузки в базу данных работает в диалоговом режиме, предусматривая ответы на вопросы, задаваемые оператору в процессе создания ИБД. Последовательность операций при загрузке данных соответствует этограмме (совокупность наблюденных параметров поведения животных, суммарно отражающих

различные виды активности – местоположение, двигательную, звуковую, пищевую активности; взаимоотношение особей; способность к яйценоскости у кур). В настоящий момент при помощи программного модуля «Биополигон» осуществляется обработка этограмм кур-бенгачок. Планируется адаптация программных средств к обработке данных визуальных наблюдений по другим видам животных.

Внедрение новых методов наблюдений. В последние годы возникла необходимость в расширении сети сейсмобиомониторинга, однако открытие новых биостационаров достаточно затруднительно. В этой связи наиболее возможным, доступным и удобным является налаживание связей с организациями, имеющими возможность наблюдения за большим количеством животных. В 2022 году нами была разработана и апробирована на базе ГУ «РОСО» МЧС РК методика наблюдения за поведением служебных собак. В настоящее время методика внедрена в кинологических службах Восточно-Казахстанской и Алматинской областей. Ведется разработка методик по наблюдению за сельскохозяйственными животными и дикими животными, содержащимися в зоопарках.

Эффективность биопредвестников в краткосрочном прогнозе землетрясений

Анализ многолетних наблюдений за поведением животных позволяет выявить аномальные биопредвестники, а также разработать критерии оценки поведения животных, отражающие аномальные вариации накануне сейсмических событий. Так, например, анализ вариаций ряда параметров (двигательная активность птиц и рептилий, ЭП БАТ кожи кроликов) за пятилетний период, представленный на рисунке 3, позволил выявить зависимость исследуемых параметров от энергетического класса землетрясения и расстояния до эпицентра. Большинство аномалий в поведении биологических объектов было отмечено в последние дни и часы перед сейсмическими событиями.

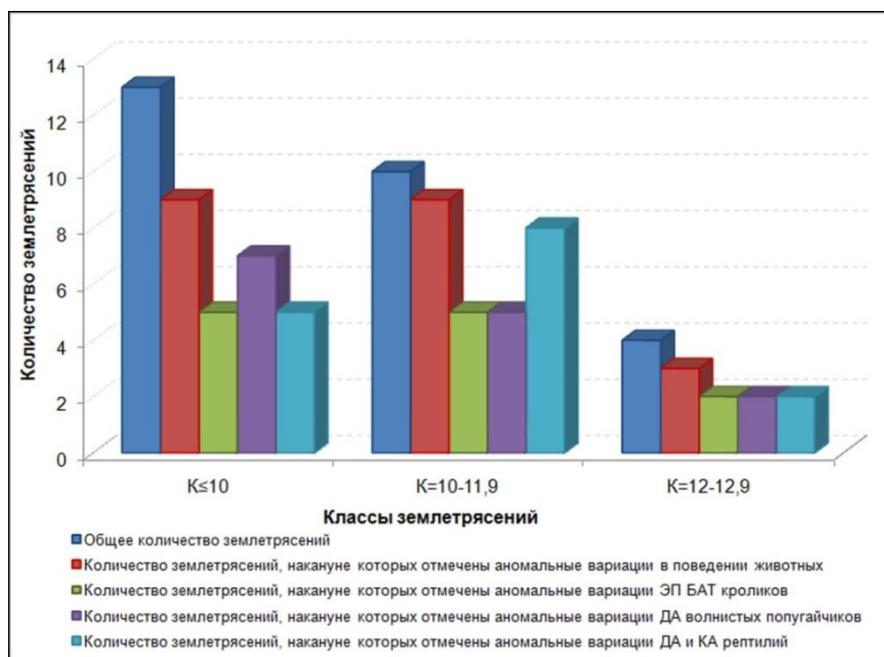


Рисунок 3 – Ощутимые землетрясения, с эпицентральным расстоянием не более 150 км от г. Алматы: соотношение общего количества землетрясений и землетрясений, накануне которых отмечены аномальные вариации активности животных за 2017-2021 гг

Таким образом, в работе представлен обзор современных методов наблюдения и анализа поведения животных, выделения алгоритмов нормального и аномального поведения, применяемых учеными сейсмобиологами Казахстана, а также затронуты перспективы дальнейшего развития направления. Показана эффективность биопредвестников в краткосрочном прогнозе землетрясений.

Литература

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. – Алматы: «Эверо». – 2012. – 364 с.
2. Нью В.А., Ариффулова И.И., Суровцева Н.В. Мониторинг двигательной активности волнистых попугайчиков в зоне сейсмического риска г. Алматы // Материалы Международной Юбилейной научной конференции, посвященной 15-летию со дня образования Центрально-Азиатского Института прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ) г. Бишкек «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии» 17–18 сентября 2019 г. – Бишкек, 2019. – С. 55–58.
3. Нью В.А., Ариффулова И.И., Суровцева Н.В. Междисциплинарный подход к анализу вариаций активности птиц в связи с краткосрочным прогнозом сильных землетрясений в Казахстане // Докл. X ежегодной международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», 22-24 апреля 2020 года. – Бишкек, 2020. – С. 421–435.
4. Суровцева Н.В., Нью В.А., Ариффулова И.И. Изучение двигательной активности птиц и рептилий в зоне сейсмического риска г. Алматы // Симпозиум «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан», 16–18 июня 2022 г. – Алматы, 2022. – С. 203–208.
5. Серазетдинова Б.З., Ариффулова И.И., Кузьмина Е.Е. Междисциплинарный подход к проблеме оценки информативности вариаций активности животных в связи с краткосрочным прогнозом сильных землетрясений в Казахстане // Материалы докладов VIII Международной конференции молодых ученых и студентов: сб. статей. – Бишкек, 2016. – С. 233–239.
6. Ариффулова И.И., Кузьмина Е.Е., Суровцева Н.В., Бекбаулиева Н.Н., Нью В.А., Кан М.Р., Шимов С.В., Корнелюк А.И. Бесконтактный метод регистрации активности животных в системе сейсмобиомониторинга на Алматинском прогностическом полигоне // Сб. тезисов докладов Международной конференции «Актуальные проблемы современной сейсмологии», 12–14 октября 2016 г. – Ташкент, 2016. – С. 51–52.
7. Arifulova I.I. Variations in reptile activity in the seismic risk zone due to short-term earthquake forecast in Kazakhstan // The Tenth Tianshan International Symposium on Earthquake Research, 15–16 Sept, 2021. Collection of paper abstracts. – China, Urumqi, 2021– P. 66–67.
8. Серазетдинова Б.З., Суровцева Н.В. Изучение электрического сопротивления кожи в биологически активных точках норных животных на Алматинском прогностическом полигоне // Симпозиум «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан», 16–18 июня 2022 г. – Алматы, 2022. – С. 198–203.
9. Серазетдинова Б.З., Жунусова А., Кауазов А.М. Оценочные шкалы как критерии аномального поведения животных в сейсмически уязвимом регионе Казахстана // Abstract of the 8th International Symposium on Tianshan Earthquakes. 23–26 Sept, 2013. – China, Urumqi, 2013. – P. 45.
10. Ариффулова И.И. Исследование активности рептилий в системе сейсмобиомониторинга в зоне сейсмического риска // Proceedings of the 9th Kazakhstan–China Internat. Symp. «Earthquake Prediction, Seismic Hazard and Seismic Risk Assessment in Central Asia», 25–27 Oct., 2017. – Kazakhstan, Almaty, 2017. – P. 214–218.

ОБЛАСТИ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрен метод построения линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) землетрясений 9-11 энергетических классов с целью оценки степени концентрации в их окрестностях эпицентров землетрясений больших ($M \geq 5,5$) энергий [3].

Показано применение этого метода для рассматриваемой территории в пределах координат: $\varphi=39^{\circ}\div 40,5^{\circ}$ $\lambda=69^{\circ}\div 72,5^{\circ}$. Отмечена приуроченность произошедших за период времени (с 1970 по 2022 год) землетрясений с магнитудой $M \geq 5,5$ ($K \geq 14$, 18 событий) к выделенным зонам.

Abstract. The method of constructing lines of maximum epicenter density (LEPE) of earthquakes of 9-11 energy classes is considered in order to estimate the degree of concentration in their vicinity of epicenters of earthquakes of high ($M \geq 5.5$) energies [3].

The application of this method for the territory under consideration is shown within the coordinates: $\varphi=39^{\circ}\div 40.5^{\circ}$ $\lambda=69^{\circ}\div 72.5^{\circ}$. The confinement of the earthquakes with magnitude $M \geq 5.5$ ($K \geq 14$, 18 events) that occurred over the period (from 1970 to 2022) to the selected zones was noted.

Под сейсмическим режимом какой-либо области подразумевается совокупность землетрясений этой области, рассматриваемая в пространстве и во времени. Между землетрясениями, составляющими сейсмический режим, может существовать взаимная связь. В одних случаях эта связь выступает отчетливо, как например при сильном землетрясении и его последующих толчках; в других случаях связей отдельных землетрясений, относящихся к данному сейсмическому режиму, непосредственно не видно и задача исследования может заключаться во вскрытии этих связей, если они на самом деле существуют, и в изучении их конкретных форм и закономерностей [1]. Наиболее полной характеристикой сейсмического режима, отображающей в обобщенном виде непосредственно общее представление режима в виде совокупности точек в пространстве, является плотность N землетрясений в этом пространстве, т.е. плотность распределения “точек” землетрясений в физическом пространстве x, y, z во времени t по энергиям E . Плотность $N=n/\Delta\Pi$, где $\Delta\Pi$, - некоторая элементарная объемная область пространства, n -число землетрясений, которые попадают в элементарный объем.

Ранее [2] сотрудниками Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР (ТИССС) опубликован метод построения линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) землетрясений 9-11 энергетических классов, предложенный для трассирования участков сейсмогенных швов. В дальнейшем [3] был предложен усовершенствованный алгоритм построения ЛМПЭ с целью оценки степени концентрации в их окрестностях эпицентров землетрясений больших ($M \geq 5,5$) энергий. Метод построения ЛМПЭ состоит в следующем: на карту эпицентров землетрясений с $K=9\div 11$ наносятся квадратные ячейки со сторонами 1 см в масштабе карты. Число землетрясений, попавших в каждую ячейку, относится к её центру, далее выполняется сглаживание поверхности плотностей эпицентров с помощью двумерного фильтра. После сглаживания на поверхности плотности эпицентров производится выделение локальных максимумов, в результате слияния которых получается непрерывная линия максимумов эпицентров. Сопоставление линий максимальной плотности эпицентров с эпицентрами землетрясений больших энергий выполнено для Северной Калифорнии и западной части Тяня-Шаня с прилегающими территориями [3]. Результат применения метода построения ЛМПЭ приведен на рис. 1 (территория Северной Калифорнии) и рис.2 (территория западной части Тяня-Шаня).

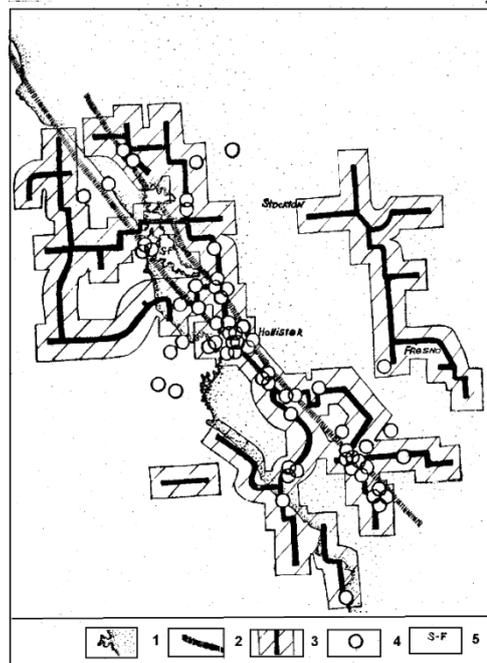


Рисунок 1- Карта линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) Северной Калифорнии [3]: 1-граница моря и суши; 2 –главная ветвь разлома Сан-Андреас; 3 – ЛМПЭ (построена по эпицентрам землетрясений $2,0 \leq M \leq 4,9$) с оконтуривающей зоной 10 км; 4 – эпицентры землетрясений с $M \geq 5,5$; 5 – Сан-Франциско.

После нанесения эпицентров сильных землетрясений на карту линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) Северной Калифорнии выявлено, что из 64 известных здесь землетрясений с $M \geq 5,5 \div 5,7$ (89,1%) лежат в пределах выделенных зон ЛМПЭ. Сопоставление эпицентров землетрясений изучаемого района западного Тянь-Шаня показало, что из 92 сильных землетрясений в пределах выделенных зон лежат 83 (90,2%).

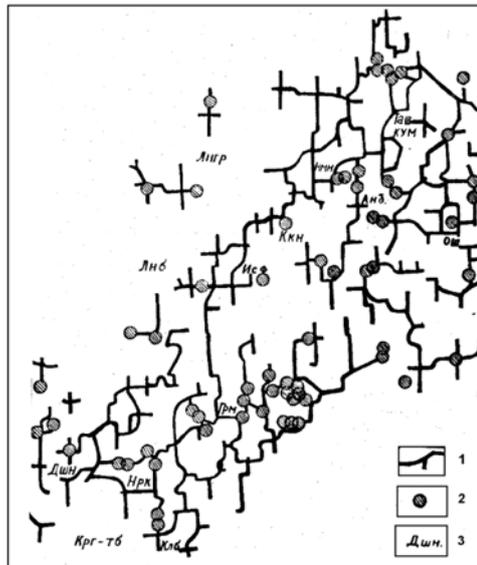


Рисунок 2 - Карта линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) Западного Тянь-Шаня и прилегающих территорий [3]: 1-ЛМПЭ (построена по эпицентрам землетрясений с энергетическим классом $K=9 \div 11$); 2 – эпицентры землетрясений с $M \geq 5,5$; 3 – населенные пункты.

После нанесения эпицентров сильных землетрясений на карту линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) Северной Калифорнии выявлено, что из 64 известных

здесь землетрясений с $M \geq 5,5$ 57 (89,1%) лежат в пределах выделенных зон ЛМПЭ. Сопоставление эпицентров землетрясений изучаемого района западного Тянь-Шаня показало, что из 92 сильных землетрясений в пределах выделенных зон лежат 83 (90,2%) [3].

Применим этот метод для аналогичного исследования территории в пределах координат: $\varphi=39^{\circ} \div 40,5^{\circ}$ $\lambda=69^{\circ} \div 72,5^{\circ}$ (Баткенская область и прилегающие территории). Рассмотрен период времени с 1970 по 2022 год, в течении которого произошло 4330 событий энергетического класса $K=9 \div 11$ [4]. В ячейках размером $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ подсчитана плотность эпицентров с энергетическим классом $K=9 \div 11$, выделены локальные максимумы, проведены линии максимальной плотности эпицентров с оконтуренной

зоной ~ 10 км (рис.3). На эту же схему нанесли эпицентры землетрясений с магнитудой $M=5,0$ ($K=13$) и $M \geq 5,5$ ($K \geq 14$). Все произошедшие за этот период времени землетрясения (18 событий) с магнитудой $M \geq 5,5$ ($K \geq 14$) произошли в пределах выделенных зон. При рассмотрении местоположения землетрясений меньшей величины ($M=5,0$ ($K=13$))) также можно отметить их приуроченность к этим зонам, но отмечается небольшое количество землетрясений, произошедших вне этих зон (3 из 23 событий).

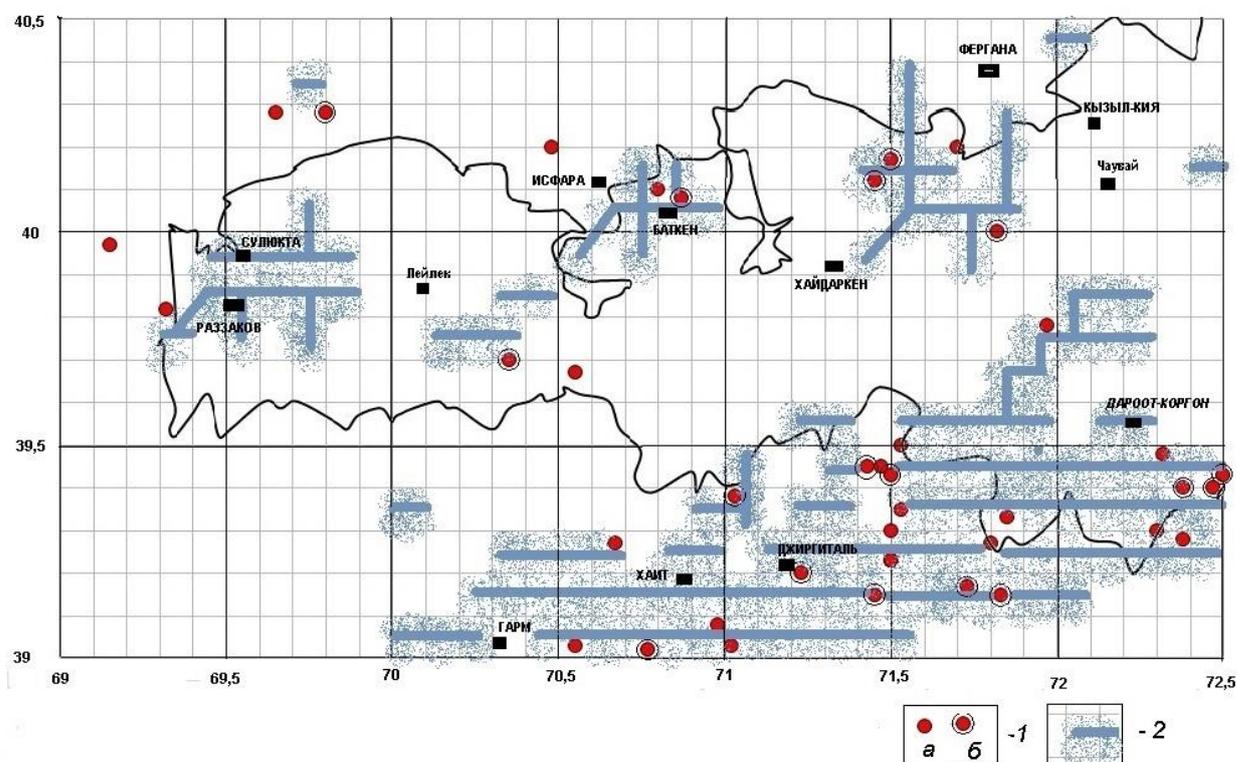


Рисунок 3 - Схема линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) территории Баткенской области и прилегающих территорий: 1 – эпицентры землетрясений с магнитудой: а) $M=5,0 \div 5,4$ (энергетический класс $K=13$), б) $M \geq 5,5$ (энергетический класс $K \geq 14$); 2-ЛМПЭ (построена по эпицентрам землетрясений с энергетическим классом $K=9 \div 11$) с оконтуривающей зоной ~ 10 км;

Приведены результаты применения метода построения линий максимальной плотности эпицентров (ЛМПЭ) землетрясений 9-11 энергетических классов с целью оценки степени концентрации в их окрестностях эпицентров землетрясений больших ($M \geq 5,5$) энергий территории Баткенской области Кыргызской Республики. Все произошедшие за период исследования землетрясения с магнитудой $M \geq 5,5$ ($K \geq 14$) произошли в пределах выделенных зон (18 событий). Отмечая приуроченность землетрясений с магнитудой $M \geq 5,5$ к зонам с максимальной плотностью эпицентров (ЛМПЭ) землетрясений 9-11 энергетических классов, полученных предложенным в работе [3] методом, выделенные зоны на рис.3 можно рассматривать как осевые линии зон – генераторов больших

землетрясений ($M \geq 5,5$).

Литература

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. –Москва: Наука. -1985- 408 с.
2. Дубинина Р.В., Коган Л.А., Романов О.А. Трассирование разломов глубинного заложения по эпицентрам землетрясений малых энергий. – Докл. АН Тадж. ССР- 1973. -т.ХУІ -№ 12.
3. Коган Л.А., Лебедев Г.А. Линии максимальной плотности эпицентров и их связь с эпицентрами землетрясений больших энергий. / Геолого-геофизическое изучение сейсмоопасных зон. -Фрунзе: Илим. -1984.-С.236-241.
4. Каталог землетрясений Кыргызстана и прилегающих территорий с исторических времен по июнь 2022 года. //Фонды Института сейсмологии НАН КР.

**Досайбекова С. К., Далебаева Ж. А.,
Досымбекова Ж. Б., Жунусова Ж.К.**

ТОО «СОМЭ» МЧС РК

пр.Аль- Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан

E-mails: sdk_0102@mail.ru; dalebaeva84@mail.ru;
d_zhansaya@mail.ru; kausar_ali@mail.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ СЕТЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Аннотация. Существующая в настоящее время сеть сейсмических станций в Казахстане даёт возможность определять механизмы очагов землетрясений (МОЗ). Это позволяет проводить анализ напряжённо-деформированного состояния земной коры. Составленный каталог землетрясений для территории Республики Казахстан используется для работ по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и составлению карт сейсмического зонирования разного масштаба.

Annotation. The current network of seismic stations in Kazakhstan makes it possible to determine the mechanisms of earthquake foci (MOZ). This makes it possible to analyze the stress-strain state of the Earth's crust. The compiled earthquake catalog for the territory of the Republic of Kazakhstan is used for earthquake forecasting, seismic hazard assessment and mapping of seismic zoning of various scales.

Территория юга и юго-востока Казахстана относится к региону характеризующегося высокой степенью сейсмической опасности. В недалёком прошлом здесь произошел ряд сильнейших и катастрофических землетрясений. Для создания каталога землетрясений, являющегося основой для всех сейсмологических исследований, получения оперативной информации о «сильных» землетрясениях, изучения различных предвестниковых параметров сейсмического режима и сейсмических волн, получения информации для инженерной сейсмологии в регионе, проводятся сейсмические наблюдения (регистрация землетрясений различной силы и удаленности) на сети стационарных сейсмологических станций ТОО «СОМЭ» МЧС РК.

Методика исследований. Регистрация сейсмических колебаний проводится в широком частотном и динамическом диапазонах различными видами аппаратуры. Комплекс аппаратуры включает в себя: цифровые сейсмические станции с сейсмометрами с различными периодами регистрации от 360 сек. до 0,02 сек. Широкий набор сейсмической аппаратуры необходим для регистрации как слабых, так и сильных землетрясений различной удаленности. Длиннопериодная аппаратура (периоды от 360 до 10 сек) позволяет регистрировать сильные землетрясения на удалении несколько тысяч

километров. Короткопериодная аппаратура (периоды от 10 до 0,02 сек.) с высокой чувствительностью регистрирует землетрясения в ближней зоне.

Поступающий материал со всех сейсмических станций обрабатывается на ЦСО «Алматы», где определяются основные параметры землетрясений, зарегистрированных на территории Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях для составления оперативного каталога землетрясений. В отряде сводной обработки землетрясений (СОЗ) данные заносятся в основной каталог, каталог взрывов и каталог станционных параметров. Количество основных параметров землетрясений определяется унифицированной к настоящему времени формой каталогов землетрясений. Эта форма принята за основу при создании банков данных. В состав основных параметров землетрясений входят:

- время в очаге землетрясения (t_0);
- координаты гипоцентра – широта (φ), долгота (λ), глубина (h);
- энергетические характеристики – энергетический класс (K_p), магнитуда (M).

При определении основных параметров землетрясений для более точной локализации гипоцентров и определения механизмов очагов землетрясений привлекаются бюллетени станций (Центра данных ИГИ НЯЦ РК и ИС НАН КР).

Расчет основных параметров землетрясений (t_0 , φ , λ , h , K , M) проводится по стандартной методике. Полная сводная обработка цифровых записей проводится с применением программного обеспечения «DIMAS», встроенной в геоинформационную систему «Эпицентр».

В практике сводной сейсмологической обработки время в очаге землетрясения (t_0) определяется на основе графика Вадати, отражающего зависимость времени запаздывания поперечной волны от полного времени пробега продольной волны на различные станции. График Вадати строится в плоскости T_p и T_{s-p} . Способ определения t_0 по графику Вадати основан на предположении о том, что если на ряде станций зарегистрированы однотипные вступления P и S волн, то точки в системе координат T_p и T_{s-p} должны лежать на одной прямой. Точка пересечения этой прямой с координатой T_p и даст нам значение t_0 [1].

Наклон прямой позволяет определить значение отношения скоростей V_p/V_s , для каждой станции по формуле: $V_p/V_s = \frac{T_{s-p}}{(T_p - t_0)} + 1$, где T_{s-p} - разность времен вступлений P - и S -волн, T_p - время вступления P - волны на j -ю станцию от землетрясения, t_0 - время возникновения землетрясения.

В системе «Эпицентр» по всем станциям в координатной сетке строится поле точек, соответствующих T_{s-p} (ордината) и T_p (абсцисса), зарегистрированных на разных станциях. Поле точек усредняется прямой линией методом наименьших квадратов. Интерпретатор может изменить наклон линии (значение V_p/V_s), добиваясь лучшего осреднения «облака» точек, при этом время в очаге будет изменяться. После построения графика Вадати, рассчитываются координаты гипоцентра: φ ; λ ; h . При вычислении координат гипоцентров близких землетрясений ($\Delta \leq 350$ км) используется локальный годограф Шацилова В.И. [2]

На карте эпицентр выбирается в точке пересечения окружностей разных радиусов, равных эпицентральному расстоянию до соответствующих станций. Перебирая глубину очага землетрясения, интерпретатор добивается более точного определения гипоцентра.

Для энергетической классификации землетрясений использовались динамические параметры сейсмических P и S волн: максимальные амплитуды и соответствующие им периоды. Все расчеты также выполнялись программой «ЭПИЦЕНТР». Применялся следующий набор измеряемых параметров:

- K_p – энергетический класс землетрясения [3];
- $MPVA$ – магнитуда, определяемая по продольной волне на записи вертикальной компоненты короткопериодной аппаратуры (или соответствующей ей полосой пропускания цифровой записи) [4];

– MS – магнитуда, определяемая по поверхностной волне на записи вертикальной компоненты длиннопериодной аппаратуры (или соответствующей ей полосой пропускания фильтра цифровой записи). Методика определения динамических параметров землетрясений остается такой же, что и «в ручном» варианте.

Все параметры гипоцентров затем сводятся в каталог землетрясений, на основе которого формируется база данных «SEISMO».

С 2002 года для определения параметров механизмов очагов землетрясений используется программа Masaki Nakamura с использованием знаков первых вступлений S-волн в сочетании со знаками P-волн, что важно при решении механизма очага для слабых землетрясений с неблагоприятным расположением относительно сети станций. Апробация программы показала, что точность решения зависит от объема информации и расположения станций относительно очага. Для успешного решения механизма регистрируется 15-20 равномерно распределённых знаков первых вступлений P-волн. Это условие соблюдается в случае, если очаг располагается в центральной части изучаемой территории в хорошем окружении станциями [5].

Основная масса определений механизмов очагов слабых землетрясений базируется на сведениях о знаках первых вступлений объемных волн, записанных на сейсмических станциях сети ТОО «СОМЭ». Для более сильных землетрясений используются дополнительные сведения о знаках первых вступлений волн записанные на отдельных станциях ИС НАН КР, РГП ИГИ КАЭ РК, а для построения МОЗ с $K \geq 11$ привлекаются бюллетени ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск). Окончательный каталог составляется после опубликования сейсмологического бюллетеня ЕГС РАН.

Определения МОЗ проводятся непосредственно вслед за текущим расчётом основных параметров землетрясений. По результатам этих расчётов составляются рабочие каталоги землетрясений, для которых планируется определение МОЗ. Эти каталоги являются выборкой из общего каталога основных параметров землетрясений. Принцип выборки состоит в том, чтобы землетрясение было записано не менее чем шестью сейсмическими станциями. Это минимальное количество станций, при котором возможно однозначное определение МОЗ.

Для построения МОЗ применяется программа «xmesh» [5]. Программа предусматривает возможность получения решений, как в верхней, так и в нижней полусферах. Входные данные для программы находятся в текстовом файле, представляющем собой карточку землетрясения. Выходным является файл, представляющий собой численное и графическое решение механизма очага землетрясения. Численное решение МОЗ представлено параметрами, характеризующими ориентацию осей главных напряжений, возможных плоскостей разрыва и направление подвижек. Графическое решение механизма очага представлено изображением проекций нодальных линий и осей напряжений на сфере единичного радиуса.

Результаты определений МОЗ представляются в виде каталогов в международном формате в верхней полусфере, на основе которых создаётся база данных «SEISMO».

4.1 Результаты анализа сейсмического мониторинга.
Информативность каждой станции оценивается долей её участия в определении основных параметров землетрясений в каталоге. Диаграмма эффективности представлена на рисунке 1.

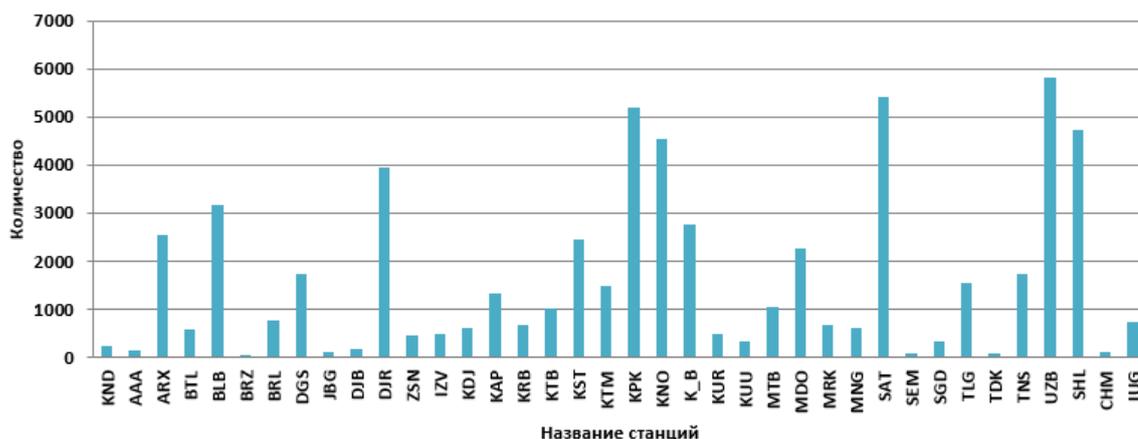


Рисунок 1-Диаграмма эффективности сейсмических станций ТОО «СОМЭ»

Анализ обработки станций показывает, что участие в обработке станций находится на достаточно высоком уровне. Из региональных станций следует отметить станции Саты (SAT), Джаркент (DJR), информативность которых находится на высоком уровне. Из диаграммы видно, что высока информативность станций Кокпек (KPK), Шалкоде (SHL), Узунбулак (UZB), работающих в автоматическом режиме.

Расположение основных сейсмических станций ТОО «СОМЭ» на территории Северного Тянь-Шаня и Южного региона Казахстана остаются неизменными относительно предыдущих лет (рисунок 2). Представительным энергетическим классом являются $K_{min}=7.0$ для этих территорий, для хребтов Заилийский и Кунгей Алатау $K_{min}=6.5$, а в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау без пропуска регистрируются землетрясения, начиная с $K_{min}=6.0$.

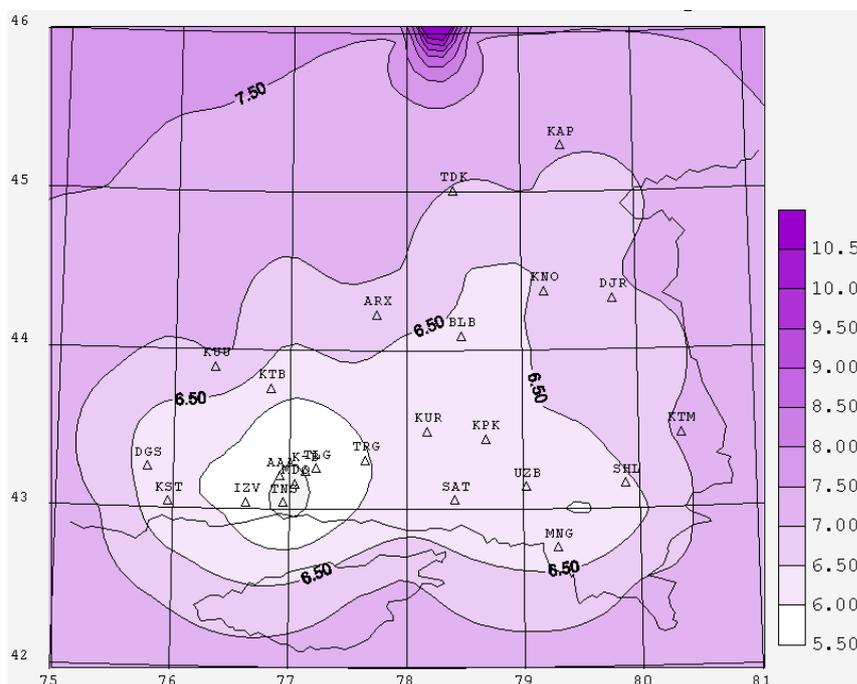


Рисунок 2 - Карта расположения стационарных сейсмических станций Северного Тянь-Шаня

Продолжаются наблюдения за количеством землетрясений в пределах региона, в период с 1980 года по 2022 годы, зарегистрировано 149752 событий. Распределение количества землетрясений по годам за период 2012-2022гг. и величины выделившейся суммарной энергии по региону представлены на рисунке 3.

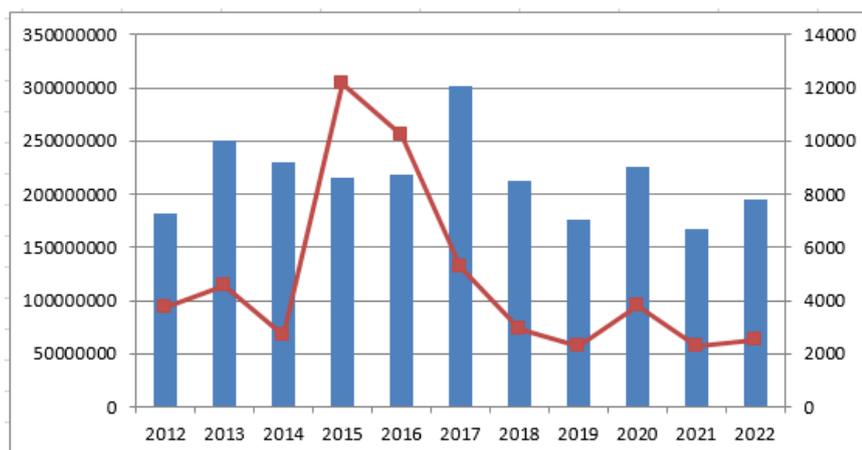


Рисунок 3 - Распределение количества землетрясений и выделившейся энергии по годам.

Мониторинг изменения во времени напряженно-деформированного состояния исследуемой территории проводится на основе изменения соотношения типов механизмов очагов (отношение числа взбросов к общему количеству очагов N_b/N_o). На рисунке 4 приведены графики, характеризующие вариации отношения количества очагов со взбросовыми подвижками (N_b) к общему числу землетрясений с определенными механизмами очагов (N_o) в отдельных хребтах и в целом в регионе. Из графиков видно, что в целом, при существенных среднегодовых вариациях, отмечается отрицательный тренд параметра. Можно выделить три этапа существенно разных условий деформирования. Первый 23-х летний период с 1980 г. до 2003 г. значения параметра превышали 50%, то есть в районе преобладали условия горизонтального сжатия. Следующий десятилетний период с 2003 г. по 2014 г. значения параметра составляли порядка 50%, что свидетельствует о хаотичности условий сеймотектонического деформирования. Последний период значения параметра составляют менее 50%, то есть в регионе преобладают условия горизонтального растяжения.

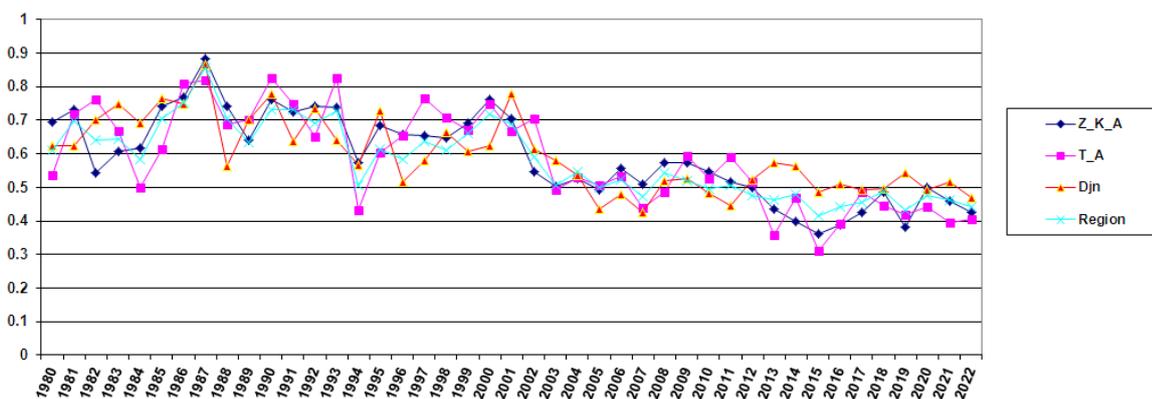


Рисунок 4 - Графики изменения во времени N_b/N_o

В рассматриваемый период времени, в пределах Заилийского Кунгей Алатау количество взбросов уменьшилось на 10%, в зоне Терской Алатау уменьшилось на 2%, в Джунгарии значение параметра N_b/N_o в 2021 году увеличилось на 1%, а в 2022 году уменьшилось на 2%. В результате отмеченных изменений параметра в отчетном периоде сложилась следующая ситуация напряженно-деформированного состояния: в хребтах Заилийского Кунгей Алатау и Джунгарии - 45%. На территории Терской Алатау значение параметра N_b/N_o составило 40%.

Выводы. В целом, ситуация напряженно-деформированного состояния по данным механизмов очагов слабых землетрясений Джунгаро-Северо-Тянь-Шанского региона свидетельствуют об отсутствии упорядоченности деформационного процесса, наблюдается примерно одинаковое количество взбросов и сбросов, мозаично перемежающихся по всей исследуемой территории.

Составленный каталог землетрясений для территории Республики Казахстан, созданный на основе мониторинга сейсмических событий стационарными регистрирующими станциями, используется для работ по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и составлении карт сейсмического зонирования разного масштаба.

Литература

1. Скоростные модели земной коры Казахстана / Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Фремд А.Г., Сергеев О.В. и др. Алматы: Евразия, 1993, 105с.
2. Шацлов В.И., Горбунов П.Н. Глубинная структура земной коры Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратауского регионов // Сейсмическое районирование Республики Казахстан, Алматы: Эверо, 2000. С. 75-96
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. Тр. ИФЗ АН СССР, 1964, №32.
4. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для опеределения магнитуды M_{PVA} землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Комплексные исследования на Алматинском прогностическом полигоне. Алмата, 1986, с. 41 – 48.
5. Masaki Nakamura. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves // Physics of the Earth and Planetary Interiors.- 2002. - 130. - P. 17-29.

В.А. Зейгарник, В.Н. Ключкин, В.И. Окунев
ФГБУН Объединенный институт высоких температур
РАН, Москва, Россия

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Проанализированы спектры акустических сигналов, полученных при одноосном сжатии образцов искусственного песчаника и строительного кирпича марки 500 в условиях непрерывного нагружения, включая запредельные состояния вплоть до разрушения. Для обоих типов образцов при достижении нагрузки, близкой к предельно, и далее в запредельной области амплитуда сигналов в частотном диапазоне 10-20 кГц начинает заметно превышать амплитуду сигналов в диапазонах частот выше 20 кГц. Смещение частотного диапазона, на который приходится максимальные среднеквадратичные амплитуды акустического сигнала, в сторону низких частот может свидетельствовать либо об образовании трещин большего размера, либо о появлении трещин иного типа, чем при меньших нагрузках (например, трещин сдвига). Само по себе это явление может указывать на надвигающееся макроразрушение.

Исследование механизма трещинообразования в процессе лабораторных экспериментов при сжатии образцов горных пород важно для понимания механизма подготовки землетрясений и поиска их предвестников. Основным способом получения информации в таких экспериментах является регистрация сигналов акустической эмиссии (АЭ). Индуцированные в процессе трещинообразования физические поля позволяют в реальном времени проследить динамику формирующихся нарушений в процессе нагружения образца. Работ, посвященных исследованию процессов трещинообразования в образцах горных пород и их разрушения, начиная с 90-х годов прошлого столетия, было выполнено довольно много. В этом ряду несомненно выделяются пионерские работы, выполненные в ЛФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН и Геологической службе США (US Geological Survey). На процесс взаимодействия трещин в образцах

горных пород, их последующего слияния, кластеризации (коалесценции), образования трещин большего масштабного уровня и на связанную с этими процессами стадийность разрушения образцов, указывалось в работах [Lockner et al, 1991, Ponomarev et al., 1997, Соболев, Пономарев, 2003; Завьялов, 2005; Thomson, 2009, Ботвина, 2011; Baddari et al, 2011; Дамаскинская, Кадомцев, 2015; Zhang et al., 2016; Пантелеев и др., 2017; Дамаскинская и др., 2018; и в ряде других].

Анализ волновых форм зарегистрированных сигналов является достаточно распространенным подходом при обработке результатов лабораторных экспериментов. Предполагается, что амплитудно-частотные и другие характеристики сигналов могут дать информацию о напряженно-деформированном состоянии исследуемого материала, влиянии различных внешних факторов на развитие дефектообразования, трещинообразования и предстоящего разрушения

Работа [Пантелеев и др., 2015] является одной из немногих, где рассматривается влияние электрического поля на частотные характеристики сигналов АЭ. Эксперименты проводились на образцах гранитов в условиях непрерывного нагружения со ступенчато меняющейся скоростью нагружения. Эксперименты проводились как без внешнего электрического воздействия, так и с ним. Распределение АЭ по частотам, при наличии поля и без него было идентичным.

В целом ряде работ [Yuyama et al., 1999, Aggelis, 2011, Zhou et al., 2010, Ohno, Ohtsu, 2010, Klyuchkin et al., 2022] указывается на то, что на основе анализа волновых форм акустических сигналов можно сделать вывод о смене одной моды сигналов (связанных с образованием, ростом и слиянием трещин отрыва) другой модой (связанной с образованием трещин сдвига) по мере приближения к полному разрушению образца (потере сплошности).

В выполненных в ОИВТ РАН экспериментах было выявлено, что при большой нагрузке на образец появляются сигналы АЭ, спектр которых сосредоточен на частотах ниже 20 кГц. Было показано, что временные и спектральные характеристики таких сигналов аналогичны характеристикам акустических сигналов, которые появляются при сдвиге образца на установке типа слайдера [Klyuchkin et al., 2022]. Это дало основание предположить, что низкочастотные сигналы АЭ в нагруженных образцах возбуждаются при образовании трещин сдвига.

Это стимулировало постановку специального эксперимента, нацеленного на получение более детальной количественной информации о том, при какой нагрузке и насколько низкочастотные составляющие в спектре сигналов АЭ становятся доминирующими. И можно ли такое доминирование считать предвестником разрушения образца. Эксперимент был проведен как в условиях обычного непрерывного сжатия с примерно постоянной скоростью, так и в условиях периодического воздействия на образец электрическим током в процессе такого сжатия.

Эксперименты проводились на рычажном прессе, достаточно подробно описанного в работе [Авагимов и др., 2011]. В последующем в систему регистрации были внесены некоторые усовершенствования [Зейгарник и др., 2022].

В установке приняты специальные меры по ослаблению различных внешних помех. Для ослабления сетевых помех (50 Гц) применяются экранированные корпуса и экранированные кабели передачи сигналов. Кроме того, поскольку аппаратура имеет распределенную структуру, все усилители имеют гальванические развязки вход-выход.

Для ослабления синфазных импульсных сетевых помех в трансформаторах и источниках питания используются симметричные изолирующие трансформаторы, проходные емкости которых не превышают 4-5 пФ, и многоступенчатая дроссельная защита. Общее ослабление таких помех – не менее 80 дБ. Поэтому остаточные помехи не превышают уровень собственных шумов измерительных каналов.

Регистрация и обработка результатов производилась с использованием программы PowerGraph. Выполняется следующая последовательность процедур: обнаружение

импульсных помех и удаление блоков с такими помехами; удаление блоков в которых акустические сигналы перекрывают друг друга; фильтрация сигналов всего блока в частотных диапазонах 5-10, 10-20, 20-40, 40-80, 80-160 кГц; выделение акустического сигнала, превышающего шум; вычисление среднеквадратичного значения выделенного акустического сигнала в каждом частотном диапазоне в каждом блоке; осреднение среднеквадратичных значений в трех каналах и в каждых 100 последовательных блоках. (Предварительная обработка показала, что такое осреднение не меняет основных закономерностей в поведении результирующих графиков). Результаты обработки затем были подвергнуты корректировке, учитывающей неравномерность частотной характеристики акустических каналов. Аналогичные процедуры осреднения производились для каналов силы и смещения.

Эксперименты проводились в двух режимах: непрерывное нагружение с неизменным темпом нагружения образца 150-250 Н/мин и непрерывное нагружение с тем же темпом, но с эпизодическим включением электрического тока. Это было сделано с целью выявления влияния электрического тока на параметры акустической эмиссии, которые, как упоминалось выше, несут информацию об особенностях процесса трещинообразования. Ниже приведены результаты экспериментов с образцом искусственного песчаника.

Эксперимент проводился в режиме непрерывного нагружения с скоростью примерно 250 Н/мин. Регистрация акустических сигналов начиналась с нагрузки 144 кН. До этого интенсивность акустической эмиссии была столь незначительной, что эти данные практически ничего бы не добавили к полученной информации. Всего до момента разрушения образца (а точнее говоря, до стадии лавинного трещинообразования, когда акустические сигналы перекрывают друг друга, и разделить их становится невозможно) было зарегистрировано 9690 сигналов. Более чем треть из них приходится на запредельную стадию, где несмотря на продолжающееся опускание штока гидроподъемника, нагрузка на образец начала падать. Это свидетельствует о развитии соответствующих деформационных процессов в образце. Характер изменения активности акустической эмиссии как функция номера акустического сигнала представлен на рис. 1. На этом же графике приведены также значения «текущего» времени (под которым мы понимаем время с момента начала регистрации), и величина приложенной к образцу нагрузки, соответствующие данному номера сигнала. Видно, что активность акустической эмиссии существенно возрастает на стадии нагружения, близкой к предельной, а весь процесс интенсивного трещинообразования, сопровождающийся ростом активности акустической эмиссии dN/dt на 3 порядка, занимает около 70 с.

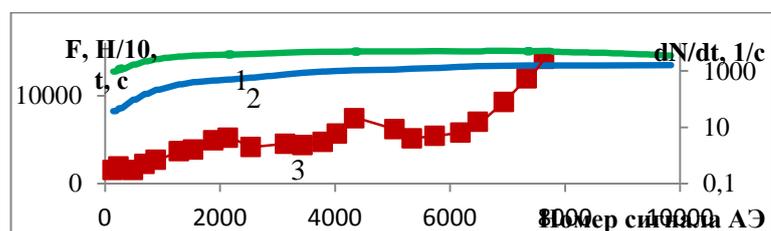


Рисунок 1. Взаимное соответствие нагрузки, номера отсчета и «текущего» времени: 1 - осевое усилие F в Н/10; 2 - «текущее» время t в секундах; 3 - активность акустической эмиссии dN/dt в 1/с.

Полученные зависимости среднеквадратичных значений амплитуды сигналов от номера пачки сигналов представлены на рис. 2. Представление этих зависимостей в виде функции от номера пачки сигнала, а не от времени или нагрузки, как это делается традиционно, дает бóльшую наглядность из-за лучшего разрешения хода кривых на заключительной стадии процесса нагружения. В противном случае многие детали на графике становятся не различимы визуально.

На рисунке видно, что среднеквадратичные амплитуды сигналов АЭ в частотных диапазонах 40-80 кГц и 80-160 кГц не растут, а немного уменьшаются с увеличением номера пачки сигналов вплоть до № 60. При этом амплитуды сигналов АЭ в частотных диапазонах 5-10 кГц и 10-20 кГц растут с увеличением номера пачки сигналов. При достижении нагрузки величины около 0,993 от предельной (начиная с пачки № 30) амплитуды сигналов АЭ в диапазоне 10-20 кГц становятся больше амплитуд сигналов АЭ в более высоких частотных диапазонах. На заключительной стадии непосредственно перед началом лавинообразного нарастания активности акустической эмиссии после пачки № 42 заметен рост амплитуды сигналов в частотном диапазоне 5-10 кГц. Хотя рост амплитуды сигналов почти во всех других частотных диапазонах также имеет место, но он выражен заметно слабее, чем в первых двух диапазонах.

Принципиально похожие результаты спектрального распределения сигналов АЭ были получены в экспериментах с пропуском тока. (Постоянный ток порядка 50 мА подавался через торцы образца). Таким образом, можно полагать, что столь малое тепловыделение 10 кДж (5 Вт) не повлияло существенно на закономерности трещинообразования в образце.

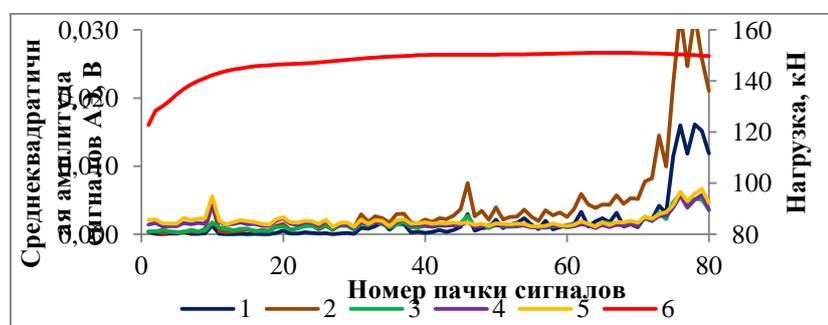


Рисунок 2. Зависимость среднеквадратичной амплитуды сигнала в пачке от номера пачки для образца искусственного песчаника в диапазонах частот: 1: 5-10 кГц; 2: 10-20 кГц; 3: 20-40 кГц; 4: 40-80 кГц; 5: 80-160 кГц; кривая 6 - величина нагрузки в кН.

Таким образом, в этом эксперименте было выявлен некоторый предвестник надвигающегося макроразрушения в виде появления доминирующих сигналов в диапазоне частот 10-20 кГц.

Схожие результаты были получены и другом виде строительного материала – красном кирпиче марки 500. Эти результаты представлены на рис. 3.

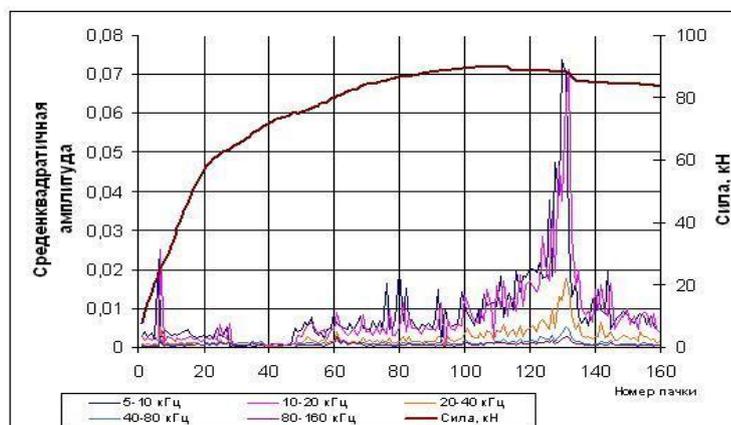


Рисунок 3. Зависимость среднеквадратичной амплитуды сигнала от номера пачки для красного кирпича марки 500 в диапазонах частот: 1: 10-20 кГц; 2: 20-40 кГц; 3: 40-80 кГц; 4: 80-160 кГц; 5: 80-160 кГц; 6: сила, кН.

Этот эксперимент (рис. 3) проводился без периодического пропуска тока. Особенностью его было то, что при переходе в предельную область, когда нагрузка самопроизвольно снизилась на примерно 2% от предельной (9,07 т) и интенсивность акустической эмиссии свидетельствовала о надвигающемся макроразрушении, нагрузка была сброшена двумя шагами сначала до 8,98 т, а затем через 120 с до 8,61 т. Это позволило избежать видимого разрушения и определить спектральный состав акустических сигналов в предельной области (номера пачек сигналов 130 и выше). Видно, что спектральные характеристики проявили тенденцию к возврату к уровню, характерному для допредельных состояний. В целом же среднеквадратичные амплитуды в диапазонах частот 10-20 и 20-40 кГц вновь были 3-4 выше в диапазоне номеров пачек сигналов 90-135, т.е. в диапазоне нагрузок, близких к предельным (в пределах 2,5% до и 4% свыше).

Заключение

В настоящей работе предпринята попытка выявить наличие смещения характерной частоты акустического сигнала в сторону более низких значений при приближении нагрузки к предельной в экспериментах по одноосному сжатию образцов искусственного песчаника и красного кирпича марки 500. Эксперименты были проведены как в условиях обычного непрерывного сжатия, так и в условиях периодического воздействия на образец электрического тока в процессе такого сжатия (для искусственного песчаника). Это было сделано с целью выявления влияния электрического тока на параметры акустической эмиссии. При достижении нагрузки, близкой к предельной и далее в предельной области заметно доминирование амплитуды сигналов в частотном диапазоне 5-20 кГц как в экспериментах с током, так и без него.

Смещение частотного интервала, на который приходится максимальные среднеквадратичные амплитуды акустического сигнала, в сторону низких частот может свидетельствовать либо об образовании трещин большего размера, либо о появлении трещин иного типа, чем при меньших нагрузках (например, трещин сдвига). Само по себе это смещение может указывать на надвигающееся макроразрушение.

Литература

1. Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Окунев В.И. Динамика энергообменных процессов в модельных образцах при воздействии упругим и электромагнитным полями // Физика Земли. 2011. № 10. С. 64–70.
2. Ботвина Л.Р. Эволюция поврежденности на различных масштабах // Физика Земли. 2011, № 10. С. 5-18.
3. Дамаскинская Е.Е., Кадомцев А.Г. Выявление пространственной области будущего очага разрушения на основе анализа энергетических распределений сигналов акустической эмиссии // Физика Земли. 2015. № 3. С. 78–84.
4. Дамаскинская Е.Е., Пантелеев И.А., Фролов Д.И., Василенко Н.Ф. Признаки критической стадии разрушения деформированных гетерогенных материалов // Геосистемы переходных зон. 2018. Т. 2. № 3. С. 245–251. Doi:10.30730/2541-8912.2018.2.3.245-251.
5. Завьялов А.Д. От кинетической теории прочности и концентрационного критерия разрушения к плотности сейсмогенных разрывов и прогнозу землетрясений // ФТТ. 2005. Т. 47. № 6. С. 1000–1008.
6. Зейгарник В.А., Ключкин В.Н., Окунев В.И. Влияние электрического тока на акустическую эмиссию механически нагруженных образцов искусственного песчаника // Успехи прикладной физики. 2018. № 3. С. 200–207.
7. Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Дамаскинская Е.Е., Богомолов Л.М., Наймарк О.Б. Влияние слабого электрического поля на пространственно-временную динамику акустической эмиссии при одноосном сжатии гранита // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы третьего Всерос. семинара-совещания, под ред. В.В.Адушкина и Г.Г.Кочаряна. 2015. ГЕОС. С. 244-252.
8. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.

9. Aggelis D.G. Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters // *Mechanic Research Communications*. 2011. V. 38, P. 153-157.
10. Baddari K., Frolov A., Tourtchine V., Rahmoune F. An integrated study of the dynamics of electromagnetic and acoustic regimes during failure of complex macrosystems using rock blocks // *Rock Mech. Rock Eng.* 2011. V. 44, No. 3. P. 269–280. Doi: 10.1007/s00603-010-0130-5.
11. Klyuchkin V.N., Novikov V.A., Okunev V.I., Zeigarnik V.A. Acoustic and electromagnetic emissions of rocks: insight from laboratory tests at press and shear machines // *Environmental Earth Sciences*. 2022. 81:64. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10189-z>.
12. Lockner D.A., Byerlee J.D., Kuksenko V., Ponomarev A., Sidorin A. Quasi-static fault growth and shear fracture energy in granite // *Nature*. 1991. V. 6313. P. 39–42.
13. Ohno K., Ohtsu M., Crack classification in concrete based on acoustic emission // *Constr. Build. Mater.* 2010. 24 (12). P. 2339-2346.
14. Ponomarev A.V., Zavyalov A.D., Smirnov V.B., Lockner D.A. Physical modeling of the formation and evolution of seismically active fault zones // *Tectonophysics*. 1997. V. 277 N 1–3. P. 57–81.
15. Thompson, B.D., Young, R.P., Lockner, D.A. Premonitory acoustic emission and stick-slip in natural and smooth-faulted Westerly granite // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 114. P. B02205. DOI: 10.1029/2008JB005753.
16. Yuyama S., LiZ., Ito Y., Arazoe M. Quantitative analysis of fracture process in RC column foundation by moment tensor analysis of acoustic emission // *Construction, Building Materials*. 1999. 13(1-2), P.87–97. Doi: 10.1016/S0950-0618(99)00011-2.
17. Zhou J.W., Xu W.Y., Yang X.G. A microcrack damage model for brittle rocks under uniaxial compression // *Mechanical Research Communications*. 2010, 37, P. 399-405.
18. Zhang J.Z., Zhou X.P. Forecasting catastrophic rupture in brittle rocks using precursory AE time series // 2020. *J. Geoph. Res.: Solid Earth*. 2020. Issue 8. Doi: 10.1029/2019jBO19276.
19. Zhang J., Peng W., Liu F., Zhang H., Li Z. Monitoring rock failure processes using the Hilbert-Huang transform of acoustic emission signals/ *Rock mech. Rock Eng.*, 2016, v.49. pp. 427-442.

Р.С. Ибрагимов, Т.Л. Ибрагимова, М.А. Мирзаев
Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН
Республики Узбекистан, г. Ташкент,

ДОЛГОСРОЧНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 22.03.2023, M=6.0

Аннотация. 22 марта 2023 года в пределах центральной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны на приграничной с Узбекистаном территории Таджикистана произошло землетрясение с магнитудой $m_b=6.0$. Землетрясение имело достаточно убедительные долгосрочные сейсмологические предвестники. В области его подготовки отмечалась длительная сейсмическая пауза в возникновении землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$, почти 20-ти летний запрет на землетрясения с магнитудой $M \geq 4.5$, активизация по слабым землетрясениям, уменьшение угла наклона графика повторяемости. На основании этих прогностических признаков, практически за год до его возникновения был сделан долгосрочный прогноз.

Abstract. On March 22, 2023, an earthquake with a magnitude of $m_b = 6.0$ occurred within the central part of the South Ferghana seismoactive zone on the territory of Tajikistan bordering Uzbekistan. The earthquake had fairly bright long-term seismological precursors. In the field of its preparation, there was a long seismic pause in the occurrence of earthquakes with a magnitude of $M \geq 5.0$, an almost 20-year ban on earthquakes with a magnitude of $M \geq 4.5$, activation for weak earthquakes, a decrease in the angle of inclination of the recurrence graph. Based on these prognostic signs, a long-term forecast was made almost a year before its occurrence.

22 марта 2023 года в пределах центральной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны на приграничной с Узбекистаном территории Таджикистана произошло сильное землетрясение. По данным Республиканского Центра

сейсмопрогностического мониторинга Узбекистана (РЦСМ) магнитуда землетрясения была равна $m_b=6.0$. Произошедшее землетрясение имело достаточно убедительные долгосрочные сейсмологические предвестники, на основании которых, практически за год до его возникновения был сделан долгосрочный прогноз [1]. Целью данной статьи является обсуждение сейсмологической обстановки, сложившейся перед этим землетрясением, позволившей сделать данное прогнозное заключение.

Южно-Ферганская сейсмоактивная зона (рисунок 1) имеет длину порядка 700 км и ширину - 40-50 км. Она простирается в субширотном направлении вдоль Алайского и Туркестанского хребтов на востоке и Нурагинского хребта на западе. В центральной и восточной своей части Южно-Ферганская сейсмоактивная зона охватывает область динамического влияния системы Южно-Ферганских, Куршабских и Талдысуйских разломов субширотного простирания. В западной части сейсмичность Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны обусловлена современной геодинамической активностью БесAPANских и Северо-Нурагинских разломов северо-западного простирания. Считается, что в современной тектонической структуре Западного Тянь-Шаня системы перечисленных разломов являются гранью между погружающейся Ферганской впадиной и воздымающейся Алай-Туркестанской мегантиклиналью [2].

За исторический и инструментальный период наблюдений в пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны произошло множество землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$. К наиболее сильным сейсмическим событиям западной части зоны относятся землетрясение 1892 года с магнитудой $M=6.1$ в районе поселка Нурата и два Ура-Тюбинских землетрясения с магнитудой $M=6.6$ и $M=6.7$, произошедшие в 1897 году с интервалом в два часа на расстоянии около 50 километров друг от друга. Сильнейшие землетрясения центральной части данной зоны - историческое Костакозское землетрясение 1888 года с магнитудой $M=6.2$, а также три землетрясения, произошедшие за последние 50 лет: Исфара-Баткенское 1977 года с магнитудой $M=6.4$; Чимионское 1982 года с магнитудой $M=5.8$ и Канское 2011 года с магнитудой $M=6.1$. Наиболее сильными землетрясениями восточной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны считаются два Куршабских землетрясения 1924 г. с магнитудой $M=6.4$ и $M=6.5$, возникшие в области сочленения Южно-Ферганской зоны с восточным окончанием Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Макросейсмический эффект в ближней зоне при каждом из перечисленных землетрясений составлял не менее 7-8 баллов по шкале MSK-64.

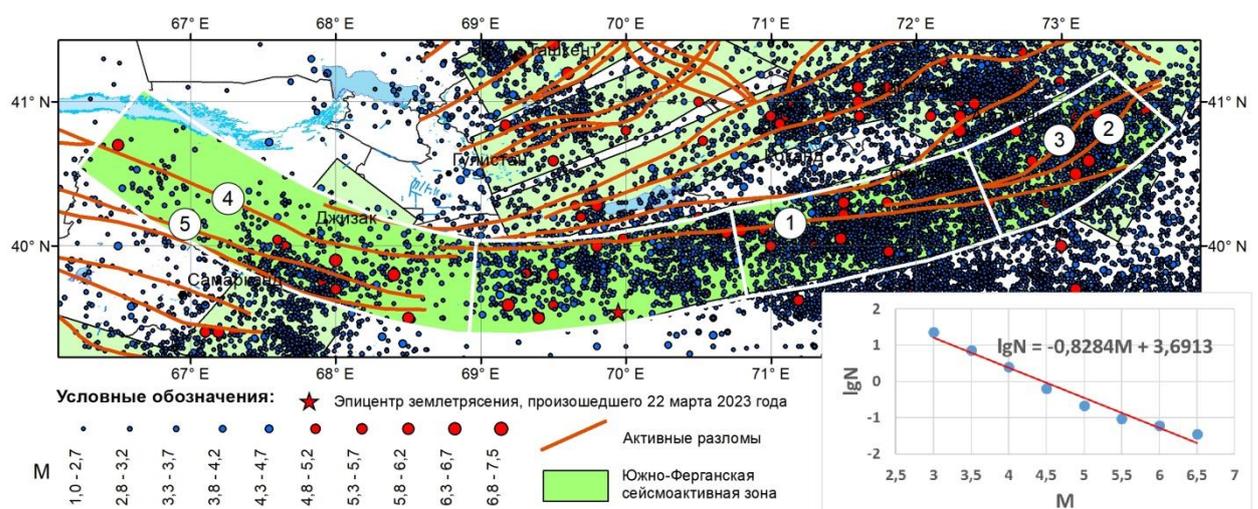


Рисунок 1. Карта эпицентров землетрясений и активные разломы земной коры. Цифры в кружках – номера разломов, входящих в Южно-Ферганскую сейсмоактивную зону: 1- Южно-Ферганский; 2- Куршабский; 3- Талдысуйский; 4 – БесAPANский; 5 – Северо-Нурагинский. Врезка в нижнем правом углу - график повторяемости землетрясений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны

В качестве информационной основы исследования использовался региональный каталог землетрясений территории Узбекистана и прилегающих территорий, составленный в Институте сейсмологии АН РУз. Каталог включает в себя параметры исторических и инструментальных землетрясений. Для классификации сейсмических событий по величине в региональном каталоге длительное время (до 2003 года) использовался энергетический класс землетрясений K , определяемый по сумме амплитуд объемных P - и S -волн, зарегистрированных короткопериодной аппаратурой [3]. В различные временные промежутки двух последних десятилетий для количественной характеристики величины землетрясений использовались различные типы магнитуд. В дальнейшем изложении, наряду с энергетическим классом землетрясения K , мы будем использовать магнитуду mb , определяемую по объемным волнам, которая для каждого сейсмического события рассчитывается в настоящее время. Связь между энергетическим классом землетрясения K и различными типами магнитуд, присутствующими в региональном каталоге, осуществлялась на основе зависимостей [4], полученных для землетрясений Центральной Азии.

С учетом сроков представительной регистрации землетрясений различного энергетического уровня для всей Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны и различных ее сегментов были построены графики повторяемости землетрясений, и определены средние периоды повторения землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$. Исходя из даты последнего землетрясения такой силы в каждом сегменте, в предположении, что сейсмические события образуют Пуассоновский поток событий, была рассчитана вероятность возникновения очередного сильного (с магнитудой $M \geq 5.0$) землетрясения на текущий момент времени (рис. 2).

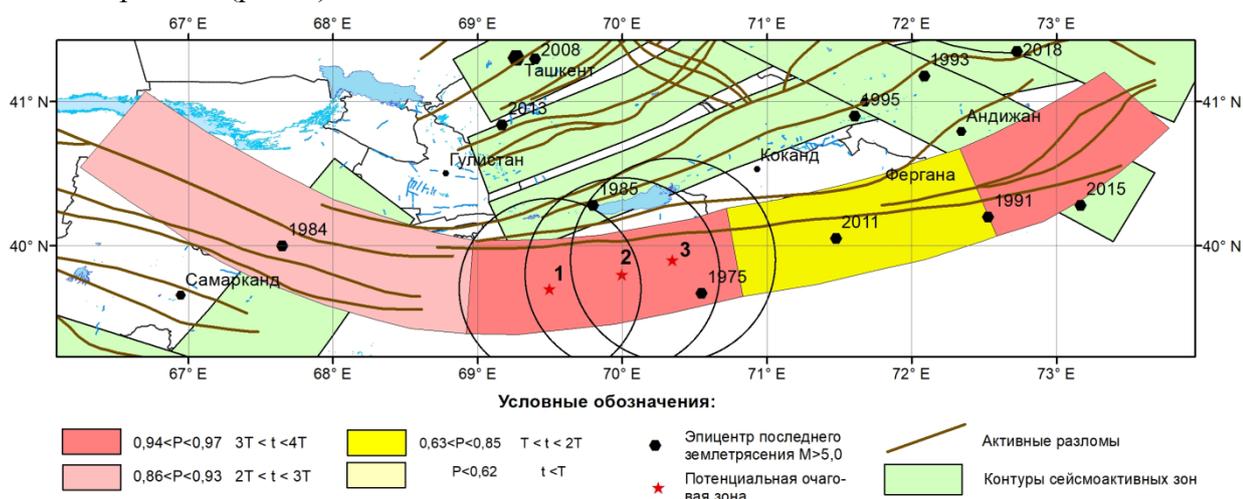


Рисунок 2. Области с различной вероятностью возникновения сильного землетрясения по длительности сейсмической паузы в землетрясениях с магнитудой $M \geq 5.0$. Красными звездочками на рисунке 2 показано местоположение точек, для которых рассчитывались временные флуктуации параметров сейсмического режима. Радиус кругов, в пределах которых проводилось осреднение параметров сейсмического режима, варьировал от 30 до 70 километров.

Как это следует из рисунка, на момент подготовки прогнозного заключения (январь 2022 года) наибольшей сейсмической паузой по землетрясениям с магнитудой $M \geq 5.0$ характеризовались центральная и западная части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 5.0$ в этих сегментах по данному прогностическому признаку превышала 90%.

На рисунке 3 показан пространственно-временной график развития сейсмического процесса в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне. По оси абсцисс отложено расстояние от эпицентра землетрясения до самой крайней точки оси сейсмоактивной зоны, расположенной на западе. По оси ординат – время возникновения землетрясения.

Красными кружками с заливкой показаны землетрясения с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$). Как это видно из рисунка, на 01.01.2022 в центральной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны (между отметками в 200 и 400 километров по оси зоны) сформировалась область сейсмического затишья по землетрясениям с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$), которая могла свидетельствовать о подготовке на данном участке зоны сильного землетрясения. Эта область на рисунке 3 отмечена зеленой линией.

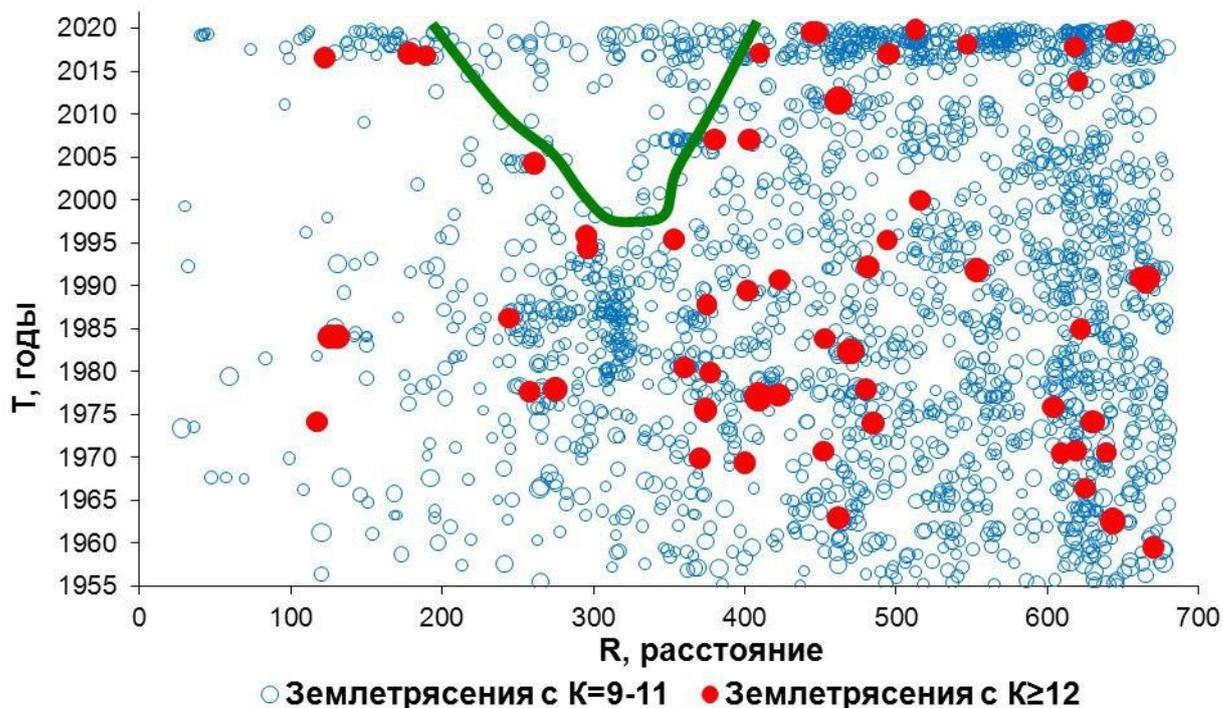


Рисунок 3. Пространственно-временной график развития сейсмического процесса в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне. Линией зеленого цвета показана область сейсмического затишья по землетрясениям с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$)

Высокая информативность прогностического признака, состоящего в уменьшении или же полном исчезновении за несколько лет до момента сильного землетрясения сейсмических событий, отличающихся от магнитуды основного толчка на 2-2.5 магнитуды (3-4 энергетических класса при энергетической классификации землетрясений по величине) отмечается в ряде исследований [5-8].

Для уточнения сейсмологической обстановки в области, где наблюдалось длительное сейсмическое затишье по землетрясениям с энергетическим классом $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$), были проанализированы временные флуктуации суммарного числа представительных землетрясений N_{Σ} и временные флуктуации угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ). Расчет этих параметров проводился для нескольких точек, расположенных в выделенной «области запрета» на землетрясения $K \geq 12$. Местоположение точек, для которых рассчитывались временные флуктуации параметров сейсмического режима, показано красными звездочками на рисунке 2. Радиус кругов, в пределах которых проводилось осреднение параметров, варьировал от 30 до 70 километров. Временное окно при расчете параметра N_{Σ} составляло один год, а для параметра γ , для обеспечения устойчивых статистических оценок - 5 лет. В каждой из трех рассмотренных точек, независимо от выбираемого радиуса осреднения, наблюдалось единообразное поведение параметров N_{Σ} и γ . Для примера, на рисунках 4 и 5 приведены временные флуктуации параметров N_{Σ} и γ в 70-ти километровой окрестности точке №2.

По параметру N_{Σ} на фоне отсутствия землетрясений с $K \geq 12$, отмечается значимое возрастание числа более слабых толчков с энергетическим классом $K=9-11$, которое

началось с 2017 года. При этом отмечается дисбаланс между средним долговременным соотношением числа землетрясений различного энергетического уровня, состоящий в уменьшении значения угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ). Согласно существующим моделям, описывающим процесс подготовки тектонического землетрясения, уменьшение параметра γ является весьма информативным прогностическим признаком и обычно его связывают с укрупнением мелких трещин при формировании магистрального разрыва [6, 7, 9].

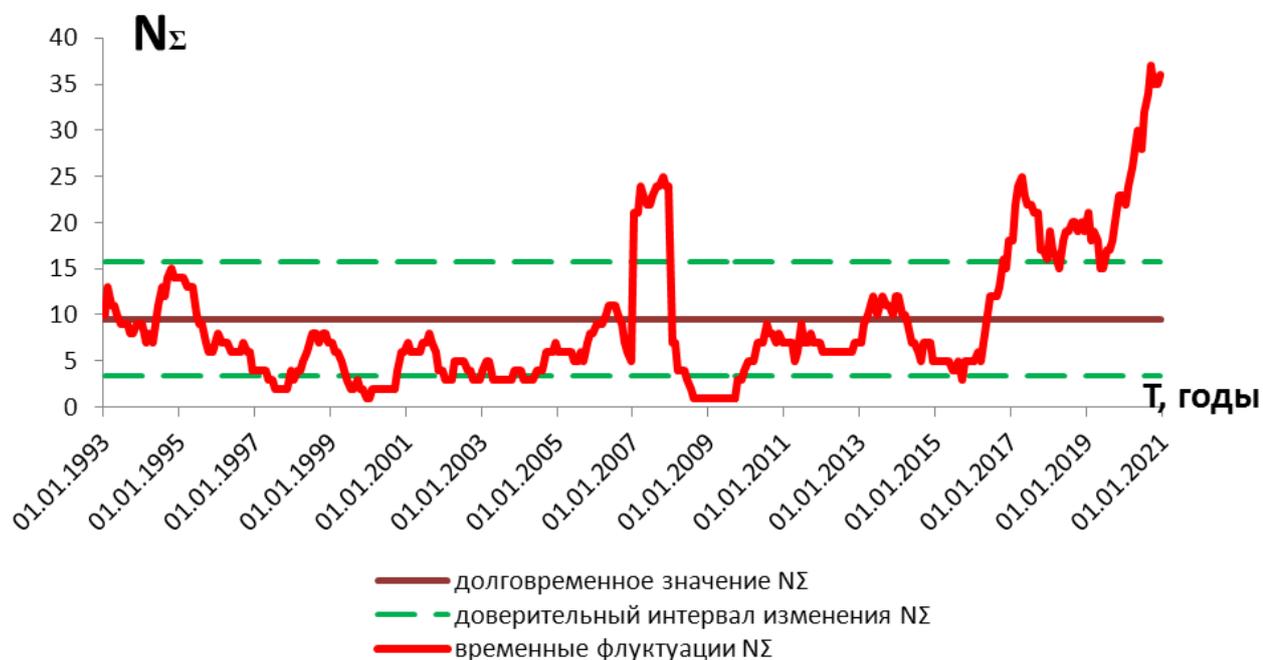


Рисунок 4. Временные флуктуации параметра N_{Σ} в точке №2, расположенной в области сейсмического затишья по землетрясениям с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$)

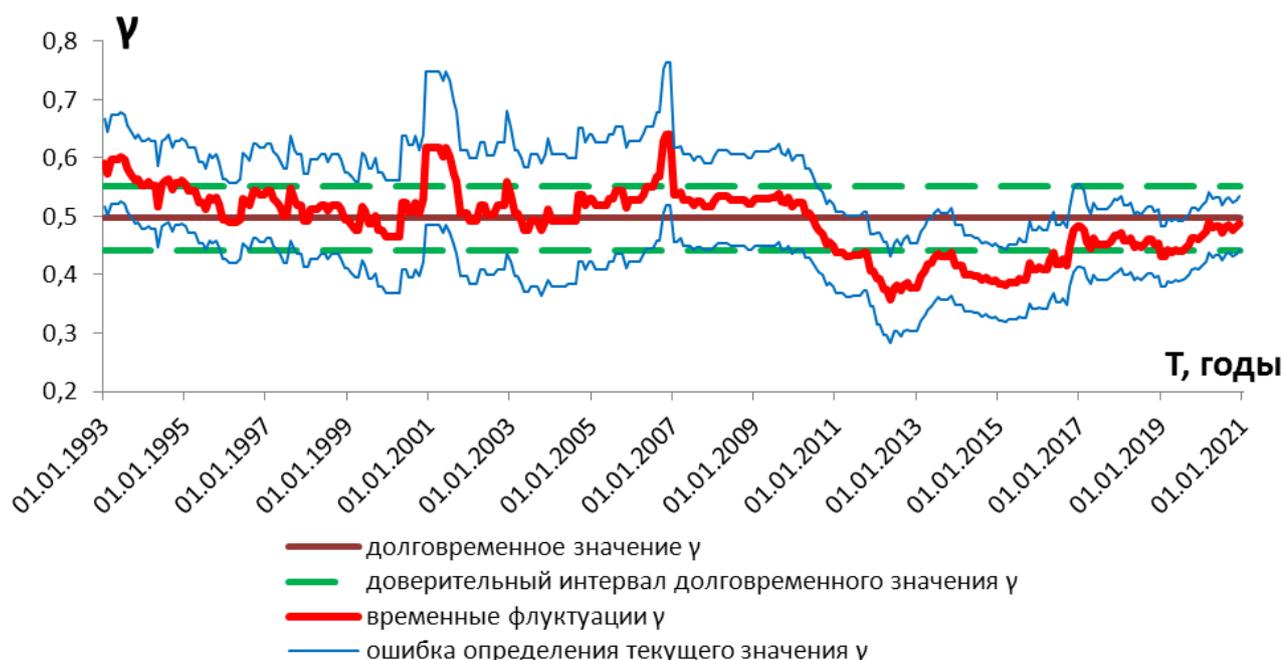


Рисунок 5. Временные флуктуации угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ) в точке №2, расположенной в области сейсмического затишья по землетрясениям с $K \geq 12$ ($M \geq 4.5$)

Учитывая размер территории, охваченной аномальными процессами (длительная сейсмическая пауза в возникновении землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$, почти 20-ти летний запрет на землетрясения с магнитудой $M \geq 4.5$, активизация по слабым землетрясениям, уменьшение угла наклона графика повторяемости), было сделано заключение о возможности возникновения в данном сегменте Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны сильного (с магнитудой $M \geq 6.0$) землетрясения [1].

Литература

1. Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Rebetsky Yu.L., 2023. The probability of a strong ($M \geq 6.0$) earthquake in the South Fergana seismic activity zone in the coming years. *Geodynamics & Tectonophysics* 14(1), 0688 (in Russian) <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-1-0688>
2. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент: Гидроингео, 2002. С. 59–74.
3. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. № 176. С. 75–114.
4. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Решение проблемы неоднородности магнитуд в работах по сейсмическому зондированию территории Республики Казахстан // Вестник НЯЦ РК. 2014. Вып. 4. С. 86–92..
5. Михайлова Р.С. Динамика развития областей сейсмических затихий и прогноз сильных землетрясений // Известия АН СССР. Физика земли. 1980. №10. С. 12-22.
6. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. Москва: Наука, 1993. 314 с..
7. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. Москва: Наука, 2006. 254 с.
8. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент: Изд-во Фан, 2012. 254 с.
9. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. Москва: Наука, 2003. 270 с

Кендирбаева Дж.Ж.

Институт сейсмологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ЭФФЕКТЫ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация. В слежении за ходом геохимических и гидродинамических параметров в Кыргызстане использованы фрактальные характеристики и их вейвлет-спектры, которые способствовали к повышению объективности интерпретации поступающей информации.

Annotation. In Kyrgyzstan tracking the course of geochemical and hydrodynamic parameters, fractal characteristics and their wavelet spectra were used, which contributed to an increase in the reliability and objectivity of the interpretation of incoming information.

Актуальность проблемы. На протяжении многих десятилетий считают, что для сейсмических толчков характерен длительный период подготовки, в течение которого в недрах земной коры происходит накопление упругой деформации огромные запасы разрушительной энергии [1-3]. Во всем мире, где проявляется сейсмическая активность, ведутся поиски методов прогноза землетрясений, среди которых успешно развивается изучение временных вариаций физико-химических подземных вод. Об этом было известно, например, уже на рубеже XIX-XX вв., а именно, колебания уровня и замутнения цвета воды в колодцах перед и после сейсмических толчков. Заметные успехи в этом плане достигнуты Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского, где на

базе Душанбинского научного полигона гелиевые аномалии установлены как краткосрочные предвестники, а ртуть почвенных газов связывали с моментом реализации сейсмических событий [4-5].

Гидрогеосейсмологический мониторинг Кыргызстана представляет собой сеть наблюдений, регистрирующий режим физико-химических показателей, большей частью, термоминеральных вод (ТМВ), причем каждый пункт за счет динамического равновесия с геолого-тектоническими условиями характеризуется собственным набором и концентрациями, доступными в режиме реального времени. В них изучаются более десятков геохимических и гидродинамических показателей, могущих выступать в качестве предвестников землетрясений [6-7].

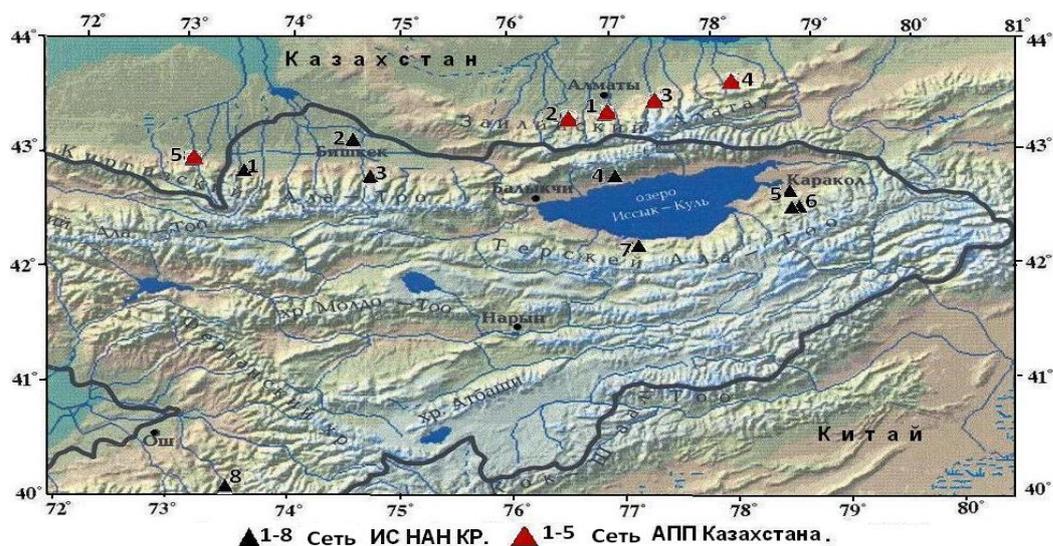


Рисунок 1. Схема сейсмогидрогеологического мониторинга Кыргызской Республики и Республики Казахстан

1-8. Сеть ИС НАН КР: 1- Эркин-Сай. 2 – Бишкек. 3- Аламедин- Иссyk-Ата. 4- Кара-Ой. 5- Каракол. 6- Джети-Огуз. 7- Каджи-Сай. 8- Сопу-Коргон. **1-5.** Сеть Алматинского полигона (АПП) Казахстана: 1- Алма-Арасан. 2- Нижняя-Каменка. 3- Тау-Тургень. 4- Курам. 5- Мерке

В результате этого, несмотря на отсутствие повторяющихся форм и амплитуды колебаний, выяснилось наличие взаимосвязей между формированием гидроаномалий и сейсмичностью, причем выделены периоды, предшествующие и сопутствующие процессам подготовки и реализации землетрясений, а их неоднородность- это участие различных источников питания, сложных путями и многофакторностью преобразования [8]. Поэтому для повышения модели теоретических построений и характера этих зависимостей непрерывно проводится совершенствование методики их обработки и интерпретации.

Методика исследований. Одним из современных подходов в обработке режимных данных, поступающих от пунктов наблюдений, является статистический и спектральный методы. Так, автоматизированный способ обработки каждого параметра обеспечивает среднемесячными значениями (x_1), величинами среднеквадратичного отклонения ($\pm \delta$), дисперсии (S) и нормирования ряда для доверительного интервала ($\pm 2\delta$), а дисперсия рассматривается. естественной мерой его рассеивания относительно центра распределения, тогда как коэффициент вариации вычисляется через отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению (%), а по их взаимкоррелируемости определяются функциональные связи между параметрами, например, между хлором, кальцием, магнием, гидрокарбонатами, карбонатами, углекислым газом, а также каждого из них с величиной рН и температурой.

Максимальная амплитуда колебаний параметров гидрогеологических полей, обусловленная воздействием атмосферных явлений и приливообразующих сил, выявлена с помощью коэффициентов барометрической и приливной эффективности, а предвестниковые признаки - совмещением с сейсмической обстановкой региона и структур. При этом необходимо учесть, что при превышении коэффициентов приливов барометрической эффективности, они рассчитываются для периодов новолуния и полнолуния, на максимум уровня или напора подземных вод.

Из среднегодовой информации высчитаны среднегодовые значения, откуда с применением фильтра выделены составляющие, у которых сезонные колебания отсутствуют. Таким способом построенные вариационные кривые позволяют разделить гидрогеологические циклы, имеющие закономерный характер случайные сигналы, у которых среднемесячные значения, среднеквадратичные отклонения и коэффициенты вариаций, внезапно начнут пульсировать, а периоды сейсмического затишья рассматриваются отправным положением в распознавании подготовки даже удаленных на дальние расстояния эпицентров землетрясений.

К сегодняшнему дню временные ряды после такой обработки содержат колебания с периодом от 2 до 10 дней, чувствительные к воздействиям внутри земных напряжений. В то же время на графиках временных рядов любой длительности видно, что в каждом пункте, испытывающем непрерывное воздействие колебательных процессов, прослеживается собственная тензочувствительность [9].

Полученные результаты и их обсуждение. Временные ряды на графиках образуют кривые из протяженных линий, в характере которых не отражается очевидная роль нарушений, т.к. их реальная сеть представляет собой разнопорядковую систему со слабо выраженной анизотропной организацией земной коры.

Каждый пункт наблюдений рассматривается как результат суммы воздействия внешних и внутренних процессов, который, благодаря нахождению в геологических пластах и слоях разного возраста и происхождения, местами интегрируется в целостную систему. В качестве примера ниже приведены выходы термоминеральных вод под названием «Тескейская гидротермальная линия», а также Уч-Кайнар и Каджи-Сай в Иссык-Кульском бассейне, «Иссык-Ата» и «Аламедин», «Красный-Пахарь» и «Сокулук» в Чуйской впадине (табл. 1).

Таблица 1 Физико-химические показатели ТМВ

Типы структур	Вмещающие породы и их возраст	T ⁰ C	Мг/л	Химический состав, мг-экв./%	Название водопунктов
Тескейский гидрогеологический массив	Каледонские интрузии и палеозойские сланцы	32-50,5	0,25-0,3	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ (Na+K)Ca SO_4Cl (Na+K)Ca	Источники и скважины «Тескейской гидротермальной линии», Аламедин, Иссык-Ата
Иссык-Кульский и Чуйский бассейны	Песчаники, конгломераты неогена	30-48	0,25-0,8	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ (Na+K)Ca SO_4Cl (Na+K)Ca	Учкайнар, Джергалан, Каджисай Красный Пахарь

Исходя из этого, в слежении за ходом геохимических и гидродинамических параметров, как в региональном плане, так и по локальным геолого-тектоническим структурам использована фрактальность, базирующаяся на степенной зависимости между площадью A(p) концентрации иона, превышающей p, и величиной p, что записано в виде:

$$A(p) = CpD, \text{ где}$$

C - некоторая константа в распределении параметра;

D-степень фрактальной размерности распределения аномалий, который для различных диапазонов концентрации может иметь несколько значений.

О том, что гидрогеохимические аномалии носят фрактальный характер известно достаточно давно, поскольку фрактальная фильтрация изначально разработана для создания критериев о скоплении полезных ископаемых. Ниже на примере гидрогеологической системы описаны оценочные возможности фрактального подхода для комплексирования методов гидрогеологии и сейсмичности, несмотря на отсутствие между ними как внешней, так и внутренней схожести.

В исследовании фрактальных сред научным инструментом служат вейвлет-преобразования, которые из внешне хаотических совокупностей самоподобных объектов выделяют структуры нужного масштаба [10]. Начнем с динамики диффузии в ТМВ, обуславливающей появление, распределение и накопление аномалий. На рис. 2 и 3 показаны результаты обработки CO_2 во временных рядах «Джеты-Огуз», где по исходному полю выделена аномальная зона (рис. 2), которая сопоставляется с записями сейсмических станций, зафиксировавших в этом районе землетрясение.

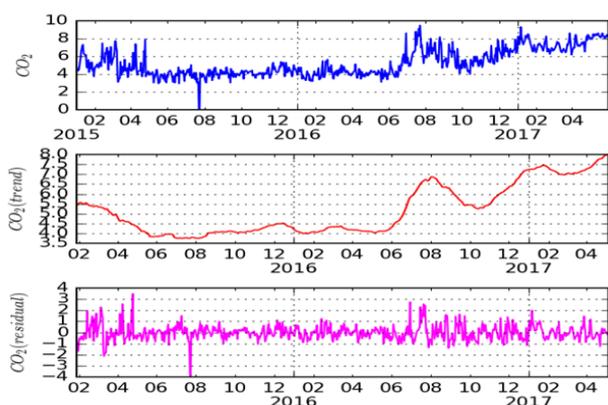


Рисунок 2. Исходный по CO_2 временной ряд, низкочастотный тренд, вариации после устранения тренда и периодических составляющих

На рис. 3 представлены временные вариации характеристик после удаления тренда и периодической составляющей. Горизонтальными уровнями отмечено среднее значение (равное 0), среднеквадратичное отклонение (СКО) и уровень $2 \cdot \text{СКО}$.

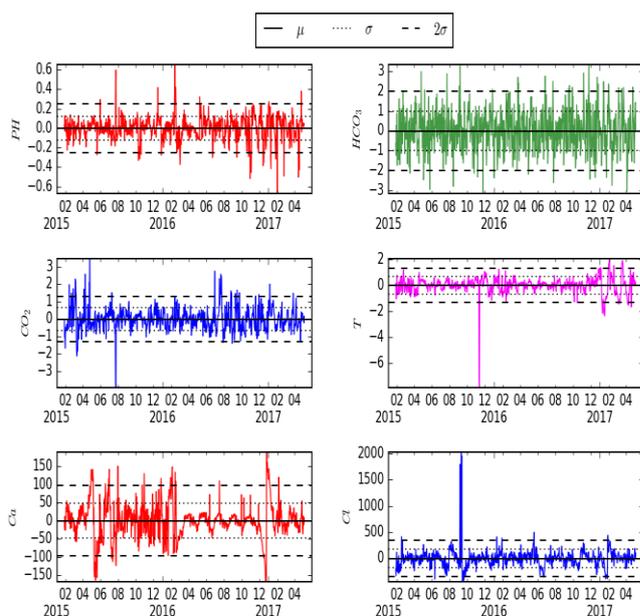


Рисунок 3. Вариации физико-химических параметров ТМВ «Джеты-Огуз» после устранения тренда и периодических составляющих (обозначение уровней: сплошная – среднее значение, пунктирная – СКО и штриховая – $2 \cdot \text{СКО}$)

Вариации параметров, превышающих 2σ , анализируются на возможные связи с сейсмичностью. Во всех параметрах ТМВ, учитывая аномальное отклонение от средних значений, суммированы отдельные составляющие на свои максимальные значения (рис. 4), после чего они объединены в общий временной ряд (D), дополненный классом землетрясений (K), близких по времени появлению гидроаномалий.

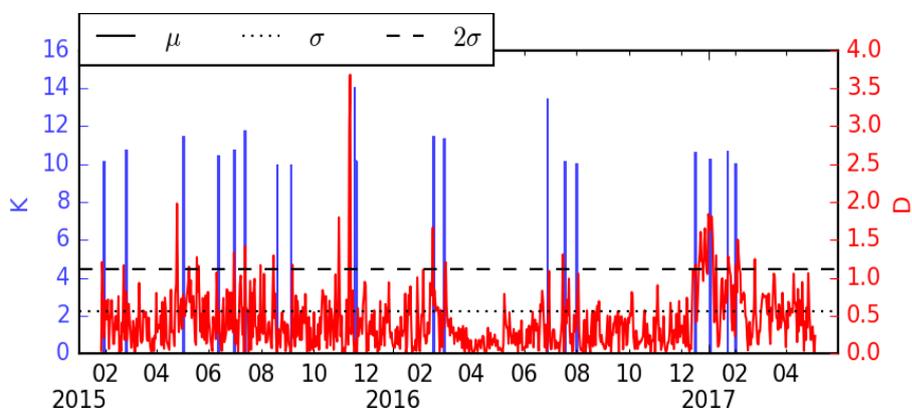


Рисунок 4. Интегральные временные вариации ТМВ «Джеты-Огуз» после устранения тренда и периодических составляющих (обозначение уровней: сплошная – среднее значение μ , пунктирная – σ (СКО) и штриховая – 2σ) и энергетический класс землетрясений по [2]

После этого анализируются фрактальные характеристики распределения аномалий всех параметров на основе вейвлет-преобразования, в результате чего выделяются уровни каждого из них, отделяющие аномальные зоны.

Рассмотрев сейсмические события, произошедшие после появления гидроаномалий (рис. 5) и сравнив их распределение за рассматриваемый период, можно сказать, что ТМВ «Джеты-Огуз» способны улавливать как локальные, так и отдаленные подземные события.

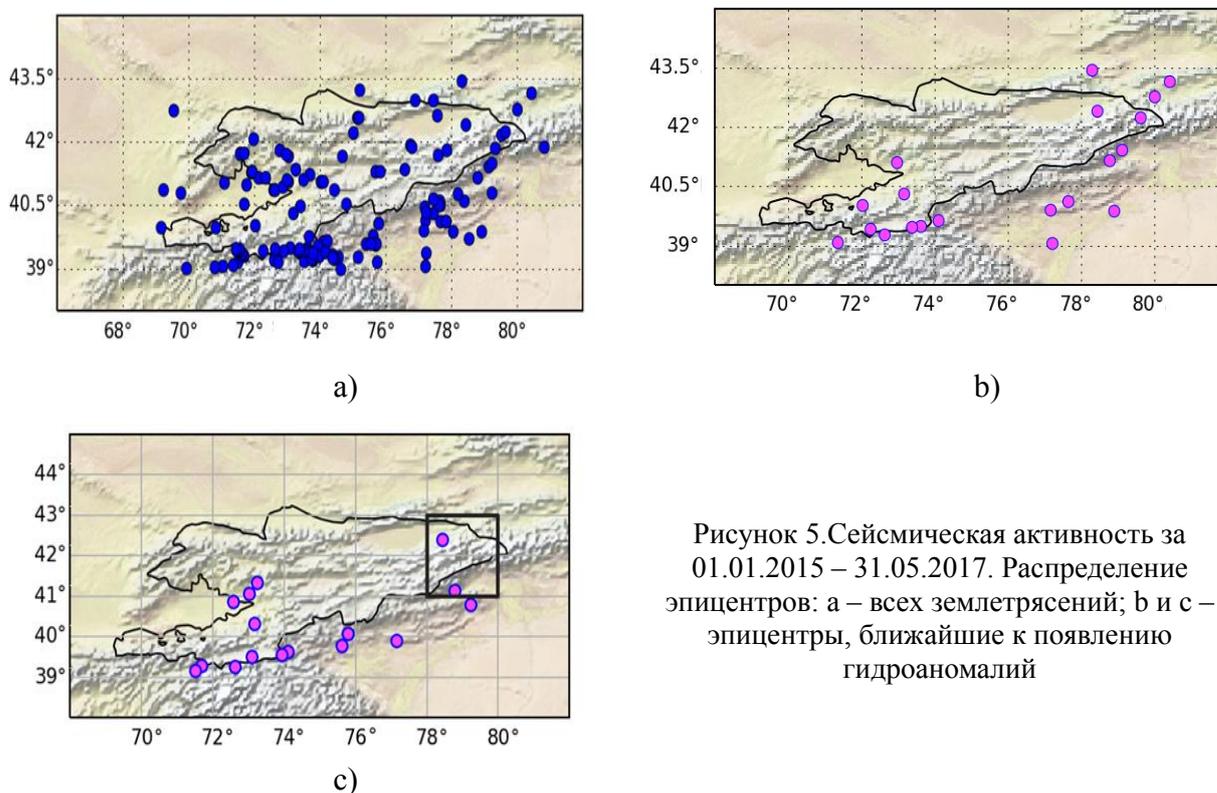


Рисунок 5. Сейсмическая активность за 01.01.2015 – 31.05.2017. Распределение эпицентров: а – всех землетрясений; б и с – эпицентры, ближайšie к появлению гидроаномалий

Таким образом, фрактальные характеристики гидроаномалий и их вейвлет-спектры дают обстановку для анализа и интерпретации информации и может обеспечить результативность повышении достоверности и объективности интерпретации поступающей информации.

Выводы. Проблемы решения прогноза землетрясений затруднены из-за многофазности ТМВ, в которой гидрогеохимические и гидродинамические всплески- это результат взаимодействия двух и более сред, существенно отличающихся по своей физико-химической природе.

В слежении за ходом геохимических и гидродинамических параметров, как в региональном плане, так и по локальным геолого-тектоническим структурам существенный вклад может внести фрактальность. На поверхности земли наблюдаются выходы каналов, которые объединены фрактальными характеристиками, тесно связанными в самоподобную систему с собственно аномалиями термальных вод.

Литература

1. Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений /Тектонофизическая концепция. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014.
2. Каталог землетрясений за 2014-15гг. Бишкек. Институт сейсмологии НАН КР. 2015-2017гг.
3. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. - 2005. - Т.46. - № 11. - С. 1176-1190.
4. Куликов Г.В., Рыжов А.А., Гарифулин В.А., Лыгин А.М. Оценка геодинамической обстановки и сейсмической опасности по энергетическим параметрам и векторам напряжений гидрогеодеформационного поля //Разведка и охрана недр. 2010. № 7. – С. 19-24.
5. Вартанян Г.С., Бредехофт Дж.Д., Роуэллоффс Э. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений //Советская геология, №9, 1991. – С. 3-12.
6. Абдуллаев А.У., Гав ШавЧи, Мамыров Э.М., Гребенникова В.В., Юсупов Ю., Тукешева Г.Е. Международное сотрудничество гидросейсмологов с целью мониторинга флюидных параметров и прогнозирования сильных землетрясений в Тянь-Шанском сейсмоактивном поясе //Тезисы докладов 6-го Международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». ИС РАН в г. Бишкек. Бишкек 2014. – С. 225-227.
7. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. Основные результаты гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня. Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2013, №2. – С. 33-43.
8. Кендирбаева Дж.Ж. Основные принципы регионального анализа гидрогеологической системы Кыргызстана как источника информации прогноза землетрясений //Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014, №2. –С. 65-69
9. Кендирбаева Дж.Ж. Об основных процессах к интерпретации гидрогеохимических изменений в целях прогноза землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014, №2. –С. 87-95 (kis@mail.elcat.kg)
10. Сычев В.Н., Долгополов Б.К., Имашев С.А. Методика мультифрактального анализа сейсмического шума // Геосистемы переходных зон. 2017. № 2 (2). С. 62–68.

Керамова Р.А., Кудрявцева Е.Н., Гулиева Ш.О., Керамова А.А.,
РЦСС при НАНА, seismogeochemistry@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АЗЕРБАЙДЖАНА

Аннотация. Влияние сейсмичности на режим подземных вод проявляется в изменениях геодинамических, геохимических и геотермических параметров режима скважин и источников.

Гидрогеологические предвестники, как аномальные изменения в режиме подземной гидросферы, создаются в результате процессов подготовки землетрясений, и основной целью их изучения является получение достоверной информации о пространственно-временных проявлениях аномалий физико-химических параметров подземных вод перед землетрясениями с целью разработки сеймопрогностических методов. Круглогодичный мониторинг режима подземных вод в Азербайджане является чрезвычайно информативным для решения этой задачи.

Режим подземных вод формируется в определенных условиях под действием природных и искусственных факторов. Среди природных особое значение имеет геологические факторы, которые могут резко изменить условия залегания подземных вод и повлиять на их режим. К таким процессам относятся прежде всего эндогенные процессы - землетрясения и вулканические извержения - в результате чего происходит резкое изменение уровней и расходов воды в скважинах и родниках, появляются новые и исчезают существовавшие до землетрясения родники (озеро Гейгель образовалось в результате разрушительного землетрясения, произошедшего близ Гянджи 30 сентября 1139 года).

Территория Азербайджана и прилегающая акватория Каспийского моря имеют сложное геологическое строение и в сейсмическом отношении относятся к чрезвычайно сейсмически активным регионам Земли.

Сейсмофлюидодинамические исследования РЦСС при НАНА начаты под руководством Керамовой Р.А. в 1979 году и продолжаются по настоящее время.

Регионы круглогодичного СФД мониторинга:

а) мегантиклинорий Большого Кавказа: южный склон (Шамахинский, Шекинский районы) и северо-восточный склон (Сиязаньский, Хачмазский районы); б) его юго-восточное окончание (Абшеронский полуостров); в) азербайджанская часть Талыша (Лянкяранский район).

Сейсмогеохимический мониторинг представлен гидро-, газо- и радиогеохимическими наблюдениями.

Цель этих исследований: а) изучение влияния сейсмических процессов в очаговых зонах территории Азербайджана и акватории Каспия на СФГД режим; б) оперативная оценка сейсмической обстановки и выявление зон напряженно-деформированного состояния геологической среды по аномалиям в СФГД полях Азербайджана.

Исследования включают круглогодичный мониторинг режима по 15-ти геохимическим параметрам 19-ти объектов наблюдений на 6-ти геохимических станциях (рис.1). Объектами круглогодичного мониторинга являются: а) подземные трещинно-жильные и артезианские воды источников и скважин (19-27 объектов в разные годы) в 6-ти сейсмоактивных регионах; б) морская вода побережья Каспийского моря в 3-х районах Республики (до 2022 года); газы, растворенные в водах, и эманации радиоактивных веществ на локальных участках поверхности Земли.



Рисунок 1 Расположение геохимических станций Азербайджана

Условные обозначения:

Районы Азербайджана (гх/ст):

1. г. Баку ("Биби-Хейбят"-1979-2023 гг.)
2. Шамахинский ("Шамахи"-1983-2023 гг.)
3. Шекинский ("Киш"-1981-2023 гг.)
4. Лянкяранский ("Осаkjюджа"-2001-2023гг.)
5. Сиязанский ("Беjюк-Гамья"-2001-2023гг.)
6. Хачмазский ("Мугтадыр"-2013-2023гг.)

-  - стационарные геохимические станции (гх/ст) – 1979-2023 гг.
-  - колодезная вода
-  - источник минеральных вод
-  - скважины (геолого- разведочные, артезианские и субартезианские)

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляются дискретно 5 раз в неделю, 1 раз в сутки и включают в себя измерения температуры и уровня воды, наблюдения за изменением цвета, отбор проб воды для последующего их анализа в лабораторных условиях, измерения R_p в воде, альфа поля. В набор наиболее эффективных гидрогеохимических прогностических показателей в пробах воды входят кислотно-щелочной показатель pH, электро-химический потенциал Eh, гидрокарбонат (HCO_3), карбонат CO_3 , сульфат (SO_4^{2-}), Общ. ж., концентрации ионов $\sum(\text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$, кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), $\sum(\text{Na}, \text{K})^+$, Mineral, сумма $\sum(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})$, R_p в воде, альфа поле. В целом, ежедневно со всех объектов наблюдений в центр обработки передается более 280 единиц информации.

Регион оценки сейсмической обстановки – акватория Каспия, территория Азербайджана и сопредельных стран (Россия-Дагестан, Грузия, Армения, Турция, Иран). При этом указывается возможность подготовки к реализации не только сильных, но также среднеошутимых и слабоошутимых сейсмических событий.

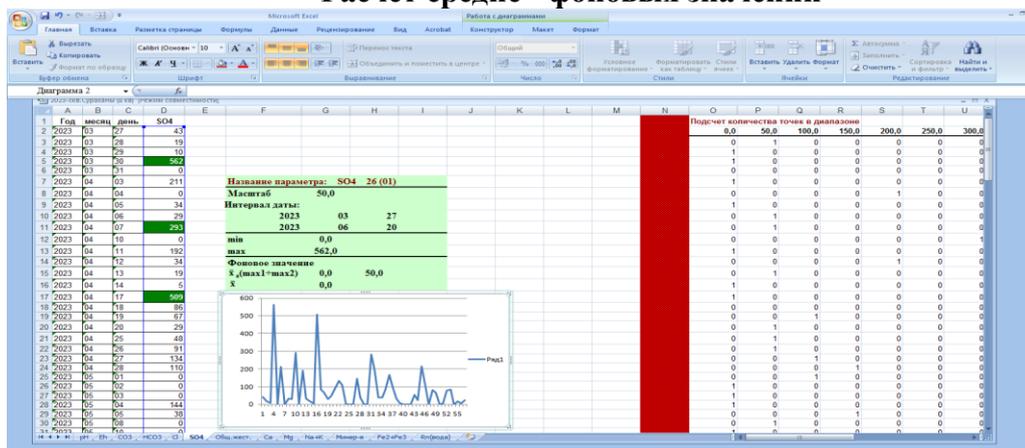
Информация о сейсмологических параметрах используется из опубликованных в интернете на сайтах <https://seismology.az> (РЦСС при НАНА) и <http://www.ceme.gsras.ru> (ФИЦ ЕГС РАН (Россия - г. Обнинск))

Влияние сейсмичности на режим подземных вод проявляется в гидрогеосейсмических вариациях, представляющих характерные (повторяющиеся) изменения гидрогеохимических и гидрогеодинамических параметров режима скважин и

источников. При подготовке землетрясения гидродинамические условия в водоносной системе изменяются, и стационарный режим водообмена нарушается. Именно флюиды в системе “вода-порода” являются чутким индикатором сейсмических, тектонических, физико-химических и др. процессов. Установлено, что каждый из параметров объектов наблюдения для разных станций наблюдений по-своему реагирует на процессы, происходящие в геологической среде.

Для каждого параметра всех объектов наблюдения были получены многолетние сезонные средние - фоновые значения, дисперсия параметров и зафиксированы их аномальные флуктуации накануне многих сильных землетрясений.

Расчет средне - фоновых значений



При корреляции данных мониторинга с сейсмичностью было установлено кратковременное изменение концентрации параметров в составе флюидов при подготовке как локальных ($m \geq 3.0$) так и глобальных землетрясений ($m_b \geq 5.0$).

Выявлено, что большинство предвестниковых аномалий относится к числу краткосрочных, появляющихся на заключительном этапе, поскольку опережение их составляет 1-16 суток.

Пространственно-временные гидрогеосейсмические вариации являются основными источниками информации о процессах в подземных водах, вызванных сейсмичностью. Мониторинг геохимических параметров позволяет выявлять зоны напряженно-деформированного состояния геологической среды и определять зоны максимальной сейсмической активности.

Определение аномальных значений параметров объекта наблюдения.

Legend for anomalies:

- Green cell: - положительная аномалия
- Red cell: - отрицательная аномалия

Рисунок 2 «Фрагмент Базы Данных флюидодинамического мониторинга

Аномальным считается выход значений за пределы $ср. фон \pm 3\sigma$ для параметров

объектов наблюдения Абшерона и ср. фон $\pm 2\sigma$ для станций Шамахи, Шеки, Сиазань, Лянкяран и Хачмаз.

При подготовке землетрясений различной магнитуды аномальные возмущения геохимического поля по времени проявления и в комбинациях элементов-индикаторов имеет индивидуальный и стабильный геохимический «портрет».

На основе ежедневной интерпретации данных, полученных со всех станций, с помощью специальной программы в отделе «Комплексные геохимические исследования» строятся идентификационные графики (ИГ), в которых отражаются совокупная информативность всех станций (рис.2). В них отражено сочетание СГД аномалий (положительное или отрицательное фазовое значение) различных параметров объектов наблюдения за 1-16 дней до события.

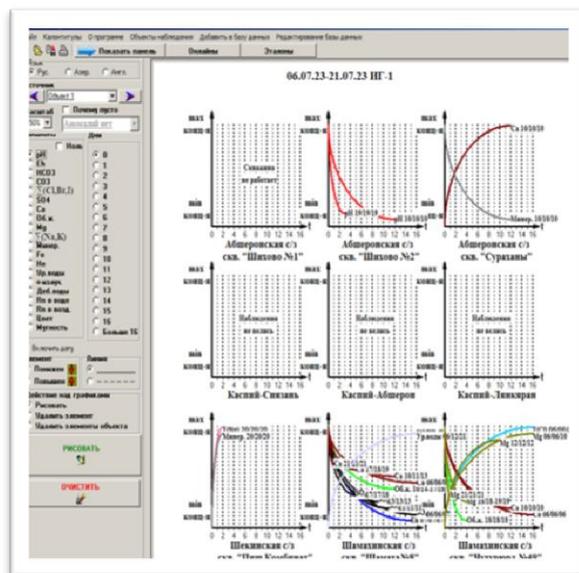


Рисунок 2. Построение ИГ по ежедневным данным мониторинга

В пределах конкретного тектонического разлома, в одной и той же очаговой зоне формируются аномалии идентичных параметров. При повторной реализации землетрясения в одном и том же очаге с аналогичными сейсмическими параметрами (магнитуда, глубина) его геохимический «портрет» стабилен.

В результате для многих ощутимых и сильных землетрясений, очаги которых были реализованы в акватории Каспия, на территории Азербайджана и сопредельных стран были составлены «сейсмогеохимические портреты».

В «Атласе эталонных геохимических» портретов» представлены графики только тех сейсмических очагов, которые неоднократно были реализованы и могут служить эталоном при сравнении с выявленными аномалиями в СГД полях на конкретную дату мониторинга.

Метод идентификации сейсмического очага, разработанный Р.А.Керамовой по аномалиям в СФГД полях, позволяет установить примерное время и место ожидаемого сейсмособытия. Области, где с большой долей вероятности ожидается напряженное состояние, определяются в результате сравнения ИГ- «он-лайн», построенной на основе ежедневных данных с ИГ-эталоном уже реализованных землетрясений. Сравнения производятся как визуально так и в автоматическом режиме.

В качестве примера эффективности разработанного метода приведены результаты оценки напряженного состояния в Каспии 2022г. Сравнение произведено 25.05.22, а через 9 дней 03.06.22 г в этой зоне произошло землетрясение ($m_l=3.6$) на расстоянии 22 км от прогнозируемого участка.

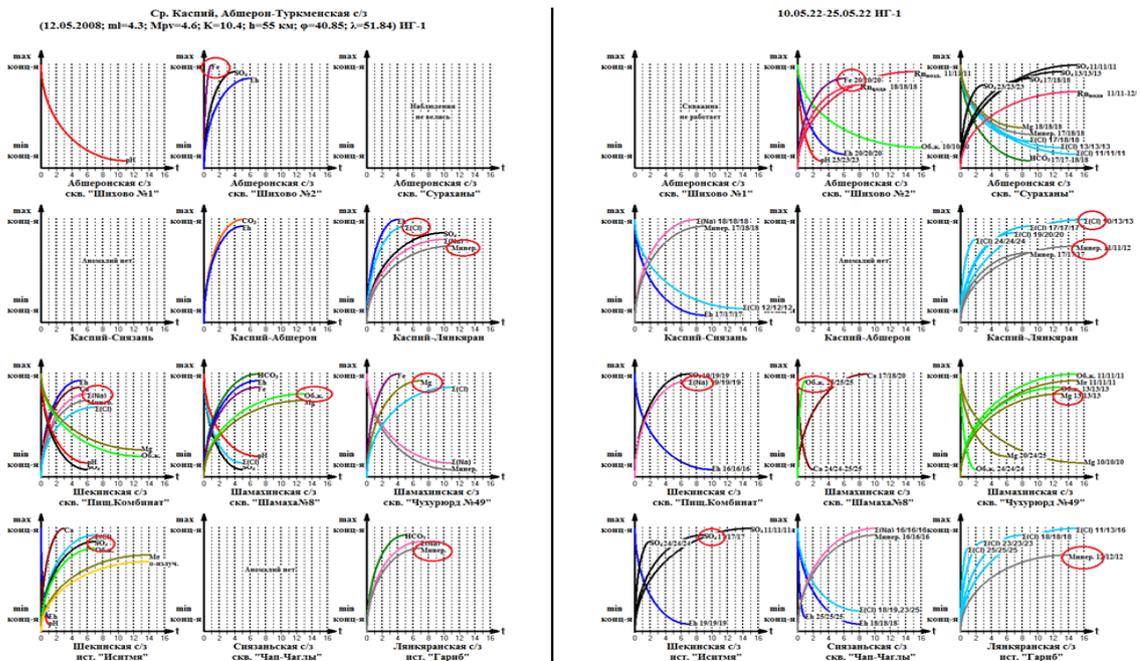


Рисунок 3 Сравнение ИГ-эталона землетрясения в Каспии 12.05.08 и ИГ- «он-лайн» 22 года.

Совпадающие аномалии обведены красным овалом. Наличие 6 и более совпадений может указывать на напряженное состояние в сравниваемом регионе. Установлено что каждый из параметров объектов наблюдения для разных станций наблюдений по-своему реагирует на процессы, происходящие в геологической среде.

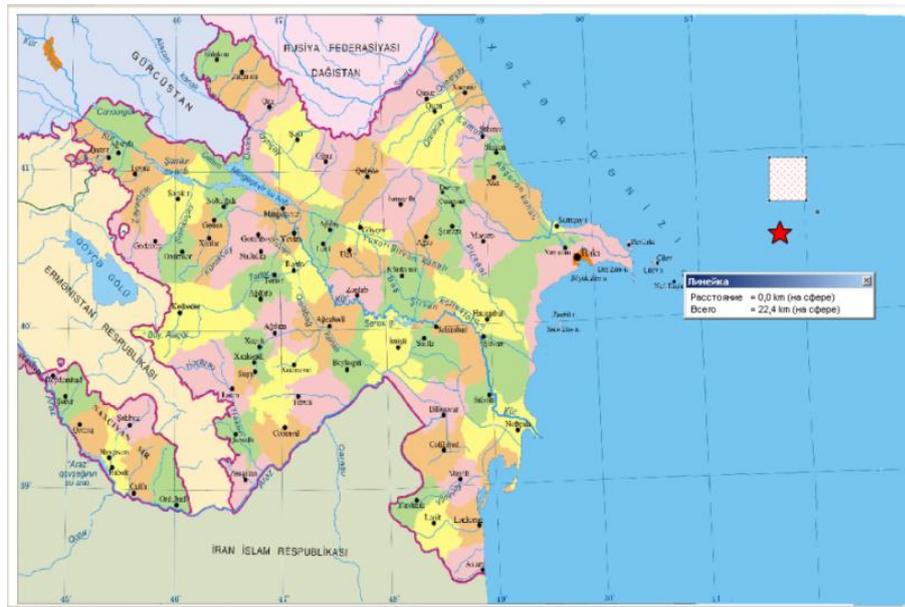


Рисунок 4 Карта подтверждения для землетрясения в Каспии.

- местоположения очага 03.06.22 в Каспии (Абшероно-Туркменская с/з)



- предполагаемое место сейсмической напряженности по аномалиям СФГД

В 2017 г. по просьбе руководства МЧС Республики Дагестан метод прогнозирования был успешно протестирован на землетрясениях Дагестана. Керамовой Р.А получена награда (ПОЧЁТНАЯ ГРАМОТА) из ГУ МЧС (Россия-Дагестан) и положительный отзыв эксперта Госдумы России по безопасности объектов ТЭК А.Н.Марчука.

Ведущиеся во многих странах мира наблюдения за подземными водами показали, что

возникающие при землетрясениях упругие колебания в земной коре сопровождаются не только нарушением равновесия между отдельными блоками литосферы, но и влияют на изменение режима подземных вод, причем эти изменения в зависимости от силы землетрясения могут охватывать огромные площади и фиксируются далеко за его пределами. Произошедшие в этом году землетрясения в Иране (18.01.23 ml=6.0 h=2 км и 28.01.23 ml=6.1 h=10 км) и Турции (06.02.23 ml=7.8 h=10 км) также отразились в аномалиях воды наблюдаемых объектов на Абшероне, в Шамахинском и Хачмазском районах Азербайджана.

СФГД исследования в отделе “Комплексные геохимические исследования” РЦСС при НАНА продолжают.

Выводы.

1. Выявление информативных параметров гидрохимического состава подземных вод отдельных станций наблюдения дает возможность определения деформационного изменения состояния геологической среды для конкретных регионов.

2. Изучение аномалий геохимических параметров позволяет проводить оперативную оценку сейсмической обстановки и заведомо выявлять сейсмически напряжённые участки в акватории Каспийского моря, территории Азербайджана и в сопредельных регионах.

3. На основе ежедневной интерпретации данных круглогодичного СФД мониторинга режима флюидов была неоднократно выполнена корректная оценка сейсмической обстановки в акватории Каспия, территориях Азербайджана и сопредельных стран (Россия – Дагестан, а также – Чечня; Грузия, Иран).

Литература:

1. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.:Наука, 2009. 328 с

2. Р.А.Керамова,Т.Б.Асадов Сейсмогеохимический «портрет» землетрясения – отражение энергоинформационного поля воды.

3. Р.А.Керамова Экспресс методы определения основных параметров прогнозируемого землетрясения по геохимическим полям флюидов.

4.Р.А.Керамова, Магомедов Х.Д.,Гулиева Ш.О,Адилов З.А, Сейсмогеохимические аномалии в подземных водах Азербайджана – индикатор сильных землетрясений в России (Дагестан – 03 мая 2017 г.)

5. Копылова Г.Н. Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. Вып. 7. № 1. С. 50–66.

6. Р.А.Керамова Сейсмичность и геохимические поля флюидов Азербайджана.

Колумбетова К.К., Амиров Н.Б.
ТОО «Институт сейсмологии», МЧС РК

СВЯЗЬ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ РАЗНОСТЕЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПУНКТОВ GPS ИЗМЕРЕНИЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУТОК

Аннотация. В целях выяснения физической природы скоростей перемещения пунктов GPS детально рассмотрены связи перемещения в горизонтальном и вертикальном направлениях пунктов GPS, размещенные в горной области и прилегающих к горной области впадинах. В данной статье представлены выводы, основанные на коэффициентах корреляции между изменениями абсолютных значений разностей составляющих пунктов GPS измерений с данными числа Вольфа и с изменением продолжительности суток.

Abstract. In order to clarify the physical nature of the velocities of movement of GPS points, the links of movement in the horizontal and vertical directions of GPS points located in the mountainous area

and depressions adjacent to the mountainous area are considered in detail. This article presents conclusions based on the correlation coefficients between changes in the absolute values of the differences between the components of the GPS measurement points with Wolf number data and with a change in the length of the day.

GPS-наблюдения проводятся на 11-ти перманентных станциях в непрерывном режиме. Данные по 4 пунктам имеются с 2005, по остальным (кроме пункта sel2 (Медео) – с 2016) с 2009 года. На рисунке 1 показана схема расположения пунктов GPS наблюдений. Для исследования GPS измерений и визуализации были применены простейшие арифметические и геометрические вычисления и построения графиков средствами компьютерных программ MicrosoftExcel, Originlab, GoogleMaps. Специализированные программные пакеты для обработки GPS данных, наподобие GAMIT/GLOBK не использовались, кроме первичного преобразования сырых данных, где использовался пакет LeicaGeoOffice.

Данные наблюдений абсолютно синхронные, коэффициент корреляции между одноименными составляющими в единичных случаях порядка 0.8 не ниже, а в большинстве случаев порядка 0.9 – 1.0. Чтобы при таком высоком синхронном ходе уловить изменение применяется так называемая «методика разностей».

Для расчета движения поверхности пункт Курты принимается за точку отсчета, относительно которой изменяются координаты остальных пунктов в горизонтальной и вертикальной направлениях, то есть рассматривается движение в замкнутой системе 11 пунктов (Табл.1).

Таблица 1. Данные о смещениях, скоростях смещений, направлениях векторов скоростей смещений, деформации и т.д. для пунктов Кастек, Чилик, Саты относительно пункта Курты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Length, m	Lш, m	Lд, m	Lм, m	H, m	Period, yr	dLм, m/yr	Angle, grad	H, m/yr	Def, $\frac{3}{2}$	
Кастек-Курты	9E+6	2.64	.33	.66	.70	2.7	.1	7	.33	6.9E-8
Чилик-Курты	7.0E+6	1.93	1.14	.24	6.80	2.7	.8	20	1.08	3.2E-8
Саты-Курты	9.2E+6	4.95	1.41	.15	.75	1.5	.5	06	.52	6.9E-8

В таблице 2 приведены коэффициенты корреляции между составляющими «современных движений пунктов и солнечной активности» и «современных движений пунктов и изменением продолжительности суток».

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между изменениями абсолютных значений разностей составляющих пунктов GPS измерений с данными числа Вольфа (ssn) и с изменением продолжительности суток (lod).

Разность пунктов	Коэффициенты корреляции между солнечной активностью (ssn) и составляющими (Лш,Лд,Н)		Коэффициенты корреляции между изменением продолжительности суток (LOD) и составляющими (Лш,Лд,Н)	
	среднемесячные	среднегодовые	среднемесячные	среднегодовые
Кастек_Лш-Курты_Лш	0.3	0.6	0.0	0.4
Кастек_Лд-Курты_Лд	0.3	0.4	0.0	0.4
Кастек_Н-Курты_Н	0.1	0.1	0.2	0.3
Чилик_Лш-Курты_Лш	0.4	0.7	0.2	0.4
Чилик_Лд-Курты_Лд	0.2	0.3	0.1	0.2
Чилик_Н-Курты_Н	0.2	0.1	0.3	0.8
Саты_Лш-Курты_Лш	0.5	0.7	0.2	0.6
Саты_Лд-Курты_Лд	0.1	0.3	0.2	0.2
Саты_Н-Курты_Н	0.0	0.2	0.0	0.6
Тургень_Лш-Курты_Лш	0.4	0.8	0.4	0.1
Тургень_Лд-Курты_Лд	0.1	0.2	0.3	0.8
Тургень_Н-Курты_Н	0.6	0.7	0.2	0.0
Майгобе_Лш-Курты_Лш	0.5	0.7	0.4	0.5
Майгобе_Лд-Курты_Лд	0.1	0.6	0.3	0.2
Майгобе_Н-Курты_Н	0.2	0.4	0.2	0.5
Известковый_Лш-Курты_Лш	0.5	0.8	0.4	0.4
Известковый_Лд-Курты_Лд	0.0	0.2	0.4	0.6
Известковый_Н-Курты_Н	0.2	0.0	0.2	0.9
Тянь-Шань_Лш-Курты_Лш	0.5	0.7	0.3	0.5
Тянь-Шань_Лд-Курты_Лд	0.1	0.1	0.5	0.9
Тянь-Шань_Н-Курты_Н	0.2	0.1	0.1	0.5
Чушкалы_Лш-Курты_Лш	0.1	0.5	0.0	0.3
Чушкалы_Лд-Курты_Лд	0.1	0.1	0.5	1.0
Чушкалы_Н-Курты_Н	0.2	0.4	0.2	0.5
Подгорное_Лш-Курты_Лш	0.6	0.9	0.0	0.4
Подгорное_Лд-Курты_Лд	0.2	0.1	0.4	0.9
Подгорное_Н-Курты_Н	0.1	0.0	0.1	0.8

Из таблицы следует следующее:

1. Пункты GPS изменяются во времени на всех пунктах наблюдения;
2. Наибольшим изменениям подвергнуты горизонтальные составляющие пунктов GPS в меридиональном направлении;
3. Коэффициент корреляции между перемещением пунктов GPS горизонтальных составляющих $L_{ш}$ по среднегодовым данным достигает для отдельных станций 0,6-0,8.
4. В вертикальном направлении наиболее сильные изменения наблюдаются и устанавливаются для пунктов, размещённых на высоте более 2 км;
5. Изменение координат пунктов GPS с изменением продолжительности суток наиболее ярко выражено при изменении скорости вращения Земли, коэффициент корреляции достигает 0,9;

Литература

1. Зубович А., Бейсенбаев Р., Ван Сяочан, ДжанЮнфен и др. О некоторых результатах анализа кинетики Тянь-Шаня и окружающих районов по данным GPS наблюдений // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска. Алматы 2005.

2. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). Москва. Научный мир 2005, 400 с.

3. Курскеев А.К., Тихомиров А.В., Смирнов А.Л. О возможности использования методов космической геодезии в решении проблемы современной геодинамики // Геология Казахстана, №4, 1998. с. 30-34.

4. Курскеев А.К. Современная геодинамика Тянь-Шаня по данным космической геодезии // Известия НАН РК. Серия геология и технические науки. 2012, №3, с.8-17.

Кудабаева А.Д.^{1,2}

¹КазНУ им Аль-Фараби, ²ТОО «Институт сейсмологии»МЧС РК, Алматы, Казахстан

ГИС в сейсмологии

Аннотация. В этой статье мы освещаем возможности и преимущества ГИС посредством анализа ее вклада в различные области сейсмологии, описания ГИС-методов и сферы их применения. Мы приводим примеры того, как ГИС способствует развитию различных сфер сейсмологии и упрощает проведение оценки сейсмической опасности и сейсмического риска, систематизирует и обрабатывает данные сейсмического мониторинга, а также минимизирует сейсмические риски.

Abstract. This article highlights the possibilities and benefits of GIS by analyzing its contribution to various fields of seismology, describing GIS-methods and their application. We provide examples how GIS contributes to the seismology various areas development and simplifies seismic hazard and seismic risk assessment, systematizes and processes seismic monitoring data, and also minimizes seismic risks.

Введение. Применение ГИС в сейсмологии является актуальной темой в настоящее время, поскольку это может помочь улучшить представление о тектонических пластах и распределении напряжений в земной коре. На основе данных, полученных из различных источников, таких как геологические и геофизические карты, с помощью ГИС можно создавать пространственные модели, позволяющие более точно прогнозировать потенциально опасные зоны для сейсмических событий. Это может помочь в планировании гражданской защиты и строительстве новых зданий и инфраструктуры, с учетом сейсмической активности.

Кроме того, применение ГИС может помочь в мониторинге и детектировании сейсмических событий с высокой точностью и скоростью, что может улучшить реагирование на возможные угрозы и опасности.

Целью статьи является изучение применения ГИС в сейсмологии.

ГИС (географическая информационная система) – это фундаментальный инструмент, который использует пространственное измерение и его связи с другими измерениями, позволяя моделировать и представлять процессы, характерные для мира, в котором мы живем. ГИС может найти применение практически во всех областях исследований.

При оценке сейсмической опасности и риска необходимость учитывать местоположение заложена в самих определениях терминов. Но ГИС может сделать гораздо больше, чем просто обеспечить измерение расстояний и решения для картографирования. Среди многочисленных практических применений мы упоминаем, что ГИС может:

- обеспечить комплексное моделирование данных (как пространственных, так и временных);
- предоставить инструменты пространственного и геостатистического анализа;
- предоставить возможности фильтрации (на основе текста или местоположения) произвести анализ наложения;

- использовать функцию платформы «все в одном» с возможностями управления базами данных, разработки кода, автоматизации и совместного использования;
- быть надлежащим инструментом для распространения результатов (публично или в частном порядке).

Роль ГИС стала основной в сейсмологии – науке о земле, нуждающейся в географических инструментах. Картографические инструменты свободно распространяемые с открытым исходным кодом, такие как GMT или QGIS широко использовались и продолжают использоваться сейсмологами, другие коммерческие программы, такие как ArcGIS, также являются отличным источником для работы с ГИС [1].

ГИС предназначен не только для картографических целей, но и для обработки данных, пространственного и геостатистического анализа и автоматизации задач.

Методы и материалы. В Казахстане ГИС широко применяются в сейсмологии. Ниже приводятся некоторые методы использования ГИС в этой области:

- Визуализация и картирование данных;
- Анализ точечных данных;
- Анализ поверхности;
- Пространственный анализ;

Применение вышеупомянутых методов позволяет проводить:

- Анализ пространственного распределения сейсмической активности;
- Анализ геологической структуры и моделирование напряжений;
- Прогнозирование и моделирование сейсмических явлений;
- Картирование сейсмической опасности;
- Моделирование сейсмических процессов;
- Анализ рисков;
- Мониторинг сейсмической активности и реагирование на чрезвычайные ситуации,
- Инфраструктурное планирование.

Визуализация и картирование данных – может быть применен в сейсмологии для анализа и представления геологических данных, связанных с землетрясениями.

Одной из важных задач в сейсмологии является прогнозирование и анализ сейсмической опасности и риска. Данные ГИС могут быть использованы для создания карт риска землетрясений на основе данных о геологических структурах, скоростях смещения плит, расположения геологических разломов и других параметров. Также на основе данных ГИС делаются прогнозы о возможном воздействии природных катастроф на окружающую среду и население.

Другой применяемый метод – анализ сейсмичности. Данные могут быть представлены в виде двумерных или трехмерных моделей геологических структур, карт глубин залегания различных геологических слоев, карт распределения подземных толчков и других параметров, которые могут быть визуализированы с помощью ГИС.

Также, на основе данных сейсмологических исследований, разработчики могут создавать геологические карты и планировать строительство зданий, мостов и инфраструктуры в целом, с учетом рисков и возможных последствий землетрясений.

Таким образом, метод визуализации данных ГИС применяется в сейсмологии для анализа и планирования геологических процессов, создания прогнозов и карт оценки опасности и риска, планирования объектов инфраструктуры и жилых зон [2].

ГИС-анализ точечных данных – метод используется для изучения распределения и связей точечных источников данных – землетрясений – на определенной территории.

ГИС-программы позволяют визуализировать, анализировать и сравнивать данные о землетрясениях на карте. Такой анализ позволяет получать достоверную информацию о зонах, в которых произошли землетрясения или где была обнаружена повышенная сейсмическая активность, позволяет оценить степень вероятности возникновения сейсмической активности в определенных точках. Для этого используются данные, полученные в рамках мониторинга сейсмической активности, а также результаты исследований и наблюдений.

Еще одним примером ГИС-анализа точечных данных в сейсмологии является визуализация, которая позволяет представить результаты исследований в наглядном виде. Визуализация может быть использована в качестве инструмента для анализа и определения оптимальных мест для мониторинга сейсмической активности, а также для прогнозирования уровня риска возникновения землетрясений в различных регионах [3].

Анализ поверхности—этот метод позволяет создать двух- и трех-мерную поверхность для анализа сейсмических данных, используется для изучения структуры земной коры и глубинных слоев Земли. ГИС-программы могут использоваться для моделирования поверхности земли и ее изменений, которые происходят в результате землетрясения. С помощью этого метода исследователи могут получить информацию о форме и свойствах геологических объектов, а также определить возможные зоны возникновения землетрясений и опасные геологические процессы.

Процесс ГИС-анализа поверхности в сейсмологии начинается с использования сейсмических данных, полученных с помощью различных методов исследования, таких как сейсмическая томография и сейсмическое профилирование. Затем эти данные обрабатываются и анализируются с помощью специальных программных ГИС.

Одним из наиболее распространенных методов ГИС-анализа поверхности в сейсмологии является моделирование 3D-пространства. С помощью этого метода исследователи создают трехмерную модель геологических факторов, таких как распределение плотности и скорости в различных слоях Земли. Это позволяет получить более точную карту распределения землетрясений и опасных геологических процессов [4].

Пространственный анализ – этот метод используется для анализа пространственных и географических данных землетрясений с учетом таких параметров, как местоположение, магнитуда, интенсивность, частота, скорость, ускорения и т.д. ГИС-программы позволяют выполнять анализ, который помогает оценить вероятность возникновения землетрясений в определенных регионах.

ГИС-метод пространственного анализа в сейсмологии представляет собой статистический и геометрический инструмент, который используется для изучения и анализа различных параметров и характеристик, связанных с сейсмической активностью в географическом пространстве.

С помощью ГИС-метода можно проводить такие операции как: картографирование распределения сейсмической активности по территории, анализ пространственной структуры землетрясений, выявление тенденций и закономерностей в развитии сейсмических процессов, оценка рисков и определение уязвимости территории к землетрясениям.

Один из примеров применения метода в сейсмологии - это создание карт оценки сейсмической опасности землетрясений. Для этого используются данные о геологическом строении, геотектонических структурах, уровне подземных вод и других параметрах, которые могут влиять на возникновение и развитие сейсмических процессов.

Также ГИС-метод позволяет проводить моделирование сейсмических процессов с учетом различных факторов, что позволяет наиболее точно прогнозировать возможные последствия и оценивать риски для населения и инфраструктуры.

ГИС-метод позволяет также проводить анализ пространственной корреляции в

сейсмологии – выявление пространственной зависимости между распределением сейсмических событий и пространственными факторами, позволяет объединять данные о сейсмических событиях с географической информацией, такой как высота над уровнем моря, структура горных хребтов и другие факторы, для этого используются различные методы, такие как анализ пространственной автокорреляции, кластерный анализ, регрессионный анализ и т.д [5].

ГИС-анализ пространственной корреляции в сейсмологии является важным инструментом для принятия решений в сфере градостроительства и строительства объектов критической инфраструктуры в сейсмически активных зонах. Он помогает уменьшить риски природных катастроф и обеспечить безопасность населения.

Остановимся подробнее на сферах применения ГИС в сейсмологии.

Анализ рисков – ГИС-методы применяются для анализа рисков, связанных с землетрясениями, таких как вероятность повреждения зданий, потери жизни и т.д. Этот метод позволяет получить карты оценки сейсмического риска для различных регионов и легко определить уязвимые места в случае возникновения землетрясения – провести оценку потенциального ущерба и угрозы, создаваемой сейсмическим риском для городов, населенных пунктов, транспортных и инженерных сооружений и других объектов.

Суть метода заключается в том, что в ГИС-систему вносятся данные о геологической структуре земной коры, в том числе информация о наличии тектонических разломов, пластовых сдвигах и других неоднородностях в грунте. Затем на основе этих данных проводится моделирование сейсмической активности и возможных последствий, таких как разрушение зданий, повреждение дорог и мостов, нарушения коммуникаций и т.д., учитывается информация о населенных пунктах, объектах инфраструктуры и других основных элементах инфраструктуры, а также данные о населении в районах, подверженных сейсмическим рискам, оценивается ущерб, который может быть нанесен различным объектам и населенным пунктам при возникновении сейсмических рисков, что позволяет разработать планы мер по снижению уровня этих рисков [6].

Геоинформационные системы (ГИС) используются в различных областях для анализа и прогнозирования рисков. Цель ГИС-метода анализа рисков заключается в том, чтобы идентифицировать возможные угрозы и оценить их потенциальные последствия.

Для проведения анализа рисков с помощью ГИС требуется следующий набор методов и инструментов:

- Анализ пространственной структуры – позволяет выявить имеющиеся в районе объекты и потенциальные источники рисков;
- Квалификационная оценка – используется для оценки вероятности наступления рисков:
- Картирование и визуализация результатов – представляет собой создание карт и графиков с данными анализа, на основе которых можно принимать решения;
- Моделирование – проводится для определения последствий наступления рисков и потенциальных выигрышей;

Примерами применения ГИС-метода анализа рисков в результате землетрясений могут служить оценка вероятности наводнений в определенной географической зоне, прогнозирование взрывоопасности на определенном участке территории или оценка рисков, связанных с пожарами.

Важно отметить, что точность и надежность результатов ГИС-метода анализа рисков напрямую зависят от качества входных данных и использованного аналитического подхода. Поэтому необходимо подходить к выбору методов и инструментов анализа со всей ответственностью и профессионализмом.

Моделирование сейсмических процессов – это процесс математического моделирования сейсмических событий, таких как землетрясения, вулканические

извержения и т.д.

Ключевой аспект моделирования сейсмических процессов состоит в том, что ученые используют данные, собранные в результате мониторинга сейсмической активности, чтобы разработать и исследовать модели, которые могут помочь понять причины и механизмы этих явлений.

Для моделирования сейсмических процессов используются различные математические методы и алгоритмы, такие как конечно-элементный метод и методы гидродинамического моделирования, а также численные методы решения уравнений акустики и теории упругости.

Моделирование может проводиться в различных масштабах: от масштаба отдельных сейсмических событий до геологических периодов, на протяжении которых происходит распределение тектонических деформаций.

Результаты моделирования могут иметь практическое применение в области прогнозирования и предупреждения о землетрясениях, а также при проектировании сооружений, которые должны выдерживать сейсмические нагрузки [7].

Анализ сейсмической опасности – применение ГИС-методов для картирования опасных зон в сейсмологии является одним из наиболее эффективных инструментов для изучения и предотвращения сейсмических бедствий. Он основан на использовании геоинформационных систем, которые позволяют интегрировать данные о сейсмике, тектонике, геологии, геоморфологии, геофизических и геохимических факторах, соотносить их с географическими данными и дифференцировать зоны сейсмической опасности, включает несколько этапов:

- Сбор и анализ данных о поверхности земли, глубине залегания грунтовых вод, геологической структуре и фиксации сейсмических толчков в данном регионе;
- Объединение и обработка полученных данных на основе ГИС с использованием специальных программных средств;
- Расчет вероятности возникновения землетрясения на заданной территории и создание карты опасных зон с указанием степени опасности для населения и инфраструктуры;
- Оценка вероятных последствий сейсмической активности и разработка мер по минимизации угрозы для жизни и здоровья людей.

Применение ГИС в оценке сейсмической опасности позволяет учитывать многие факторы, влияющие на сейсмическую активность, что обеспечивает более точный прогноз возможных последствий землетрясения и помогает принимать эффективные меры по охране жизни и здоровья населения [8].

Мониторинг землетрясений – для мониторинга землетрясений используются сейсмические сети, которые располагаются на территории Казахстана. Полученные данные затем обрабатываются и представляются в виде ГИС-карт, что позволяет проследить динамику происходящих событий.

Инфраструктурное планирование - ГИС используется для определения уязвимых объектов, таких как дороги, мосты, газопроводы, электрические сети и другие элементы инфраструктуры, которые могут быть подвержены повреждениям от землетрясений. Это помогает разработать меры по снижению риска при строительстве и планированию восстановления после землетрясений [9].

Обсуждение и результаты. В настоящее время ГИС также является фундаментальным инструментом всей сейсмологии. Он может быть использован в широком спектре применений, от обработки и анализа каталогов землетрясений до анализа сейсмической опасности и рисков, а также моделирования тектонических процессов.

Комбинируя различные модели затухания с пиковыми записями грунта, ГИС способна генерировать карты сотрясений, которые будут использоваться в качестве входных данных для анализа сейсмических повреждений и потерь, в том числе в режиме реального времени.

ГИС должна использоваться не только из-за ее картографической ценности, но и из-за ее способности связывать слои друг с другом, обрабатывать и моделировать их.

Литература

1. Леонард Г., Сомер З., Бартал Ю., Хорин Б.Ю., Виллагран М., Джозвиг М. ГИС как инструмент для обработки сейсмологических данных. Журнал о сейсмологии 2021 г, №17(4), с.1339-1334.
2. Silva, J. B., & Trigila, A. (2017). GIS in Earthquake Studies: Historical Background, Methodologies and Future Directions. In *Seismic Vulnerability of Structures* (pp. 47-76). Springer. (https://doi.org/10.1007/978-3-319-56422-0_3)
3. Liu, C. C., & Chu, H. J. (2016). A GIS-based approach for seismic hazard assessment and site-specific ground motion prediction. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 10(01), 1650006. (<https://doi.org/10.1142/S1793431116500064>)
4. Guo, H., & Bai, S. (2012). Using GIS in seismic hazard analysis: A review. *Natural Hazards*, 63(2), 305-326. (<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0189-0>)
5. Feizi, M., & Blaschke, T. (2013). A GIS-based weighted linear combination approach for seismic hazard assessment in the Greater Tehran Metropolitan Area, Iran. *Natural Hazards*, 65(2), 977-996. (<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0389-7>)
6. Crone, A. J., & Bell, J. W. (Eds.). (2004). *GIS and Remote Sensing Applications in Biogeography and Ecology* (Vol. 3). Springer Science & Business Media. (<https://doi.org/10.1007/1-4020-2334-2>)
7. McGuire, R. K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*. Earthquake Engineering Research Institute
8. Spence, R., So, E., Scawthorn, C., & Paris, R. (2008). *Disaster Risk Reduction: Case Studies in GIS and Applied Technology*. CRC Press
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Wiley-Blackwell

Курскеев А.К.

ТОО «Институт сейсмологии»г. Алматы, Казахстан

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В данной статье обосновываются причины необходимости наземно-космического мониторинга геодинамических и сейсмических процессов. Рассматриваются его научно-экспериментальная база, основные назначения и его состав.

Abstract. This article substantiates the reasons for the need of ground-space monitoring of geodynamic and seismic processes. Its scientific-experimental base, the main purposes and its consistency are considered.

Территория Казахстана подвержена природным катастрофам. Среди них наибольшую опасность представляют геодинамические процессы. К ним относятся землетрясения, селевые потоки, снежные лавины, оползни и обвалы, наводнения на реках, затопления и подтопления в прибрежной зоне Каспийского и обмеление Аральского моря и другие.

Кроме природных катастроф потенциальную опасность представляют геодинамические явления, инициируемые техногенным воздействием на верхнюю часть

земной коры вследствие интенсивных разработок месторождений нефти, газа, угля и других полезных ископаемых, а также создание крупных водохранилищ.

Суммарные потери от природных и техногенных катастроф с каждым годом возрастают. Прямые последствия природных катастроф отражаются не только в экономике, но и в экологии, приводя к изменению ландшафтных условий, ухудшению качества атмосферного воздуха, разрушению искусственно созданных объектов.

В настоящее время во многих промышленно развитых странах мира проблема безопасности населения, народнохозяйственных объектов и территорий от техногенных и природных катастроф стала важнейшей социально-экономической, демографической и экологической проблемой, не имеющей географических и национальных границ. Сохраняющаяся тенденция роста количества чрезвычайных ситуаций требует отвлечения от решения социально-экономических задач значительных материальных средств на их ликвидацию, что делает проблему защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций общей и весьма актуальной для всех государств. При этом принципиально важным стало решение научно-технических проблем, связанных с обеспечением безопасности от природных и природно-техногенных катастроф. Конструктивный принцип решения таких проблем возможно осуществлять путем создания «Наземно-космического мониторинга природных катастроф», назначением которого является своевременное предупреждение населения и административные органы о грозящем бедствии. Основные назначения и состав системы «Республиканского мониторинга природных и техногенных катастроф (ГМПТК)» показаны на рисунках 1-3.

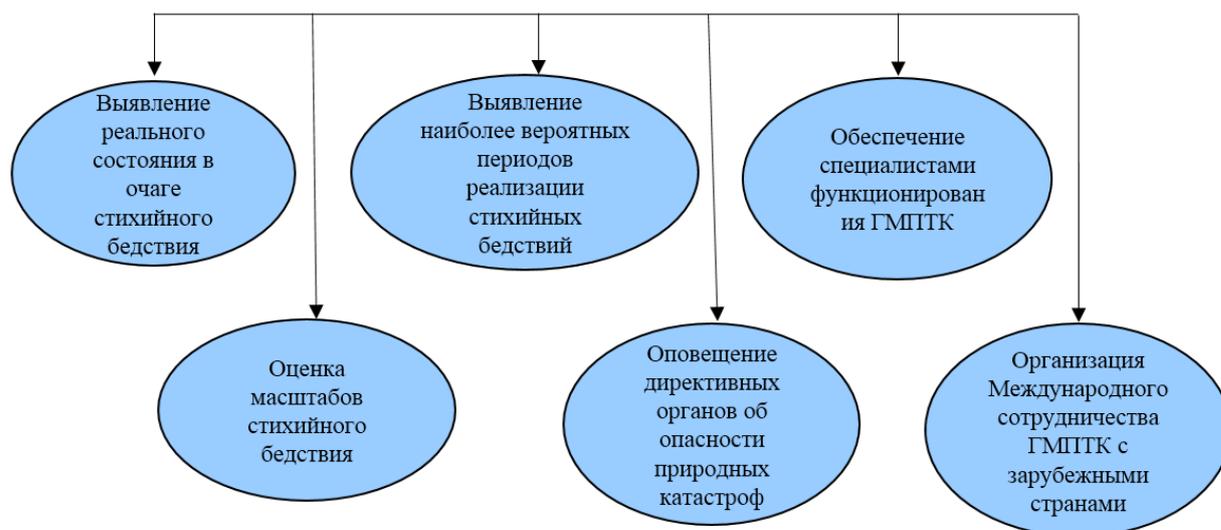


Рисунок 1. Основные назначения Государственного мониторинга природных и техногенных катастроф (ГМПТК)

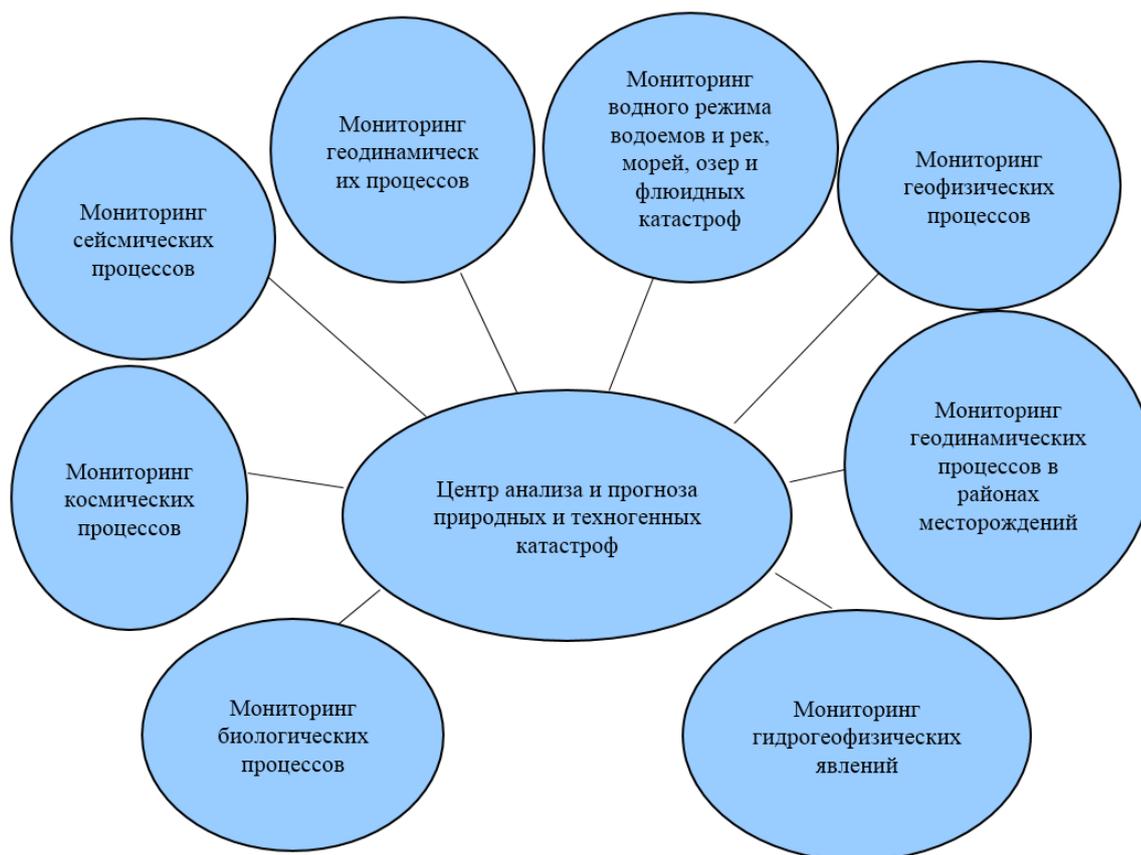


Рисунок 2. Состав ГМПТК

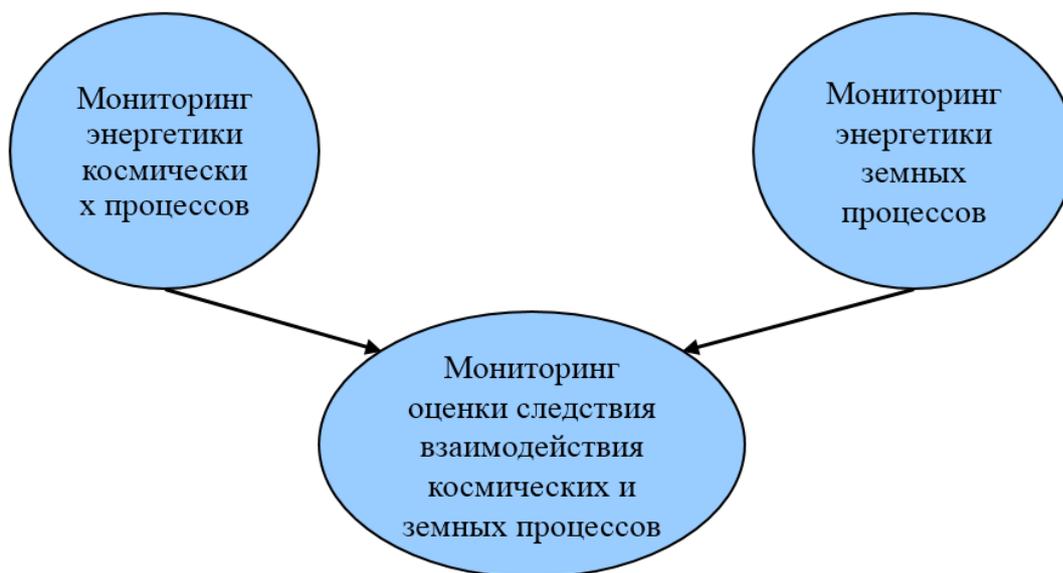


Рисунок 3. Научно-экспериментальная база ГМПТК

Литература

1. Курскеев А.К. Гравитационное взаимодействие планет солнечной системы и сейсмичность Земли. Алматы. «Эверо». 2021. 547 с. ISBN 978-601-352-233-3

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП АКТИВИЗАЦИИ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. Рассматривается современный этап активизации роев в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий за 2017-2023 гг. Приводятся карты-схемы пространственно-временного распределения роев землетрясений за указанный период наблюдений. Работа проводилась по данным сейсмической сети СОМЭ. Полученные результаты могут быть использованы для выделения зон активизации потенциально опасных участков возникновения сильных землетрясений.

Annotation. The current stage of swarm activation in the seismically active region of the Northern Tien Shan and adjacent territories for 2017-2023 is considered. Maps-schemes of spatio-temporal distribution of earthquake swarms for the specified observation period are given. The work was carried out according to the data of the SOME seismic network. The results obtained can be used to identify the zones of activation of potentially dangerous areas for the occurrence of strong earthquakes.

В работе рассматривается современный этап активизации роев землетрясений в регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. За период исследований брался интервал времени 2017-2023 гг. По экспериментальным сейсмическим наблюдениям [1] и алгоритму распознавания роев землетрясений [6-11] были получены карты-схемы пространственно-временного распределения роев для территории 39-46°СШ, 70-85°ВД. По результатам исследований, проведенных в [3-5], характеристик роев, можно сделать вывод, что распределение роев землетрясений в сейсмоактивных регионах неравномерно во времени и пространстве. Также можно наблюдать концентрацию роев в отдельных участках региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. На рисунке 1 показаны рои землетрясений на современном этапе активизации: период 2017-2023 гг., где рои землетрясений показаны по глубинам, справа - шкала глубин показана разным цветом. Выделенные рои, предположительно, несут в себе достаточно четкую прогностическую сущность. Зоны современной активизации роев показывают землетрясения, которые импульсно возникают и так же импульсно затухают по неизвестным пока причинам, природа возникновения роев еще не ясна. Для ее исследования проводилось картирование распределения роев землетрясений в регионе по годам. На рисунке 2 представлена карта-схема пространственно-временного распределения роев землетрясений по годам. Разным цветом показаны скопления роев землетрясений за период 2017-2023 гг. (см. рис. 2). Основная группа роев за последние 5-6 лет расположена в юго-восточной части региона. Отдельные зоны скопления роев землетрясений наблюдаются в виде сплошной полосы по южной части региона исследования с постепенным ее переходом вдоль горных хребтов к северо-востоку.

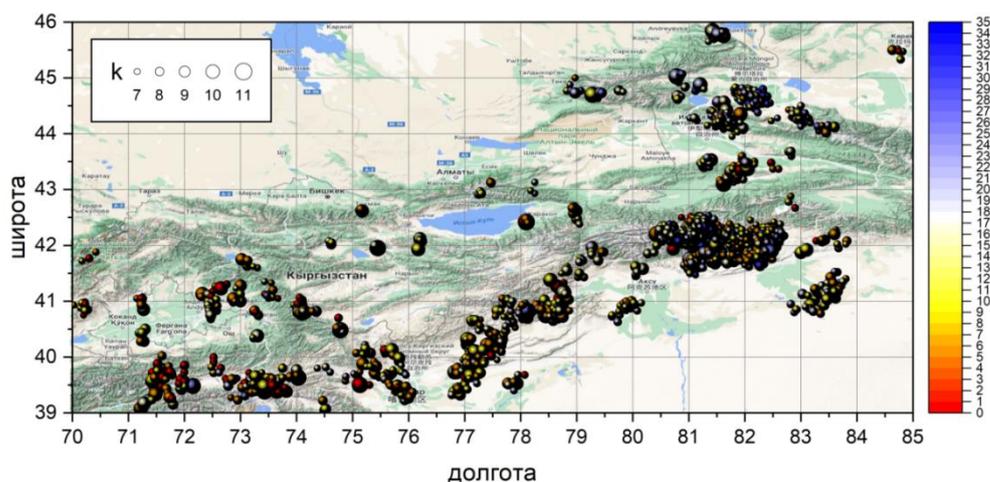


Рисунок 1 – Карта-схема пространственно-временного распределения роев землетрясений за период 2017-2023 гг. (К -энергетический класс, шкала разным цветом – глубина км)

Во временном распределении зоны концентрации роев располагаются следующим образом (см. рис.2). В 2017 году – красным цветом показаны рои землетрясений, которые в основном расположены в юго-западной части региона. Соответственно, каждый год показан разными цветами.

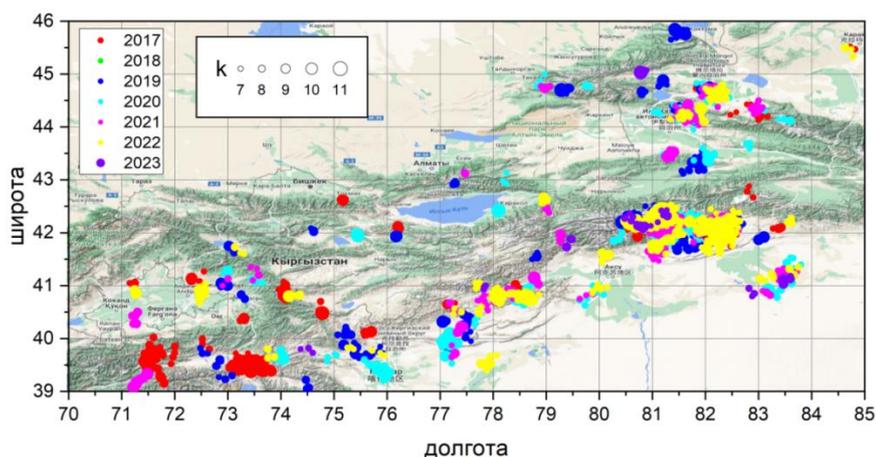


Рисунок 2 – Карта-схема пространственно-временного распределения роев землетрясений за период 2017-2023 гг. (К -энергетический класс, шкала по годам - разным цветом)

Рои землетрясений представлены на рисунке 2: 2018 год – зеленым цветом; 2019 год – рои показаны синим цветом; 2020 год – рои показаны бирюзовым цветом; 2021 год – рои показаны сиреневым цветом; 2022 год – рои показаны желтым цветом; 2023 год – рои землетрясений показаны фиолетовым цветом. Рои землетрясений, предположительно возникают накануне сильных землетрясений, очаги которых формируются в земной коре из структурных неоднородностей, насыщенных высокотемпературными массами в течение 1.5-2 лет.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов в рамках ПЦФ «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе», шифр программы Ф.0980. Источник финансирования - Министерство образования и науки Республики Казахстан

Литература

1. Региональный каталог землетрясений//Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция МЧС РК (СОМЭ).-Электронный ресурс.-<http://some.kz/>
2. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы, 2004.-504с.
3. Курскеев А.К., Колумбетова К.К., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С. О физической природе магнитуды землетрясений//Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан (16.06.-18.06.2022).- Алматы, 2022.-С.С.141-148.
4. Литовченко И.Н. Физические параметры очаговых зон сильных землетрясений земной коры Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий//Известия НАН РК. Серия геологическая.-N5.- Алматы, 2009-с.59-67.
5. Панас Н.М., Ассиновская Б.А. Динамические параметры слабых землетрясений восточного склона Балтийского щита//Российский сейсмологический журнал.-2022.-Т.4, № 4.-С65-78. DOI: 10.33540/2686-7907/2022.4.05.-EDN:AFPGFJ
6. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Универсальный алгоритм распознавания образов роевых последовательностей землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий// материалы XX Всероссийской конференции с международным участием «Глубинное строение, минералогия, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов». Воронеж, 2016.-5с.
7. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов //Сборник материалов Всемирного конгресса инженеров и ученых ЕХРО 2017. Астана, 2017.-с.с. 328-331.
8. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Технология распознавания образов (в выявлении роев землетрясений) // СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. Материалы докладов XI международная Конференция молодых ученых и студентов.- Бишкек, 2019.- С.С 104-108.
9. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Обучающий алгоритм распознавания образов при решении практических задач //Робототехника и Искусственный интеллект.-Мат. XI Всерос. науч.-техн. конф. с межд. уч. (Железногорск, 14 декабря 2019 г.).-Железногорск, 2019.- [Электронное издание].- С.С.231-237.
10. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Технология распознавания образов в выявлении роев землетрясений//Знания-Онтологии –Теории (ЗОНТ-2019).-Мат. VII Межд. конф., 2019.-С.С.233-237.
11. Lyutikova V.S., Litovchenko I.N. Modern pattern recognition tools (by the example of earthquake swarms) pp. 7-10.

Миркин Е.Л., Фролова А.Г., Багманова Н.Х.

Институт сейсмологии НАН, Бишкек, Кыргызская Республика

E-mail: eugene_mirkin@mail.ru, bagmanova@list.ru

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Аннотация. Представлен метод оценки вероятности возникновения сильных сейсмических событий на основе обработки статистической информации о сейсмических событиях в исследуемом регионе, накопленной за весь период наблюдений. Предложена форма графика повторяемости землетрясений, который используется в качестве аппроксимации функции распределения плотности вероятности. Приводятся результаты применения метода для территории Баткенской области Кыргызской Республики.

Summary. The paper presents a method for estimating the probability of occurrence of strong seismic events based on the processing of statistical information about seismic events in the region under

study, accumulated over the entire observation period. The form of the earthquake recurrence graph is proposed, which is used as an approximation of the probability density distribution function. The results of applying the method for the territory of the Batken region of the Kyrgyz Republic are given.

Понятие сейсмической угрозы удобно оценивать вероятностной мерой возникновения сильных сейсмических событий, влекущих к возможному ущербу населению, зданиям и сооружениям, а также к техногенным катастрофам из-за особенностей рельефа местности и возможного расположения опасных производств в сейсмоопасных районах.

Свяжем понятие сейсмической угрозы с вероятностью возникновения значимого события энергетического класса выше заданного – K^* , характеризующегося вероятностью $P_{\varphi\lambda}^{K^*}$, то есть вероятностью попадания сейсмического события в интервал – $K^* \leq K \leq K_{\max}$

$$P_{\varphi\lambda}^{K^*} = P_{\varphi\lambda}(K^* \leq K \leq K_{\max}), \quad (1)$$

где K_{\max} – сейсмическое событие максимального класса, зарегистрированного в данном узле координатной сетки (φ, λ) . Очевидно, что вероятность попадания случайной величины K в заданный интервал $K^* \leq K \leq K_{\max}$, определяется через её плотность распределения $f_{\varphi\lambda}(K)$ следующим образом:

$$P_{\varphi\lambda}^{K^*} = P_{\varphi\lambda}(K^* \leq K \leq K_{\max}) = \int_{K^*}^{K_{\max}} f_{\varphi\lambda}(K) dK, \quad (2)$$

Причём землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ представляют полную группу событий

$$P_{\varphi\lambda}(K_{\min} \leq K \leq K_{\max}) = \int_{K_{\min}}^{K_{\max}} f_{\varphi\lambda}(K) dK = 1. \quad (3)$$

Таким образом, для определения сейсмического риска в конкретном узле координатной сетки $P_{\varphi\lambda}^{K^*}$ необходимо определить функцию плотности

вероятности значимого сейсмического события $f_{\varphi\lambda}(K)$ для $K \in [K_{\min}, K_{\max}]$. Предлагается идентифицировать функцию плотности вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$ по имеющимся статистическим данным о значимых землетрясениях.

Понятие энергетического диапазона сейсмических событий определяется шкалой энергетических классов по Раутиан Т.Г.[1], широко используемой в сейсмологии для классификации землетрясений по величине. При выполнении наших исследований возникла необходимость округления величины энергетического класса до ближайшего целого. Поскольку шкала энергетических классов – логарифмическая, то обычные правила округления чисел здесь «не работают». Определим середину интервала E_{middle} между целыми числами $\{10^{[K]}, 10^{[K+1]}\}$ по шкале E :

$$E_{\text{middle}} = 10^{[K]} + \frac{10^{[K+1]} - 10^{[K]}}{2} = 10^{[K]} + \frac{10^{[K]}(10-1)}{2} = 10^{[K]} \times 5.5, \quad (4)$$

где $[K]$ – целая часть числа K , т.е. $[K]$ – энергетический класс, выраженный в целых числах (например: 8, 9, 10, и т.д.). Тогда середина интервала K_{middle} между целыми числами $\{[K], [K+1]\}$ по шкале K определится выражением:

$$K_{\text{middle}} = \log_{10}(E_{\text{middle}}) = \log_{10}(10^{[K]}) + \log_{10}(5.5) = [K] + \log_{10}(5.5). \quad (5)$$

Откуда следует правило округления выделившейся энергии в терминах K :

$$K = [K], \quad \text{если} \quad [K - 1] + \log_{10}(5.5) \leq K < [K] + \log_{10}(5.5). \quad (6)$$

Заметим, что $\log_{10}(5.5) \approx 0.74036$. Таким образом, диапазон выглядит так: $(8.8 \div 9.7) = 9$ -й энергетический класс, $(9.8 \div 10.7) = 10$ -й энергетический класс и т.д..

Очевидно, что точность прогноза сейсмических показателей будет тем выше, чем больше узлов сетки (размер матрицы) будет в исследуемом регионе. Однако слишком большая размерность матрицы (количество узлов сетки) приводит к существенному росту вычислений и, как следствие, значительному увеличению времени решения задачи. В нашем случае в качестве трафарета будем использовать прямоугольник широтой ($1^\circ \approx 111 \text{ км.}$) – $0.167^\circ \times 2 = 0.334^\circ$ (высота $h = 0.334 \times 111 = 37 \text{ км}$) и долготой ($1^\circ \approx 83 \text{ км.}$) – $2 \times 0.25^\circ = 0.5^\circ$ (длина $l = 0.5 \times 83 = 41.5 \text{ км}$). Площадь трафарета (прямоугольник) составила $S = h \times l = 1535.5 \text{ км}^2$. Узлы сетки, находящиеся в центрах трафаретов, будут располагаться в матрице размером [25строк \times 44 столбца] (отступ по столбцу слева и справа и по строке сверху и снизу от исходной матрицы узлов). Таким образом количество узлов сетки исследуемого района составило $25 \times 44 = 1100$.

В качестве исходных данных для проведения исследования используется Каталог землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня ($\varphi = 39.0^\circ \div 43.5^\circ \text{ N}$, $\lambda = 69.0^\circ \div 80.25^\circ \text{ E}$), произошедших за весь исторический и инструментальный периоды наблюдений, начиная с -250 года до н.э., и заканчивая 2022 годом (163300 землетрясений)[2]. В рассмотрение берутся

значимые сейсмические события, начиная с энергетического класса K_{min} (например, $K_{\text{min}} = 8$), и заканчивая максимальным энергетическим классом в исследуемом регионе K_{max} (например, $K_{\text{max}} = 18$). Таким образом землетрясения с энергетическими классами в диапазоне $K_{\text{min}} \leq K \leq K_{\text{max}}$ представляют полную группу событий, то есть сумма всех вероятностей возникновения сейсмических событий из этого диапазона равна единице.

Аппроксимацию функции плотности распределения вероятности конкретного узла сетки $f_{\varphi\lambda}(K)$ будем осуществлять с использованием общепринятой характеристики сейсмического режима – **графика повторяемости землетрясений**, обычно изображаемого с использованием закона Гутенберга–Рихтера [3-6, и др.]. Закон повторяемости землетрясений Гутенберга–Рихтера является универсальным законом сейсмологии, его можно сформулировать следующим образом. Если в достаточно большом сейсмоактивном регионе длительно наблюдать землетрясения, то распределение их числа N по энергиям K соответствующих классов будет иметь следующий линейный вид:

$$\log_{10}(N) = \alpha - \gamma K, \quad (7)$$

где α , γ – параметры уравнения прямой, γ – наклон графика повторяемости землетрясений. При этом параметры α и γ могут иметь различные значения для различных узлов исследуемого региона.

Перечислим ниже основные проблемы применения закона повторяемости землетрясений Гутенберга–Рихтера и варианты их решения (с точки зрения авторов данного исследования):

1. Неполнота накопленных статистических данных, в некоторых случаях, не позволяет однозначно интерпретировать полученные параметры α и γ модели (7) с точки зрения здравого физического смысла. Набор данных не соответствует главной гипотезе закона повторяемости землетрясений Гутенберга–Рихтера – соотношения

количества землетрясений соседних энергетических классов: количество землетрясений последующего энергетического класса должно быть меньше предыдущего. Таким образом, необходима процедура «ремонта данных», построенная на базе объективно полученных сейсмологических данных.

2. Проблема округления энергетических классов K землетрясений до ближайшего целого по формуле (6) и подсчет количества округлённых событий N внутри каждого класса теряют часть ценной информации о выделившейся энергии сейсмических событий внутри каждого класса, искажая общую картину модели (7). Требуется разработка нового метода построения кривой повторяемости землетрясений Гутенберга–Рихтера по энергии землетрясений, выделившейся в границах соответствующих классов.

3. Нарушение линейности соотношения (7) для сейсмических событий различных диапазонов энергетических классов K . Данная проблема не позволяет однозначно характеризовать функцию плотности распределения вероятности землетрясений разных энергетических классов K всего лишь двумя параметрами α и γ . Требуется несколько пар таких параметров для различных диапазонов K .

Идея «ремонта данных» будет заключаться в перемещении сейсмических событий из вышестоящего класса в нижестоящий смежный класс (с сохранением общей выделившейся энергии внутри трафарета заданного узла), если нарушается гипотеза закона Гутенберга–Рихтера (табл. 1). Применяется циклическая проверка факта нарушения количественного соотношения последовательных энергетических классов и устранение проблемы путем переноса одного сейсмического события с усреднённой энергией из старшего класса в эквивалентные ему десять событий с той же энергией смежного младшего класса (циклическая проверка продолжается до устранения всех нарушений).

Так, например, в узле сетки с координатами (41.338° с. ш., 69.5° в. д.), представленном в табл.1, количество землетрясений в смежных энергетических классах $[K]=15$ и $[K]=14$ не соответствуют гипотезе. Применив по цепочке к неполным данным ранее описанный алгоритм «ремонта данных», получим восстановленные данные (см. табл. 1).

Таблица 1. Структура «отремонтированной» базы сейсмологических данных для узла (41.338° с. ш., 69.5° в. д.)

Исходные данные		Отремонтированные данные(исходные данные)		
Энергетический класс землетрясения $[K]$	Количество землетрясений в границах диапазона N	Количество землетрясений в границах диапазона N	Суммарная энергия, выделившаяся в границах диапазона $E_{[K]} = \log_{10} E_{\Sigma K}$	Усреднённая энергия, выделившаяся за одно событие в границах диапазона $\log_{10}(E_{\Sigma K} / N)$
8	50	50	9.947	8.248
9	27	47	10.981 (10.511)	9.309 (9.080)
10	10	38	12.008 (11.124)	10.428 (10.124)
11	6	33	12.985 (12.047)	11.466 (11.269)
12	1	28	13.935 (11.800)	12.487 (11.800)
13	1	18	14.746 (13.300)	13.491 (13.300)
14	–	8	15.403 (–)	14.500 (–)
15	2	1	15.500 (15.801)	15.500 (15.505)
Итого	97	223	15.802	

Возникает естественный вопрос о представительности землетрясений. Представительность землетрясений напрямую связана с развитием сети инструментальных сейсмических наблюдений. Например, землетрясения с $K=8$ в Кыргызстане стали без пропусков регистрироваться с 1990-х годов с установкой цифровой

сети KNET, исключая самые окраинные приграничные с Китаем территории. С начала же прошлого века достаточно объективно можно судить о количестве сильных землетрясений с $K=12\div 15$. Попробуем

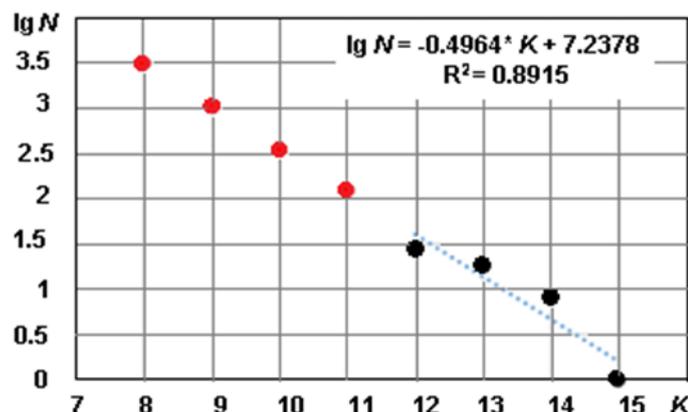


Рисунок 1 — «Достроенный» график повторяемости для узла (41.338° N, 69.5° E.)

ориентировочно оценить количество возможных несильных землетрясений, взяв за основу графика повторяемости более сильные события, и оценить вклад несильных землетрясений в суммарную энергию, приписанную данному узлу. На рис. 1 приведен «достроенный» график повторяемости, на котором черные точки и уравнение на графике соответствуют данным таблицы 1 для $K=12\div 15$, красные точки для $K=8\div 11$ получены согласно этому уравнению.

В таблице 2: N_1 – количество землетрясений по классам, изначально приписанное узлу сетки ($\varphi - 41.338^\circ N$, $\lambda - 69.5^\circ E$), N_2 – их количество после «реставрации», N_3 – количество после «экстраполяции» (рис. 3) в область не сильных событий. Для случаев N_2 и N_3 приведены значения логарифмов выделенной энергии. Если сравнивать значения суммарной выделенной энергии, то различия для N_2 и N_3 не так уж велики, при этом в расчетах для случая N_2 округление до целого класса проводилось по правилу (6) без соответствующих потерь и даже превысило достроенное значение энергии. Как и следовало ожидать, наибольший вклад в суммарную энергию вносят сильные события, вклад землетрясений с $K=8\div 11$ (в данном случае, даже включая $K=11$) в общую величину накопленной энергии в узле сетки составляет менее 1%.

Таблица 2. (Дополнение к табл.1 для узла с координатами ($\varphi - 41.338^\circ N, \lambda - 69.5^\circ E$)).

K	N1	N2	logE _{N2}	N3	logE _{N3}
8	50	50	9.947	3030	11.4826
9	27	47	10.981	1030	12.0132
10	10	38	12.008	350	12.5438
11	6	33	12.985	119	13.0744
12	1	28	13.935	28	13.44716
13	1	18	14.746	18	14.25527
14	–	8	15.403	8	14.90309
15	2	1	15.500	1	15
Итого	97	223	15.802	4584	15.306

Поскольку в данной работе в качестве основного параметра берётся энергия, то использование количества данных о непредставительных землетрясениях не будет значительно влиять на конечный результат. Заметим, что суммарная энергия землетрясений в соответствующих узлах, выделившаяся внутри трафаретов, осталась

неизменной после «ремонта данных».

Предлагается метод построения кривой повторяемости землетрясений со следующим алгоритмом: готовятся агрегированные исходные данные для построения кривой повторяемости; там, где это необходимо, осуществляется «ремонт данных»; в пределах границ заданного энергетического класса $[K]$ – с выделившейся энергией $E_{\Sigma K}$ (или $E_{[K]}$ в логарифмическом масштабе), вводится непрерывная переменная \bar{N} (или $N_{[K]}$ в логарифмическом масштабе) и осуществляется просчет её значений по формуле, обеспечивающей постоянство энергии $E_{[K]}$ в границах данного класса:

$$\bar{N} = \frac{E_{\Sigma K}}{10^K}, \quad \log_{10} \bar{N} = \log_{10} E_{\Sigma K} - K, \quad N_{[K]} = E_{[K]} - K, \quad N_{[K]} \geq 0 \quad (8)$$

где $K \in ([K]-1 + \log_{10} 5.5), ([K] + \log_{10} 5.5)$ – непрерывная функция в указанном диапазоне. Для построения кривой повторяемости формула (8) последовательно применяется m раз (m – количество зарегистрированных энергетических классов внутри заданного трафарета).

На рис.2 для узла сетки с координатами $\varphi=39.334^\circ$ с.ш., $\lambda=73.75^\circ$ в.д. изображена кривая повторяемости землетрясений, построенная с последовательным использованием формулы (8) ($m=9$). Как видно из рисунка, кривая повторяемости имеет пилообразный вид. Замыкая эту кривую прямыми, параллельными координатным осям, получим замкнутую фигуру, напоминающую «ежа».

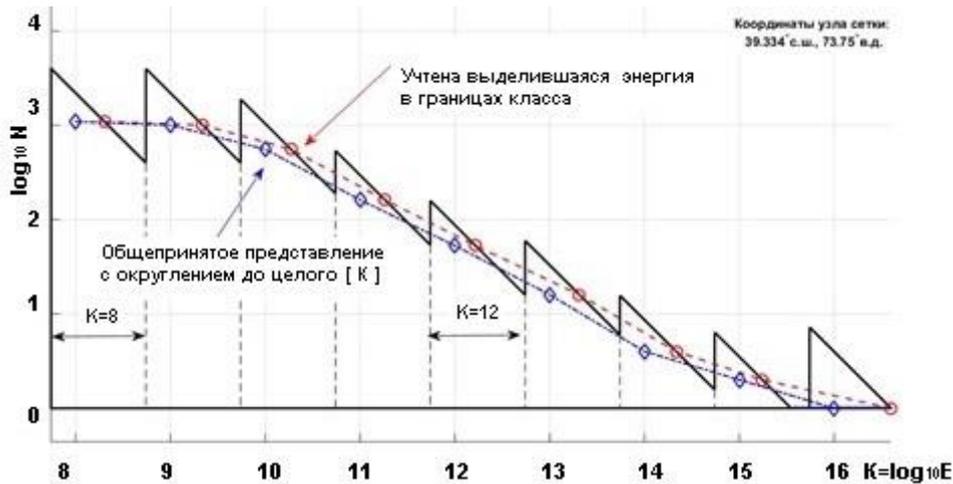


Рисунок 2 -Графическая интерпретация кривой повторяемости землетрясений.

Отметим, что три типа исходных данных, предназначенных для построения кривых повторяемости землетрясений находятся в смежной близости друг от друга и различаются дискретным характером происхождения первых двух и непрерывным последнего (рис. 2): традиционный – полученный с учётом округления по энергетическому классу $[K]$ и количеству землетрясений N внутри границ класса (штрихпунктирная линия); улучшенный – полученный с учётом усреднённой, выделившейся за одно событие энергии $\log_{10}(E_{\Sigma K} / N)$, в границах диапазона и количеству землетрясений N внутри границ класса (пунктирная линия); непрерывный улучшенный – полученный с учётом, выделившейся энергии $E_{[K]} = \log_{10} E_{\Sigma K}$, внутри границ класса $[K]$ и непрерывной переменной $N_{[K]} = \log_{10} \bar{N}$, вычисленной по формуле (8), обеспечивает постоянство выделившейся энергии $E_{[K]}$ для любого непрерывного K из диапазона

$([K]-1+\log_{10} 5.5) < K \leq ([K]+\log_{10} 5.5)$ (сплошная пилообразная линия),

Таким образом, предпочтительнее в качестве кривой плотности вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$ использовать пилообразную кривую повторяемости землетрясений, полученную с помощью соотношения (8), так как она агрегирует большой объём накопленной информации и является непрерывной, в отличие от первых двух, которые могут быть использованы для этих целей только после аппроксимации дискретных данных непрерывным линейным законом Гутенберга–Рихтера (7).

Идентификация функции плотности вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$ по пилообразной кривой повторяемости землетрясений, для узла координатной сетки (φ, λ) . Зададим аппроксимирующую функцию плотности распределения вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$ в виде пилообразной кривой повторяемости землетрясений (8) (см. рис.2). Замыкая эту кривую прямыми, параллельными координатным осям, получим замкнутую фигуру «ёж», описанную выше. Поскольку все сейсмические события, расположенные в диапазоне $[K_{\min}, K_{\max}]$, образуют полную группу значимых событий, то, в соответствии с выражением (3), для использования пилообразной кривой повторяемости землетрясений в качестве плотности распределения вероятности, площадь замкнутой фигуры «ёж» должна равняться единице. Однако её площадь не равна единице, в этом случае, для того, чтобы кривая повторяемости землетрясений, приобрела свойства плотности распределения вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$, необходимо нормировать к единице площадь фигуры «ёж», т.е. необходимо ввести нормирующий коэффициент – $n=1/S_{\text{fig}}$, умножение на который приводит площадь фигуры к единице.

Таким образом, можно определить величину вероятности $P_{\varphi\lambda}^{[K]_i}$ попадания случайной величины K_i в заданный интервал $([K]_i-1+\log_{10} 5.5) < K_i \leq ([K]_i+\log_{10} 5.5)$:

$$P_{\varphi\lambda}^{[K]_i} = \frac{S_{[K]_i}}{S_{\text{fig}}}, \quad (i = \overline{K_{\min}, K_{\max}}), \quad (9)$$

где $S_{[K]_i}$ – площадь i -го «зубца» составной фигуры «ёж» в границах класса K_i .

На рисунке 3 изображены пилообразный график повторяемости землетрясений (фигура «ёж») и соответствующие ему вероятности возникновения землетрясений (9), составляющие полную группу событий в диапазоне $[K_{\min}, K_{\max}]$ для соответствующего узла сетки.

Обозначим величину $P_{\varphi\lambda}^{K^*}$ как вероятность попадания случайной величины K в заданный интервал $K^* \leq K \leq K_{\max}$, K^* – энергетический класс, начиная с которого определяется вероятность, K_{\max} – сейсмическое событие максимально возможного класса в данном узле координатной сетки,

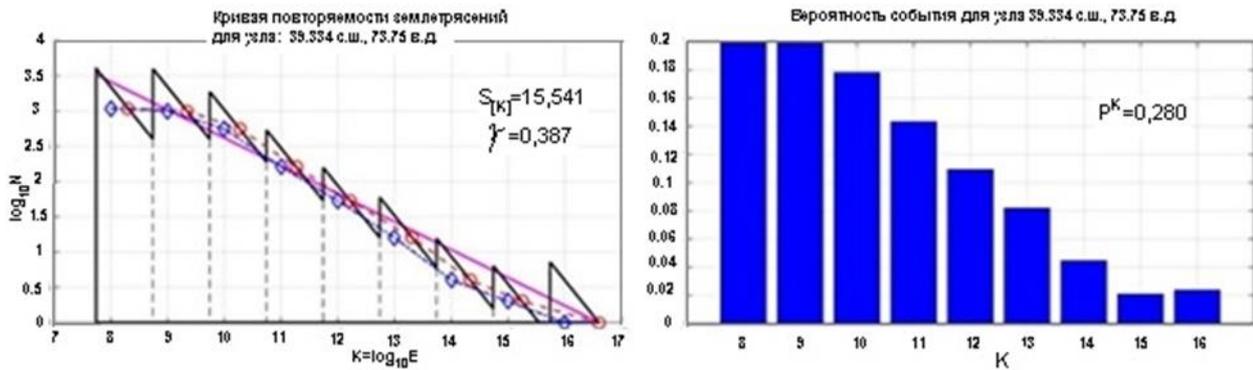


Рисунок 3 - Пилообразная кривая повторяемости землетрясений и соответствующие ей вероятности возникновения землетрясений ($P_{\varphi\lambda}^{K^*+}$), составляющие полную группу событий в диапазоне $[K_{\min}, K_{\max}]$ для узла сетки с координатами: 39.334° с.ш., $\lambda=73.75^\circ$ в.д.

тогда с учетом (9) получим:
$$P_{\varphi\lambda}^{K^*+} = \sum_{i=K^*}^{K_{\max}} P_{\varphi\lambda}^{[K]_i} \quad (10)$$

Заметим, что должно выполняться неравенство $K^* \geq K_{\min}$, и если $K^* = K_{\min}$, то $P_{\varphi\lambda}^{K_{\min}^*+} = 1$ – представляет полную группу событий.

Таким образом, использование вместо линейного закона Гутенберга–Рихтера (7), непрерывную пилообразную кривую повторяемости землетрясений (8) (рис.3) в качестве аппроксимирующей функции плотности распределения вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$, позволило повысить точность модели определения вероятности сейсмического события за счет нелинейной природы учета реальных данных.

Введем в рассмотрение понятие сейсмической угрозы D_A (Dangerof Activity), представляющей собой числовую меру, характеризующую совокупность выделившейся энергии землетрясений по классам $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ внутри трафарета за заданный временной интервал. Предлагается, в качестве количественной оценки сейсмической угрозы D_A , использовать площадь фигуры «ёж» S_{fig} , расположенной под пилообразной кривой повторяемости землетрясений (8):
$$D_A = S_{\text{fig}} \quad (11)$$

В отличие от понятия сейсмической активности A [7], представляющей собой среднее число очагов землетрясений определенной величины, которые возникли в единице пространства в единицу времени, сейсмическая угроза D_A коррелирует количество выделившейся энергии землетрясений по классам $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ внутри трафарета за заданный временной интервал, но также как и сейсмическая активность, является абстрактной цифрой, пригодной только для относительного сравнения узлов сетки при одинаковых условиях забора данных для анализа. Также, как и сейсмическая активность A , сейсмическая угроза D_A является детерминированной величиной, характеризующей понятие сейсмического режима. Сейсмическая опасность возрастает с ростом величины D_A .

Результаты применения предлагаемого метода оценки вероятности возникновения значимых сейсмических событий на основе аппроксимации плотности вероятности по статистическим наблюдениям покажем на примере территории Баткенской области Кыргызской Республики(область в пределах координат: $\varphi=39,0^\circ - 40,5^\circ\text{N}$; $\lambda=69,0^\circ - 72,5^\circ\text{E}$).

На рис. 4 представлена карта (схема) вероятности возникновения сильных событий (с $K \geq 12$) для района Баткенской области. На схему также нанесены

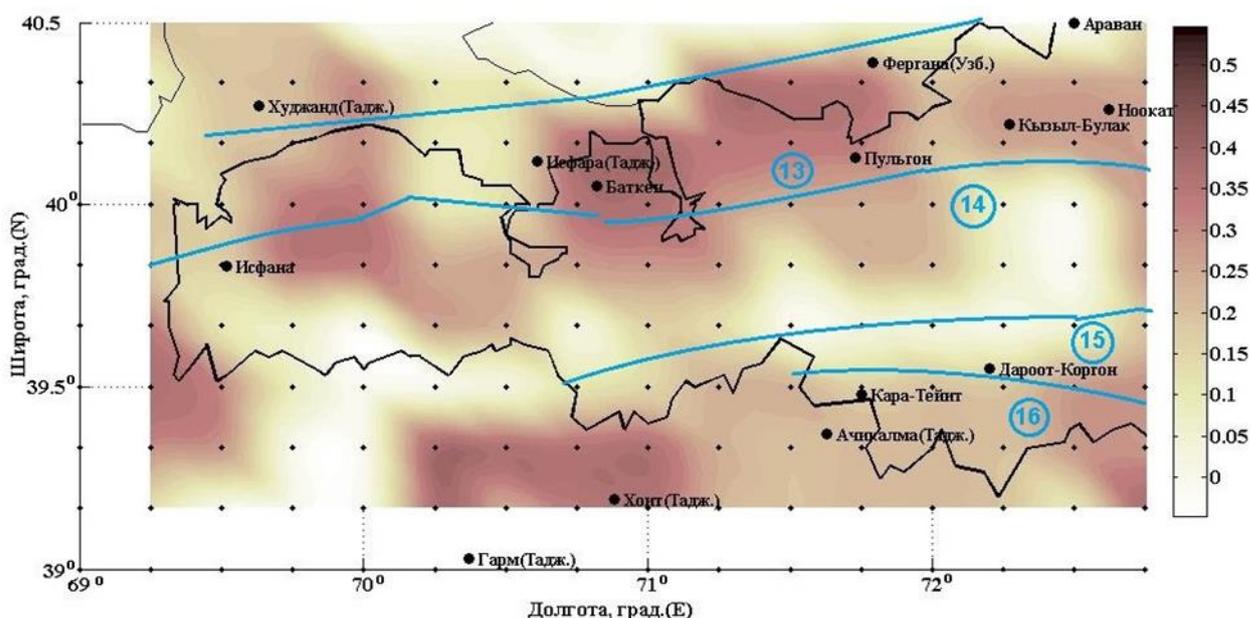


Рисунок 4 - Карта (схема) вероятности возникновения сильных событий (с $K \geq 12$) на территории Баткенской области.

границы сейсмогенерирующих зон, выделенных на карте сейсмического районирования Кыргызской Республики [8] (13 - Южно-Ферганская, 14 - Хайдарканская, 15 - Туркестано-Алайская, 16 - Гиссаро-Кокшаальская) (линии синего цвета). По степени вероятности проявления сейсмических событий выделились области различной конфигурации. Области с наибольшей вероятностью проявления сейсмических событий с $K \geq 12$ приурочены, в основном, к Южно-Ферганской (13), Гиссаро-Кокшаальской (16) сейсмогенерирующим зонам, при этом не на всем протяжении этих зон отмечаются наибольшие значения. Так, на участке западнее Баткена Южно-Ферганской (13) зоны отмечается чередование участков с различной степенью вероятности. Отметим при этом, что области с наибольшей вероятностью частично охватывают и отдельные участки Хайдарканской зоны (14), приуроченные к северной части границы этой зоны (южнее Баткена и восточнее Исфањ). Область с наименьшей вероятностью проявления сейсмических событий с $K \geq 12$ отмечается в юго-западной и восточной части исследуемой территории и приурочена в основном к граничным участкам Хайдарканской (14) и Туркестано-Алайской (15) зон.

В результате рассмотрения понятия сейсмической угрозы D_A (Danger of Activity), представляющей собой числовую меру, характеризующую совокупность выделившейся энергии землетрясений по классам $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$

внутри трафарета, и предложения в качестве количественной оценки сейсмической угрозы D_A использовать площадь фигуры «еж» S_{fig} , расположенной под пилообразной кривой повторяемости землетрясений, получено пространственное распределение этой величины (рис. 5). Очевидно, что между сейсмической угрозой и вероятностью возникновения сильных событий существует следующая однозначная связь – вероятность

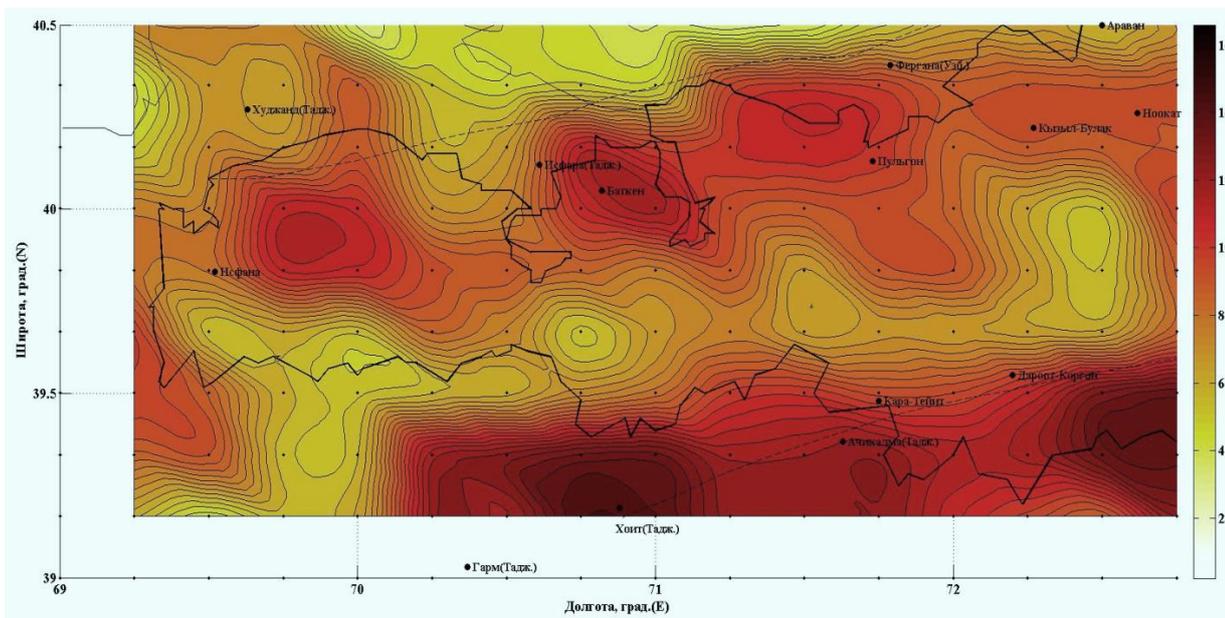


Рисунок 5 - Сейсмическая угроза D_A в абстрактных единицах. возникновение сильных событий есть нормированная сейсмическая угроза значимых сейсмических событий.

Таким образом, предложен разработанный метод оценки вероятности возникновения сильных сейсмических событий на основе обработки статистической информации о сейсмических событиях в исследуемом регионе, накопленной за весь период наблюдений [2].

Приведено применение предлагаемого метода на примере территории Баткенской области Кыргызской Республики ($\varphi=39,0^{\circ} - 40,5^{\circ}N$; $\lambda=69,0^{\circ} - 72,5^{\circ}E$). Представлены карты (схемы) вероятности возникновения сильных событий в исследуемом районе, на которой по степени вероятности проявления сейсмических событий ($K \geq 12$) выделились области различной конфигурации. Предусмотрена возможность представления вариантов карт вероятности возникновения сейсмических событий другого энергетического уровня.

Литература

1. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР, 1964, №32 (199). – С. 72-98.
2. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Уокер Р., Фролова А.Г., Грюинер К. и др. Землетрясения Кыргызстана. Бишкек: 2022. 206с.
3. Gutenberg B., Richter C. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull Seism Soc Am. 1942. V. 32. P. 163–191.
4. Gutenberg B., Richter C. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton University Press, Princeton, N.Y. 1949.
5. Gutenberg B., Richter C. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration, part II // Bull Seism Soc Am. 1956. V. 46. P. 105–145.
6. Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Рукавишникова Т.А. Стабильная модификация закона повторяемости землетрясений и перспективы её применения в сейсморайонировании. Физика Земли, 2020, №1, с. 62-76.
7. Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима. // Изв. АН СССР, серия геофизическая. - 1958. - №9. - С.1057-1074.
8. Абдрахматов К.Е., Джанузаков К.Д., Фролова А.Г., Погребной В.Н. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (Объяснительная записка). - Бишкек, 2012, - 51 с.

Макки Кевин,
Мичиганский Государственный университет, США
Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С.
Институт геофизических исследований
Национального ядерного центра РК,

РЕЗУЛЬТАТЫ КАЗАХСТАНСКО-АМЕРИКАНСКОГО ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 2021-2022Г.Г. В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ УСЛОВИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Аннотация. В течение одного года (сентябрь 2021 – октябрь 2022 года) в Западном Казахстане непрерывно работала сеть из 16 широкополосных сейсмических станций. Это второй этап подобных работ (первый проведен в 2016 году). Цель – изучение характеристик сейсмического шума, его суточных и сезонных вариаций для выбора места будущей стационарной станции или сейсмической группы. Установлены закономерности изменения спектральных характеристик шума, его источники. Выбраны лучшие по условиям регистрации площадки сейсмических наблюдений. Экспериментально изучены возможности групп малой апертуры для регистрации региональных событий. Проведена полная обработка всех полученных данных (автоматическая и ручная), составлен сейсмический бюллетень. Зарегистрировано около 6000 региональных и 4000 телесеизмических событий.

Summary. During one-year period (September 2021 - October 2022), a network of 16 broadband seismic stations had been operating continuously in the west Kazakhstan region. This was the second stage of the work (the first was in 2016). The goal is to study the parameters of seismic noise, its daily and seasonal variations to select a place for future permanent station or seismic array. The regularities of noise spectral characteristics change were determined as well as its sources. The best sites of seismic observations on recording conditions were selected. The capabilities of small aperture arrays for regional events recording were studied experimentally. All received data were processed (automated and manual processing), a seismic bulletin was compiled. About 6000 regional and 4000 teleseismic events were recorded.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК в сотрудничестве с Мичиганским Государственным университетом в последние годы проводил двухэтапный эксперимент с помощью сети полевых сейсмических станций в Западном Казахстане. В 2016 году состоялся первый этап подобных работ, который длился с 19 августа по 12 сентября 2016 года. Целью работ было изучение характеристик сейсмического шума на различных площадках (рис. 1, красные треугольники).

Второй этап работ проводился в Западном Казахстане в юго-восточной части Мангистауской области в восточной части полуострова Мангистау (Мангышлак). Период работы составлял год - с сентября 2021 года по октябрь 2022 года. Всего было установлено 16 сейсмических станций (рис.1, зеленые ромбики). На всех станциях были установлены одинаковые комплекты аппаратуры – дигитайзеры Quanterra Q330 и широкополосные сейсмометры Strekeisen STS-2. Частота оцифровки составляла 200 Гц.

Два сайта представляли из себя группы по четыре элемента каждый с апертурой 1 км. В процессе работ местоположение групп менялось. Всего изучены возможности трех мини-групп.

Цель эксперимента – изучение условий регистрации сейсмических колебаний, оценка предельной магнитудной чувствительности для событий из различных сейсмоактивных зон региона и мира по данным полевых станций. Выбор наилучшего места для будущей стационарной станции или сейсмической группы.

Важным было и получение новой информации о локальной и региональной сейсмичности, сведения о которой впоследствии можно использовать для оценки сейсмической опасности Западного Казахстана. Полученные результаты являются совершенно новыми, поскольку в этой части Западного Казахстана никогда не было

сейсмических станций, которые проводили бы здесь стационарные наблюдения.

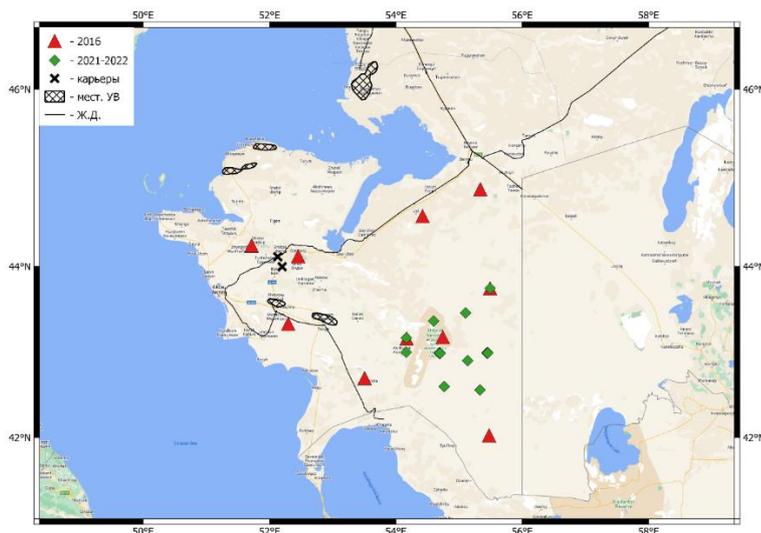


Рисунок 1. Карта расположения полевых сейсмических станций во время эксперимента. Красные треугольники – сейсмические станции 2016г.; зеленые ромбики – сейсмические станции 2021–2022 гг.; сплошная оранжевая линия – крупные шоссе, черная линия – железные дороги, заштрихованные области – нефтегазовые месторождения, крестики – работающие карьеры.

Район расположения сейсмических станций находится в зоне пересечения тектонических разломов северо-западного и северо-восточного направлений. Среди них отмечаются разломы первого порядка Мангышлакский (северо-западный) и Карынжарыкский (северо-восточный), который является продолжением Мугоджарского (Предуральского) разлома на юго-запад в Туранскую плиту. Остальные разломы являются второстепенными.

Выбор конкретного места для установки сейсмостанций осуществлялся с учётом следующих факторов: максимальная приближенность к заранее выбранным с геологической точки зрения и лучшей конфигурации сетикоординатам, принимались во внимание удалённость от дорог, троп перегона скота, жилых объектов, источников техногенного шума, возможность установки сейсмометра на выходы коренных пород, скрытность солнечных панелей от глаз посторонних.

Данные полевой сети MSUAR для обработки регистрировались с 20.09.2021 по 04.10.2022 г. Вся обработка полевых данных выполнена в Центре данных Института геофизических исследований Национального ядерного центра (KNDC).

1. **Сейсмические шумы.** Одной из главных задач эксперимента было изучение спектрального уровня шумов на каждой площадке, изучение вариаций шумов в пределах суток и сезонов года, сопоставление характеристик шума на разных площадках с мировыми моделями шума Петерсона [1]. Для всех станций наблюдаются общие закономерности, отражающие глобальные явления, например, микросейсмические источники, источниками которых являются штормы в океанах. Кроме того, для каждой станции существуют специфические особенности в параметрах сейсмического шума, отражающие ее местоположение по отношению к источникам шума, условия установки сейсмической аппаратуры, характеристики аппаратуры, грунтовые условия в месте установки.

В результате изучения спектральных характеристик были получены модели шума и вариации в пределах суток и сезонов года. Был сделан вывод, что наилучшими по условиям низкого уровня сейсмических шумов и отсутствия существенных суточных вариаций шума можно считать площадки станций WKZ17, WKZ08 и нескольких других, расположенных по периметру сети.

Для примера на рисунке 2 показаны кривые по станциям WKZ02 (слева) и WKZ17 (справа). Как видно, по данным станции WKZ17 практически отсутствуют высокочастотные шумы по сравнению со станцией WKZ02.

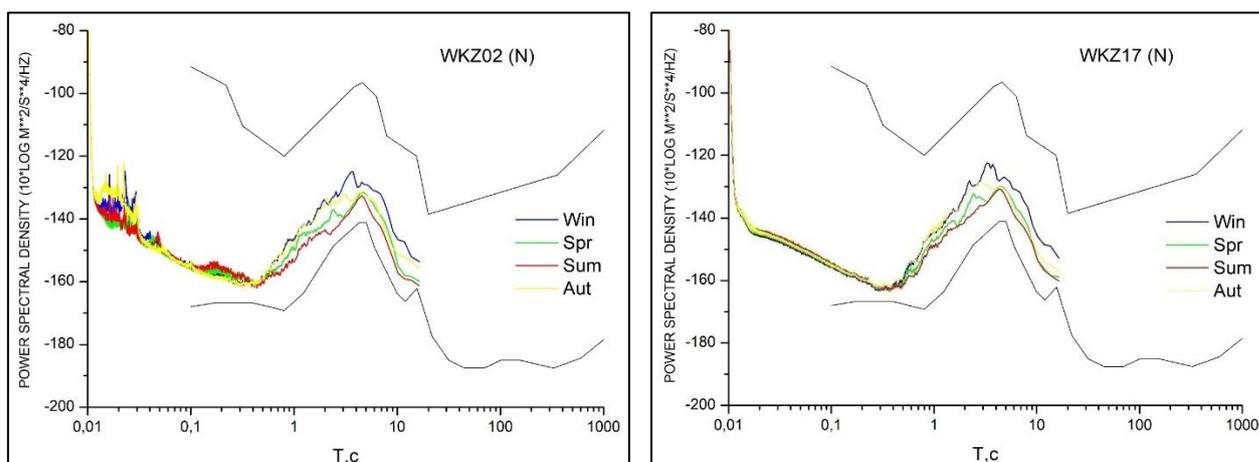


Рисунок2. Графики спектральной плотности сейсмического шума для станций WKZ02 (слева) и WKZ17 (справа) для разных сезонов года (в ночное время, вертикальная компонента)

По всем станциям самый низкий уровень шумов наблюдается в летний период. В зимний сезон наблюдается повышение уровня шумов с максимумом на периодах 3-4с, связанных с влиянием Каспийского моря. Суточные вариации шума, как правило, незначительны. В целом, уровень спектральной плотности шума для всех станций тяготеет к нижеуровневой модели Петерсона [1].

2. Результаты обработки данных. Данные полевых сейсмических станций MSUAR имеют цифровой формат MiniSEED. В KNDC произведены работы по конвертации данных, создана полноценная база сейсмических записей в формате CSS3.0 (Center for Seismic Studies), широко применяемом в мировой практике. Структура базы сейсмических данных - формат CSS3.0.

Для обработки данных сети MSUAR использованы программы dbpick и dbloc2, входящие в пакет DATASCOPE. В программе dbpick проводилась визуализация волновых форм по всем станциям, проставление идентифицированных сейсмических фаз, фильтрация и замеры амплитуд A и периодов T (на фильтре, аналогичном характеристике прибора СКМ).

Локальные события. Для поиска сигналов от локальных событий использовался фильтр с центральной частотой 10Hz. (рис.3). Впервые в истории инструментальных наблюдений в этом районе обнаружены и локализованы несколько десятков слабых землетрясений с эпицентрами в пределах сети станций.

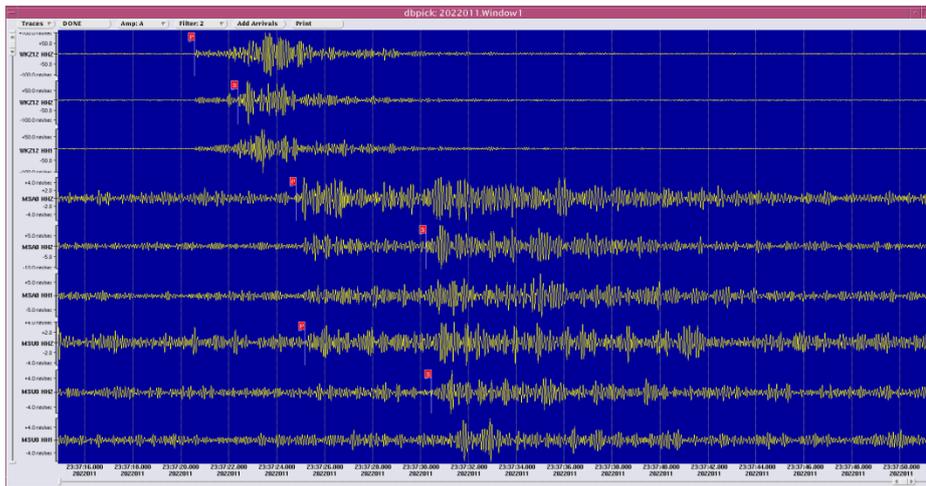


Рисунок 3 – Сейсмограмма локального землетрясения 11 января 2022г. 23:37:17

Региональные события. Для поиска региональных событий использовались фильтры с центральными частотами 5.0Hz и 10Hz. После идентификации региональных фаз (Pn, Pg, Sn, Lg) замеры амплитуд и периодов также производились на фильтре СКМ. На рисунке 4 приведен пример регионального события 24 января 2022г. 22:54:32 из района Копетдагского разлома.

Телесеismicческие события. Для поиска сигналов от далеких событий использовался фильтр с центральной частотой 2.5 Hz. Обработка далеких телесеismicических событий заключалась в проставлении вступлений и замере А и Т первых вступлений Р-волн и ассоциации зарегистрированного события с бюллетенем IDC (Международного центра данных ОДВЗЯИ) REB [2]. Локализация не производилась, а основные параметры события брались из бюллетеня IDC REB. На рисунке 5 приведены волновые формы телесеismicического землетрясения 7 февраля 2022г. 21:26:48 ($m_b=3.5$) из района Индонезии. Расстояние до станций составляет 8318 км.

Отдельно проводились эксперименты с обработкой данных по группам, составленным из станций полевой сети. Всего было установлено три мини-группы. Апертура всех групп была примерно одинаковой и составляла около 1км. Для каждой мини-группы в период ее работы подобраны эталонные события с хорошо известными параметрами – эпицентром и глубиной. По ним оценивалась точность определения азимутов по группе. Применялся F-канал для волн Р и S. Отмечено существенно повышение точности локализации эпицентра при использовании совместно данных трехкомпонентных станций и мини-групп.

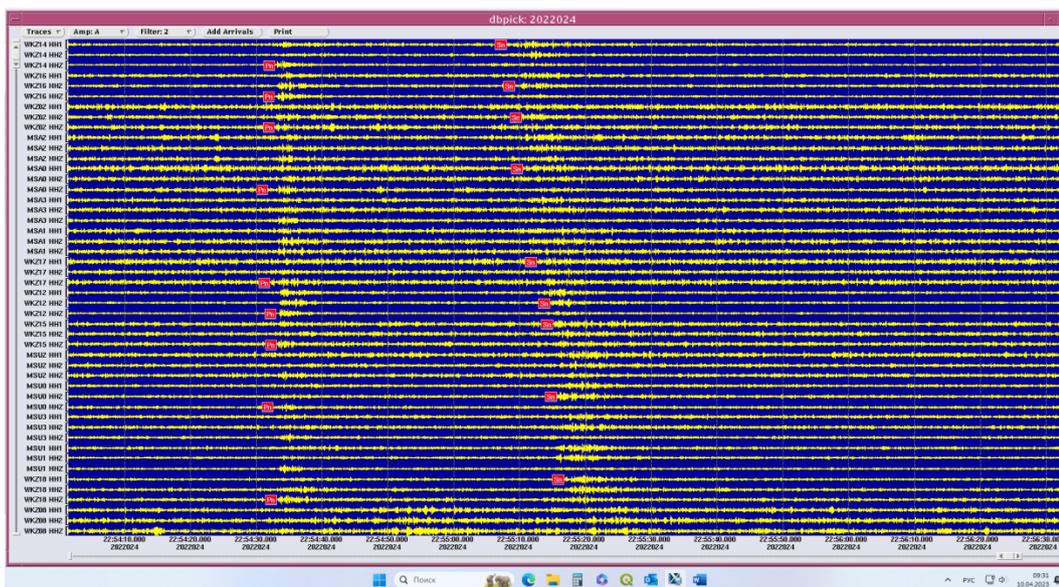


Рисунок 4 – Сейсмограмма землетрясения 24января 2022г. 22:54:32

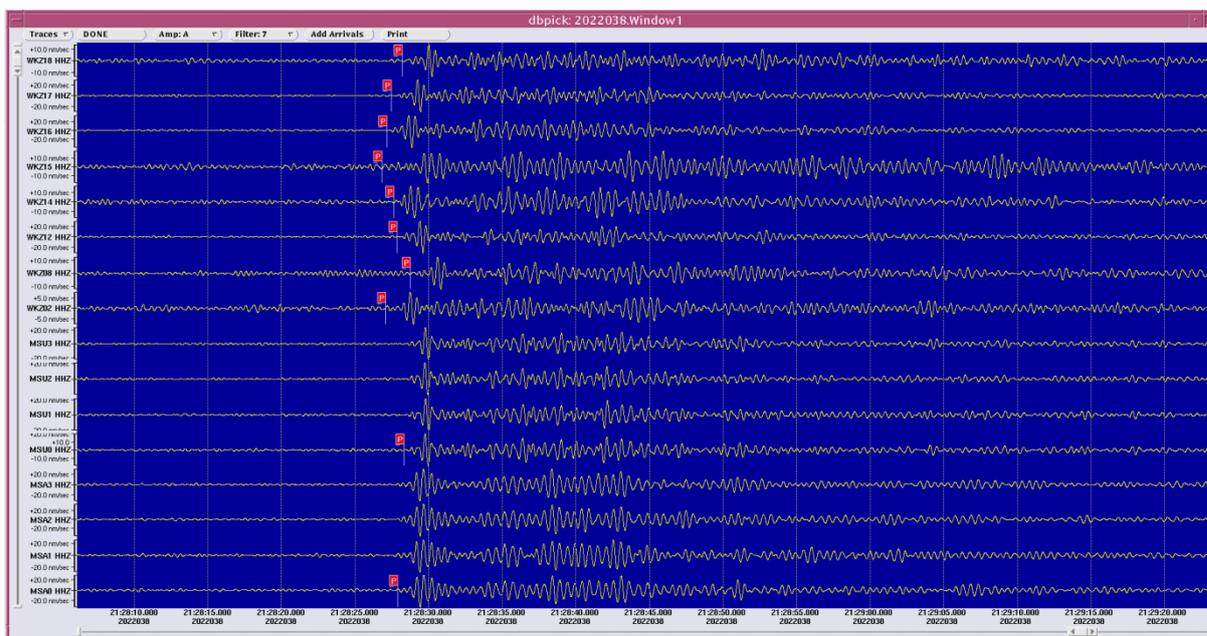


Рисунок 5 – Сейсмограмма телесеismicкого события - землетрясения из района Индонезии 7 февраля 2022г. 21:26:48

В результате обработки данных полевых станций составлен региональный бюллетень сейсмических событий, в который вошли основные параметры более 6000 событий. Карта эпицентров всех зарегистрированных и локализованных событий представлена на рис. 6. Кроме тектонических событий зарегистрированы техногенные события в местах добычи углеводородного сырья в Прикаспии. Карьерные взрывы зарегистрированы на территории Узбекистана и Казахстана.

Полевыми станциями в период проведения экспериментарегистрировались и сейсмические сигналы от землетрясений из различных регионов Земли. На рисунке 7 приведена карта всех зарегистрированных землетрясений, ассоциированных с бюллетенем IDCREEB. Всего зарегистрировано более 4000 телесеismicких событий.

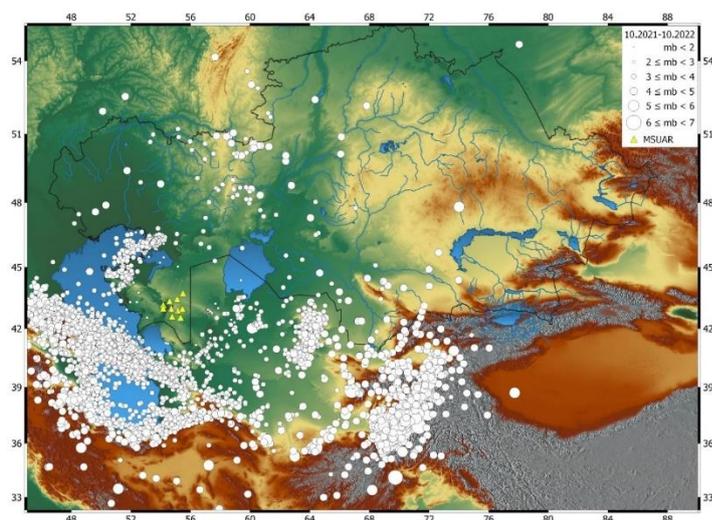


Рисунок 6 – Карта эпицентров сейсмических событий по данным ручной обработки. Желтые значки – сейсмические станции.

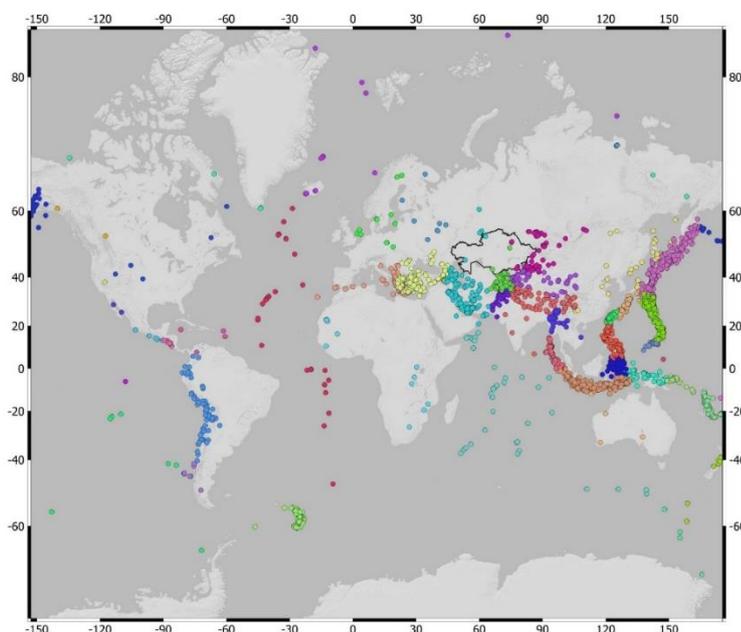


Рисунок 7 – Карта эпицентров сейсмических событий, ассоциированных с каталогом IDCREB. Разным цветом показаны эпицентры из разных регионов по системе регионализации IDC.

Заключение

1. По результатам проведенных работ рассчитаны спектральные параметры сейсмических шумов на всех площадках, где установлены сейсмические станции.
2. Выявлены основные факторы, влияющие на уровень шумов. Оценены значения сезонных вариаций, обусловленных ветровыми помехами и штормами в Каспийском море.
3. Выбраны площадки с минимальным уровнем шума и отсутствием значимых суточных вариаций, где могут быть установлены стационарные сейсмические станции.
4. Станции показали высокую эффективность в регистрации региональных и телесеизмических событий. Найдены инструментальные сейсмологические подтверждения сейсмоопасных зон, выделенных ранее только по геолого-геофизическим данным. Эксперимент позволил выявить новые, ранее неизвестные сейсмически активные зоны.

Литература

1. Peterson, J. Observations and modelling of seismic background noise //US geological Survey. Open-file report. – 1993. – P. 93–322.
2. Обзорный сейсмический бюллетень Международного центра данных REB (IDCCTBT) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre>.

Муралиев А.М.

Институт сейсмологии НАН Кыргызской Республики,
г. Бишкек, зав. лабораторией, д.ф.м.-н., профессор
E-mail: abmuraliev@mail.ru

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИХ РАЗВИТИЕ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с современным состоянием, проблемой и дальнейшим развитием изучения механизмов очагов землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня. Сейсмологический метод изучения фокального механизма землетрясения позволяет получить информацию о современном напряженно-деформированном состоянии земной коры, которое имеет непосредственное отношение к изучению природы возникновения сильных землетрясений. Составленный каталог фокальных механизмов землетрясений можно использовать для построения современного поля напряжений, решения задач прогноза землетрясений, оценки сейсмической опасности и др.

Focal mechanisms of earthquakes in the Kyrgyz Tien Shan: state, problems and their further development

Annotation. The article deals with issues related to the current state, problem and further development of the study of the mechanisms of earthquake sources in the Kyrgyz Tien Shan. The seismological method of studying the focal mechanism of an earthquake makes it possible to obtain information about the current stress-strain state of the earth's crust, which is directly related to the study of the nature of the occurrence of strong earthquakes. The compiled catalog of earthquake focal mechanisms can be used to build a modern stress field, solve problems of earthquake prediction, seismic hazard assessment, etc.

Исследование механизмов очагов землетрясений является одним из важнейших и информативных научных направлений в современной сейсмологии. Сейсмологический метод изучения фокального механизма землетрясения позволяет получить информацию о современном напряженно-деформированном состоянии земной коры, которое имеет непосредственное отношение к изучению природы возникновения сильных землетрясений. Как известно, механизм очага (МО) землетрясения представляет собой положение в пространстве двух нодальных плоскостей, направление подвижки по ним и ориентация осей главных напряжений сжатия, растяжения и промежуточного. Для получения информации о МО землетрясений в качестве исходных данных служат знаки первых движений продольных (Р) волн, излученных из очага землетрясения и зарегистрированных высокочувствительными сейсмическими приборами. Проблема получения надежной информации о механизме очага зависит от многих факторов: от наблюдения объемных сейсмических волн, точности определения основных параметров очага, сбора знаков первых движений Р-волн, расположения сейсмических станций относительно сейсмоактивных областей, качества записей на сейсмограммах, идентификации объемных сейсмических волн и др. После идентификации Р-волн и тщательной обработки фактических данных в конечном счете можно получить диаграмму фокального механизма для каждого индивидуального землетрясения. Аналогичная

рутинная работа проводится практически во всех сейсмоактивных зонах Земли. В данной статье приведено сообщение о сборе исходных данных, обработке и систематизации результатов определения фокальных механизмов землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня (КТШ).

Механизмы очагов землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня определены по известной методике А.В.Введенской [1,2]. Обработка для каждого землетрясения производилась с помощью компьютерной программы(Sourcemechanism), составленной японскими специалистами[3] и адаптированной для условий Тянь-Шаня. В случае сильных землетрясений ($K_R \geq 12.0$) в каталог внесены результаты определения механизмов их очагов в международных центрах GCMT [4], NEIC [5], ISC[6], MOS[7].

Основная цель изучения механизма очага землетрясений - это идентифицировать сейсмических разрывов по данным сейсмологических наблюдений и получить общее представление о напряженно-деформированном состоянии земной коры Кыргызского Тянь-Шаня.

В настоящее время механизм очага определяется для каждого землетрясения КТШ, начиная 10-го энергетического класса. В качестве исходных данных используются знаки первых движений Р-волн, зарегистрированных высокочувствительными сейсмическими приборами, установленными на сейсмических станциях региона. Отметим, что надежное квадрантное распределение знаков Р-волн на стереографической сетке Вульфа можно получить там, где имеется густая сеть станций. Например, в пределах Бишкекского прогностического полигона представительность такого определения составляет 8-го класса землетрясения ($K \geq 8$).

В Институте сейсмологии НАН Кыргызской Республики использован и внедрен компьютерный способ поиска решения фокального механизма землетрясенийFRFIT. Для каждого случая можно получить стереографические проекции двух ортогональных нодальных плоскостей и положение в пространстве осей главных напряжений. Составлен каталог механизмов очагов землетрясений($K \geq 10$) Кыргызского Тянь-Шаня за период с 1946 по 2022г.[8] по данным наблюдений объемных сейсмических волн. Он дает нам возможность проводить исследования напряженно-деформированного состояния сейсмоактивного объема земной коры, ответственного за подготовки ожидаемого сильного землетрясений. В каталог также включены данные о механизмах очагов землетрясений, выполненных разными авторами и опубликованные в различных источниках. Параметры механизмов очагов исторических сильных землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня представлены в разных форматах, что затрудняло использовать эти данные. Поэтому пришлось их заново переопределить и записать в международном формате, затем включить в каталог. Каталог МО землетрясений регулярно публикуется в ежегодном журнале "ЗемлетрясенияСеверной Евразии", который издается в ФИЦ ЕГС РАН, г.Обнинск и в «Вестнике Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики».

Выполнена работа по проведению картирования положения в пространстве нодальных плоскостей, направление подвижки и ориентации осей главных напряжений, действующих в очагах исследованных землетрясений. Для примера на рисунке показано распределение диаграмм фокальных механизмов землетрясений по территории Кыргызского Тянь-Шаня.

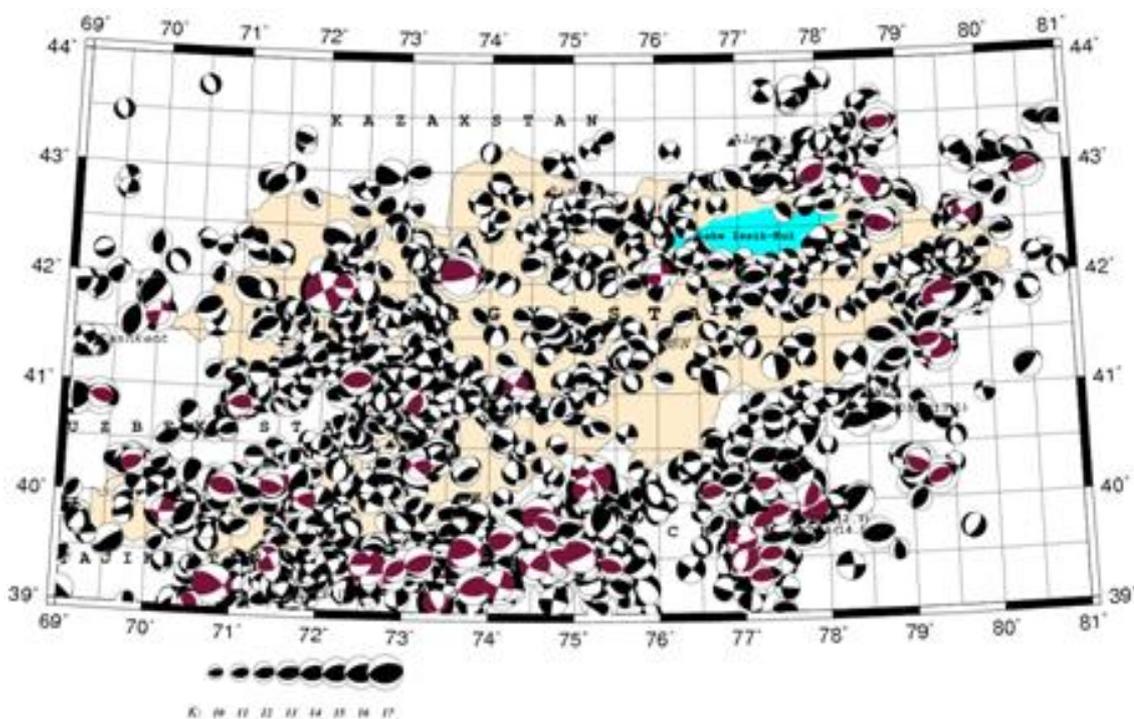


Рисунок 1 Механизмы очагов землетрясений с $K \geq 10$ Кыргызского Тянь-Шаня за период 1946-2022гг. (Диаграммы механизмов очагов наиболее сильных землетрясений выделены красным цветом)

Отметим, что в центральной части территории КТШ параметры механизма очагов землетрясений определены достаточно хорошо, с минимальной погрешностью. А на юге, на так называемой "Какшаальской" высокосейсмичной зоне, которая расположена на границе между Кыргызстаном и Китайской Народной Республикой, механизмы определены менее надежно из-за отсутствия у нас данных сейсмических станций КНР. Знаки первых вступлений Р-волн от сейсмических станции Узбекистана и Казахстана поступают к нам с большой задержкой.

Опыт изучения механизмов очагов землетрясений Тянь-Шаня и других регионах мира показал, что найденные плоскости разрывов, полученные сейсмологическим методом, достаточно хорошо согласуются с другими геофизическими и геологическими данными.

В настоящее время в Кыргызстане и Центральном-Азиатском регионе в целом действующая сеть сейсмических станций полностью переоснащена цифровыми сейсмическими приборами. В Кыргызстане и его прилегающих районах сеть сейсмических станций обеспечивает беспропускную регистрацию землетрясений с энергетическим классом 9 и более, начиная с 1955 года [9]. С этого момента каталог основных параметров землетрясений Кыргызстана и Центрально-Азиатского региона составляется и ежегодно пополняется новыми сейсмическими событиями [10]. Составление базы данных по механизмам очагов землетрясений ($K \geq 10$) в региональном масштабе было начато в 1979 году [11]. Основная идея была собрать данные о знаках первых вступлений от всех сейсмических станций региона в оперативном порядке, проводить обработку данных по единой методике и составлять ежегодный каталог по региону. Работа успешно проведена и результаты были опубликованы в ежегодном сборнике "Землетрясения Средней Азии и Казахстана" [11]. Сборник был подготовлен и издан в региональном центре прогноза землетрясений Средней Азии и Казахстана, в Институте сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж.ССР. Однако, параметры механизмов очагов землетрясений опубликованы в формате, отличающемся от международного, что создает некоторые трудности при их дальнейшем использовании.

Чтобы систематизировать и их перевести в международный формат была проведена определенная работа[8].

Проблемы, связанные с выполнением международного обмена сейсмологических данных (особенно по обмену знаков первых вступлений Р-волн) остается желать лучшего. Для решения этих проблем возможно необходимо создать и, вернее, возобновить работу регионального Центра сейсмологических данных в Центральной Азии. Если учесть высокий уровень сейсмической активности территории Кыргызстана, то наиболее подходящим местом для регионального центра на этот раз является Институт сейсмологии НАН Кыргызской Республики.

Дальнейшее развитие исследования механизмов очагов землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня должно быть направлено на наращивание каталога фокальных механизмов очагов землетрясений с последующим использованием его для оценки напряженно-деформированного состояния, а также для решения задач прогноза землетрясений и сейсмической опасности и др.

Выводы:

1. Благодаря развитию сейсмического мониторинга в регионе, качество определения механизмов очагов землетрясений в Кыргызстане значительно улучшилось.
2. Постоянное наращивание каталога механизмов очагов землетрясений Кыргызстана и Центральной Азии открывает реальную возможность развитие изучения напряженно-деформированного состояния горных масс, ответственного за подготовки сильного землетрясения.
3. Каталог механизмов очагов землетрясений, как уникальный сейсмологический материал, необходим для исследования современной геодинамики и разработки методов прогноза сильных землетрясений.

Литература

1. Введенская А.В. Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокации. // Изв. Ан СССР. Сер.геофиз. –1956-№3.-с.277-284.
2. Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. Журнал сейсмология - М.:Наука. №8. 1972. -192с.
3. Suetsugu D. Source Mechanism. IIESS Lecture note global Course. Tsukuba, Japan. 1998. 103с.
4. The Global CMT Project (GCMT). – New-York, USA. –URL: www.global.cmt.org/CMTsearch.html
5. Bulletin of the International Seismological Centre for 2015. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2015. www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin.
6. National Earthquake Information Centre. - URL: <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>
7. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2015 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015/.
8. Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С. Каталог механизмов очагов землетрясений Кыргызстана за 1946-2010гг.//Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI международной сейсмологической школы. Обнинск. 2016. с.219-223.
9. Джанузаков К.Д., Ильясов Б.И., Кнауф В.И. и др. Сейсмическое районирование Кыргызской ССР. Фрунзе: Изд-во “Илим”. 1977. -53с.
10. Джанузаков К.Д., Муралиев А.М., Калмыкова И.А., Холикова М.А. Сейсмичность Центральной Азии в 2008 году//Землетрясения Северной Евразии,2008. -Обнинск: ГС РАН, 2014. с.119-127.
11. Лукк А.А., Юнга С.Л., Шкляр Г.П., Соболева О.В., Леонова В.Г., Абдукадыров А.А., Беленович Т.Я., Власова А.А., Матасова Л.М., Муралиев А.А., Филина Т.А. Сеймотектоническая деформация Средней Азии и Казахстана// Землетрясения Средней Азии и Казахстана, 1979. Изд-во «Дониш», Душанбе. 1981. С.67-99.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

Аннотация. В статье изложены результаты анализа проведенных сейсмотектонических исследований в Узбекистане в предыдущие годы. Приведены результаты ранжирования тектонических структур на основе анализа разломной тектоники, новейших движений и сейсмичности территории. С учетом блочного строения земной коры изучены особенности проявления сильных и землетрясений умеренной силы на границах разноранговых структур Центральной Азии региона.

Annotation. The article presents the results of the analysis of the conducted seismotectonic studies in Uzbekistan in previous years. The results of ranking of tectonic structures based on the analysis of fault tectonics, recent movements and seismicity of the territory are presented. Taking into account the block structure of the earth's crust, the features of the manifestation of strong and moderate earthquakes at the boundaries of structures of different ranks in the Central Asia of the region have been studied.

Значимая активизация сейсмичности Центральной Азии в конце XVIII и в начале XIX столетия сопровождавшаяся возникновением ряда катастрофических землетрясений ($M \geq 7.0$) открыла новую эпоху изучения особенностей проявления землетрясений и их связи с особенностями геологического строения, процессами формирования структур земной коры. За прошедшее время доказана генетическая связь землетрясений с такими структурными элементами земной коры и литосферы, как зоны контрастных новейших тектонических движений и интенсивных современных вертикальных и горизонтальных движений, зоны молодых разрывов и древних глубинных разломов активизированных на современном этапе [Хаин, 1963, Ибрагимов, 1978, Уломов, 1974, Якубов и др., 1976, Таль-Вирский, 1982, Сейсмическое районирование, 2002, Ярмухамедов, 1988]. Дальнейшее развитие сейсмотектонических исследований было направлено на выделение и картирование источников сейсмичности на основе комплексного анализа геолого-геофизических, палео- и археосейсмологических материалов, данных современных движений земной коры. Логическим завершением этих исследований являлись выявление сейсмотектонических особенностей сейсмоактивных территорий [Ибрагимов и др., 2002], выделение активных сейсмогенных разломов [Якубов и др., 1976, Ибрагимов, 1978], являющиеся источниками сейсмических колебаний, с оценкой их сейсмического потенциала.

Генетический подход к выделению источника сейсмических колебаний, основанный на изучение очаговых зон и их характеристик, геолого-геофизических параметров среды, где зарождаются землетрясения, с привлечением данных сейсмостатистики составляет основу сейсмотектонических исследований по оценке сейсмической опасности. Исходя из этого теоретическую основу линейной модели сейсмических источников составлял «Закон сейсмотектоники Губина», который усовершенствован Р.Н.Ибрагимовым для условий Узбекистана и разработанная на ее основе концепция сейсмогенных зон [Ибрагимов, 1970, 1978]. Согласно разработанной концепции, сильные землетрясения возникают не везде и беспорядочно, а в строгом соответствии с особенностями геологической среды и полей тектонических напряжений в сейсмогенных зонах, обусловленных активными разломами в результате резкого смещения по ним геологических структур или блоков земной коры [Ибрагимов, 1970, 1978, Сейсмическое районирование..., 2002]. Таким образом, Разломы и разломные зоны являются местами разрядки накопленных в блоках земной коры тектонических напряжений и вероятными местами формирования и проявления очагов сильных землетрясений. Для выявления и картирования активных разломов земной коры изучаемой территории были проанализированы существующие опубликованные и фондовые

картографические материалы [Якубов и др., 1970, Ибрагимов и др., 2002, Трифонов и др., 2002] и информации из трудов ведущих ученых геологов. В результате обобщения были картированы основные сейсмогенные зоны Узбекистана и оценены их пространственные и энергетические характеристики (рис.1). Для территории Узбекистана и сопредельных территорий были выделены более 30 сейсмогенных зон, разделенные по сейсмическому потенциалу на три категории: зоны с $M \leq 7.5$, $M \leq 6.5$ и $M \geq 5.0$ (рис.1).

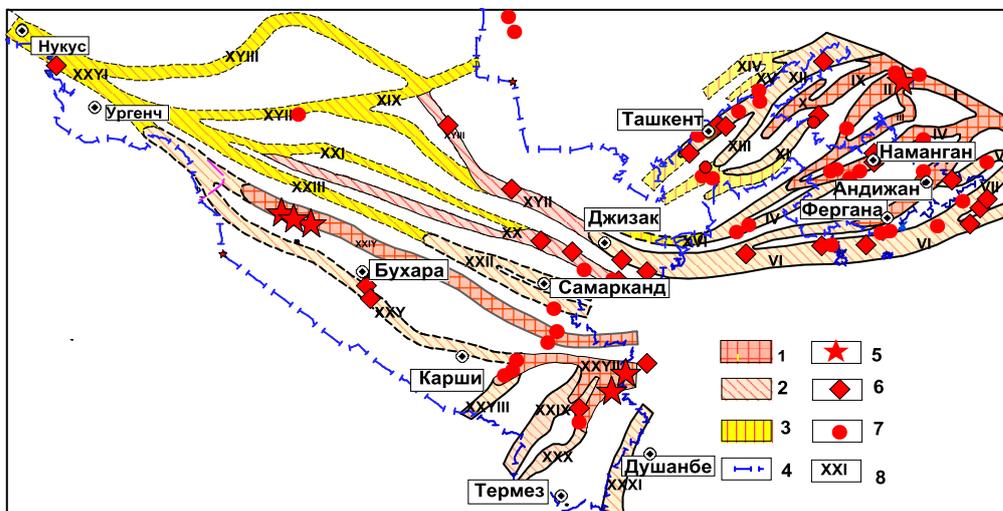


Рисунок 4. Сейсмогенные зоны Узбекистана.

1 - сейсмогенные зоны, в которых могут возникнуть землетрясения с: 1- $M \leq 7.5$; 2- $M \leq 6.5$; 3- $M \geq 5.0$;
4- государственная граница; эпицентры землетрясений с: 5- $M \geq 7.0$; 6 - $M \geq 6.0$; 7- $M \geq 5.0$; 7- номер сейсмогенной зоны

Следует отметить, что несмотря на многочисленные утверждения о разломно-блоково-слоистом строении земной коры в модели сейсмогенных зон источники сейсмичности выделены в виде линейно направленных, протяженных (порой от нескольких сот до тыс. и более км.) зон с небольшой (10-20 км) шириной. Хотя в пределах изучаемой территории существует система разнонаправленных разломов в окончательной оценке характеристик источника сейсмичности основное внимание уделено только лишь на крупных и структура контролирующая из них. Однако, результаты детальных исследований показывают, что распределение очагов землетрясений по всей длине протяженных разломных зон имеет дискретный характер и расстояние между очагами зависит от их энергетического уровня. Чем сильнее землетрясения, тем больше расстояния между их очагами. Это свидетельствует о том, что протяженные разломные зоны и связанные с ними сейсмогенные зоны не являются цельными по всей протяженности. Имеющиеся поперечные неоднородности в виде разломов крупных рангов, линеаментов и др., которые создают блочное строение земной коры, играют значимую роль в процессе подготовки и возникновения землетрясений. Известно, что чем крупнее блок, тем крупнее ограничивающий его разлом, следовательно, выше энергетический потенциал разломной зоны. В отличие от тектонических структур на практике ранжирование сейсмогенных зон производится не по пространственным признакам, а по энергетическому показателю, т.е. по уровню максимального возможного землетрясения (M_{max}), которого способно генерировать та или иная сейсмогенная зона. Поскольку каждый блок в зависимости от масштабного уровня и геодинамического состояния принимает участие в процессе подготовки и возникновения конкретного землетрясения энергетические возможности разных отрезков разломных зон могут быть разными. Кроме того, в циклах сейсмической активизации разные борта единого блока одного масштабного уровня должны быть взаимообусловлены. Действительно, это предположение нашло своего подтверждения на примере распределения сильных землетрясений в пределах отдельных блоках Ферганской

долины, когда активизация сейсмичности в разных бортах блока чередовались во времени [Нурматов и др., 2016, Атабеков, Нурматов, 2022]. Кроме того, наблюдается кратковременная одновременная активизация протяженных сейсмогенных зон по всей протяженности, проявляющаяся в виде усиления количества слабых и умеренных землетрясений [Нурматов и др., 2016].

С целью оценки роли блочного строения земной коры и его иерархической структуры в проявлении современной сейсмичности было произведено ранжирование геодинамических блоков. Ранжирование крупных геодинамических блоков осуществилось на основе анализа карты активных разломов Центральной Азии [Трифонов и др., 2002] и эпицентров сильных и сильнейших землетрясений [Новый каталог..., 1978, Абдрахматов и др., 2008]. Проведенный анализ позволил в пределах Центральной Азии выделить 7 микроплит: Восточно-Тянь-Шанская-ВТ-ШМП, Кызылкумская-ККМП, Казахская-КМП, Каракумо-Таджикская-К-ТМП; Памирская-ПМП; Таримская-ТМП. Общая схема микроплит в зоне коллизии Евразийской и Индостанской тектонических плит, их границы приведены на рис.2. На рисунке территория Восточного Узбекистана расположена в центральной части и относится к Западно-Тянь-Шанскую микроплиту (ЗТ-ШМП). С ней граничат Восточно-Тянь-Шанская (ВТ-ШМП), Кызылкумская (КК-МП), Памирская (П-МП) и Каракумо-Таджикская (К-ТМП) микроплиты расположенные в зоне коллизии.

Ранжирование геодинамических структур следующего масштабного уровня осуществилось на основе совместного анализа карты новейших тектонических движений и схемы активных разломов Восточного Узбекистана. Основными критериями при ранжировании неотектонических (современных) структур по степени значимости служили амплитуды новейших тектонических движений, схема активных разломов земной коры восточной части Западного Тянь-Шаня. В пределах Западно-Тянь-Шанской микроплиты (ЗТ-ШМП) 1-го ранга выделены следующие структуры 2-го ранга: Чаткало-Кураминский (А), Приташкентский (Б), Ферганский (В), Талассо-Ферганский (Г) и Южно-Тянь-Шаньский (Д) (рис.2).

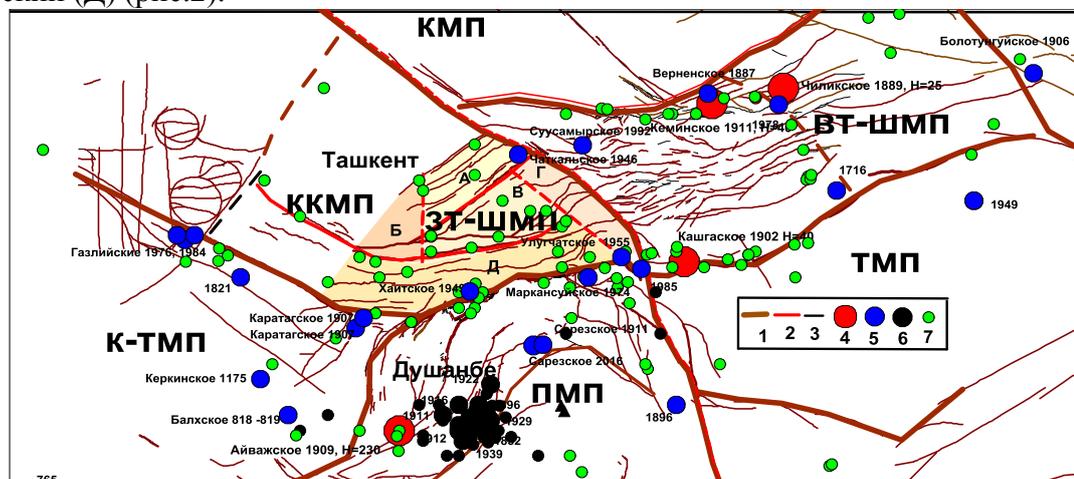


Рисунок 2. Схема расположения микроплит, геодинамических блоков второго ранга и эпицентры сильных землетрясений Центральной Азии

1 - границы литосферных микроплит (ВТ-ШМП – Восточно-Тянь-Шаньская; ККМП - Кызылкумская; КМП - Казахская; К-ТМП - Каракумо-Таджикская; ПМП – Памирская; ТМП – Таримская, 2 - границы блоков второго ранга; 3 - разломы земной коры (по Трифанову и др.); эпицентры землетрясений: 4 - $M \geq 8.0$; 5 - $M \geq 7.0$; 6 - эпицентры глубокофокусных землетрясений; 7 - $M \geq 6.0$. Неотектонические структуры 2-го ранга (неотектонические регионы): А-Чаткало-Кураминский; Б- Приташкентский; В- Ферганский; Г- Талассо-Ферганский; Д- Южно-Тянь-Шаньский.

Следующий этап исследований посвящен анализу особенностей проявления землетрясений в масштабе выделенных разноранговых тектонических блоках. Анализ

показал, что в пределах Западно-Тянь-Шанской и Восточно-Тянь-Шанской микроплит эпицентры всех сильных землетрясений с $M \geq 7.0$ цепочками расположены вдоль активных разломов, граничащих литосферные микроплиты. Почти все сильные землетрясения региона с $M \geq 7.0$ произошли на границах, выделенных микроплит. Тенденция приуроченности очагов землетрясений к границам выделенных блоков еще нагляднее проявляется в распределении землетрясений с $M \geq 6.0$. Эпицентры землетрясений с $M \geq 6.0$ буквально окружают границы Восточно-Тянь-Шанской микроплиты. В отличие от этого в пределах Западно-Тянь-Шанской микроплиты эпицентры землетрясений с $M \geq 6.0$ распределены относительно равномерно. Это свидетельствует о том, что Западно-Тянь-Шанская микроплита более раздроблена, по сравнению с Восточно-Тянь-Шанским. Это подтверждается результатами распределения геодинамических блоков второго ранга. Характерным является тот факт, что в масштабе блоков второго ранга наблюдается приуроченность большинства очагов к зонам крупных разломов по простиранию разграничивающие несколько блоков третьего ранга. Особенно явно это прослеживается на границах зон соприкосновения блоков (Б) и (В) с блоком (Д). Менее выразительно наблюдается на границах между блоками (Б) и (А, В) (рис.2). Наблюдается возникновение ряда землетрясений в внутриблочном пространстве. Более выразительно это проявляется в блоках (Д) и (В).

Анализировано межэпицентральное расстояние землетрясений на границах выделенных микроплит и блоков 2-го ранга. Результаты анализа показали, что из 20 землетрясений с $M \geq 7.0$ в четырех случаях наблюдались повторная активизация одного и того же очага. Это районы Газлийских 1976 и 1984 г, Каратагских 1907 г и Улугчатского 1955 г. землетрясений. Установлено, что в четырех случаях расстояния между эпицентрами изменялись в пределах 120-150 км, в среднем 135 ± 5 км, в пяти случаях в пределах 220-280 км, в среднем 260 ± 5 км. Получается, что преимущественное расстояние межэпицентральных расстояний для землетрясений Центральной Азии с $M \geq 7.0$ равняется 260 ± 5 . Расстояние 135 ± 5 км. намного меньше, чем указано в работе [Уломов, 2007] для сильных землетрясений. В принципе, это расстояние соизмеримо с половиной межэпицентрального расстояния оцененного в [Уломов, 2007]. По всей видимости, межэпицентральное расстояние 260 ± 5 км отражает реальные размеры блоков земной коры 2-го ранга, которые ответственны для землетрясений с $M \geq 7.0$. А при возникновении землетрясений с межэпицентральным расстоянием 135 ± 5 км в определенной степени влияют блоки земной коры третьего ранга характерные размеры, которых соизмеримы с этим расстоянием.

В распределении землетрясений с $M \geq 6.0$ в Восточно-Тянь-Шанской микроплите из 28 землетрясений, возникших на границе плиты 11 произошли на расстоянии мене 20 км друг от друга и в пределах 7 очаговой зоны, 12 событий имели межэпицентральное расстояние 60 ± 10 км и 4 - 90 ± 10 км. Только лишь в одном случае межэпицентральное расстояние равнялось 140 км, т.е. удвоенное 60 ± 10 км.

Близкие значения получены и для Западно-Тянь-Шанской микроплиты. В зоне динамического влияния Южно-Ферганского и Южно-Тянь-Шанского разломов являющиеся границами между блоками второго ранга (Д) и (Б, В) и микроплитами (ЗТ-МПТ и К-МП, ПМП) за анализируемый период возникли 32 землетрясений с $M \geq 6.0$. Из них 13 произошли в пределах трех очаговых зон. Остальные эпицентры произошли на расстоянии 40-70 км (18 землетрясений), 80-130 км (8 землетрясений) и ≥ 140 км (4 землетрясения). Таким образом, установлено, что среднее межэпицентральные расстояния землетрясений с $M \geq 6.0$ на границах обеих микроплит и блоков земной коры второго ранга соответствуют между собой. На основании полученных результатов сделано предположение о том, что в проявлении сильных землетрясений (с $M \geq 6.0$) определяющую роль играют геодинамические блоки второго и третьего рангов. Блоки таких размеров способны накопить энергию способную генерировать землетрясения с энергетическим показателем не более $M=6.9$. Это подтверждается результатами наблюдаемой

сейсмичности территории с исторических времен по настоящее время.

Обращает внимание распределение количества землетрясений во времени происшедшие за период 2010-2018 г.г. На рис. 3 приведены графики распределения количества землетрясений с $M_{mb} \geq 2.8$ происшедшие в Центральной Азии в целом, коровых землетрясений, глубокофокусных Памиро-Гиндикушских землетрясений, и землетрясений Южно-Ферганской зоны разлома. Эти графики свидетельствуют о том, что в 2011 и 2016 годы произошло общее усиление сейсмичности региона и это отражалось в границах блоков первого и второго рангов. Эта активизация охватила и более глубокие части земной коры территории. Это свидетельствует о том, что силы, вызывающие общее усиление сейсмичности региона, имеют большие характерные размеры.

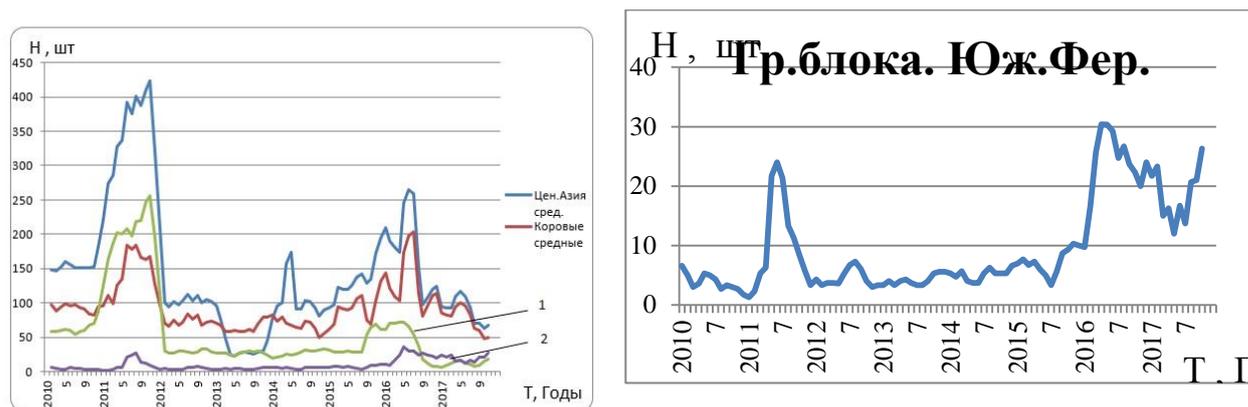


Рисунок 3. Графики распределения землетрясений с $M_{mb} \geq 2.8$ по количеству во времени.

1-глубокофокусные Памиро-Гиндикушские землетрясения; 2-землетрясения зоны Южно-Ферганского разлома.

Литература

1. Абдрахматов К.Е., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н., Уманова М.Т., и др. Сейсмологическая база данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов /Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Бишкек: ИС РАН, 2008. С.25-43.
2. Атабеков И.У., Нурматов У.А. Трудности идентификации миграции землетрясений в земной коре. Проблемы сейсмологии. 2022, №2. С.37-46.
3. Ибрагимов Р.Н. Сеймотектоника Ферганской впадины. Ташкент, Фан, 1970. 148 с.
4. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня. Ташкент: Фан, 1978. 144 с.
5. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А., Хусанбаев Д.Ж. Сейсмическое районирование Узбекистана (гл.1,5,6) // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент, Гидроингео, 2002. 132 с.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1974г. // Под. ред. Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина. М.: Наука, 1977. 536 с.
7. Нурматов У.А., Юсупджанова У.А. Особенности проявления землетрясений в Южно-Ферганской, Бесопано-Северо-Нуратинской и северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенных зонах. В сб. Актуальные проблемы современной сейсмологии. Ташкент. 2016. С. 433-440.
8. Нурматов У.А., Ибрагимов Р.Н. Результаты сеймотектонических исследований в Узбекистане. В сб. Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент, 2016. С.37-47.
9. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане // Под.ред. К.Н.Абдуллабекова. Ташкент: Гидроингео, 2002. 132 с.
10. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. М.: Недра, 1982. 271 с.
11. Сводные каталоги землетрясений на территории Узбекистана за 2010-2018 г. Комплексной экспедиции Института сейсмологии АН РУз и Республиканского Центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз (Фонды ИС АН РУз).
12. Трифонов В.Г., Востриков Г.А., Трифонов Р.В., Соболева О.В. Активные разломы Евразии: Геодинамический аспект /Тектонические и геодинамические феномены. М.: Наука, 1997. С.174-195.

13. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965-2005 гг. // Доклады Академии наук. Геофизика. 2007. Т. 414. №. С. 398–401.

14. Хаин В.Е. Глубинные разломы, основные признаки, принципы классификации и значение в развитие земной коры. Изв.выс.уч.заведений,сер. Геология и разведка, 1963, №3.

15. Якубов Д.Х., Ахмеджанов М.А., Борисов О.М. Региональные разломы Срединного и Южного Тянь-Шаня. Ташкент: Фан, 1966. 247 с.

16. Якубов Д.Х. Разломы Юго-Западной части Кураминского хребта. Ташкент: Фан, 1970. 184 с.

17. Ярмухамедов А.Р. Морфоструктура Среднего Тянь-Шаня и ее связь с сейсмичностью. Ташкент: Фан, 1988. 131 с.

Омуралиев М., Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ: ВРЕМЯ, СИЛА, МЕСТО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТУРЦИИ MW7.8, 06.02.2023 НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В работе приведены результаты ретроспективного прогнозного сейсмологического анализа имеющихся данных - каталога землетрясений с $m_b \geq 2.5$ USGS за 2012-2023 гг. в окрестностях землетрясения Турции ($M_w=7.8$, 06.02.2023 г.) на основании способа прогноза (Патент №1266. 30.06.2010 г., Патент №1369. 31.06.2011 г.) Института сейсмологии НАН КР и геодинамики иерархии литосферных плит и блоков установлены достоверные, прогностические параметры: место, время, силы данного крупного катастрофического землетрясения.

PROGNOSTIC PARAMETERS: TIME, STRENGTH, LOCATION OF THE MW7.8 TURKEY EARTHQUAKE 02/06/2023 BASED ON A RETROSPECTIVE SEISMOLOGICAL ANALYSIS

Abstract. Results of a retrospective predictive seismological analysis of the available seismic data are presented in the paper. We analyzed USGS catalog of $m_b \geq 2.5$ earthquakes in 2012-2023 in the vicinity of the Turkey earthquake ($M_w=7.8$, 02/06/2023) using method for predicting (Patent No.1266. 06/30/2010, Patent No.1369. 06/31/2011) of the Institute of Seismology, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic and geodynamics of the hierarchy of lithospheric plates and blocks. At the end reliable prognostic parameters have been established: place, time, strength of the large catastrophic earthquake.

Проявления сильных землетрясений на территории разных стран Мира, их масштабные последствия и многочисленные человеческие потери становятся доказательством того, что на современном этапе сейсмологии проблемы и задачи прогноза землетрясений ещё не решены.

Сейсмологический прогноз землетрясения Турции $M_w=7.8$, 06.02.2023 не был известен. Исходными данными наших исследований является каталог землетрясений USGS за 2012-2023 гг. в квадрате $\varphi=11-43^\circ$, $\lambda=11-63^\circ$ в пределах области Турецкого землетрясения на сочленении литосферных плит: Евроазиатской (на севере), Африканской, Аравийской, Индийской (на юге) и Анатолийской микроплиты.

Следует отметить, что в Институте сейсмологии НАН КР в 2011 г. разработан сейсмологический способ прогноза землетрясений [1, 2]. Данный способ включает следующие основные действия:

- осуществлять мониторинг последовательности землетрясений за сутки, месяцы, годы и составлять их графики, выделять поэтапно пики сейсмической активизации, период (фаза) спада сейсмической активизации, период (фаза) затишья, период (фаза) новой сейсмической активизации до наступления пика в каждом цикле от высших порядков до первого;

- измерять периоды повторения сейсмических циклов разного порядка;
- вычислить тренды каждого сейсмического цикла нелинейными полиномами с наибольшими достоверностями аппроксимации;
- вычислить кумулятивную сейсмическую энергию и составить графики накопления этой энергии, проводить нижние и верхние пределы флуктуации, линейные и нелинейные тренды накопления;
- составить карты–схемы распределения эпицентров землетрясений в пространстве и во времени, динамических сегментов отдельно взятого активного разлома и динамических секторов группы активных разломов;
- составить карты–схемы распределения гипоцентров землетрясений во времени и вертикальных цепочек (роев) гипоцентров перед крупным землетрясением.

Данный подход сейсмического прогноза землетрясений апробирован и уточнён на примере крупных семи землетрясений Тянь-Шаня с 2003 г.[3, 4]. Также апробирован и уточнён на примере ряда крупных землетрясений литосферных плит Земли (по данным USGS) [5 - 8]: Азии (например, землетрясение Непал $M=7,8$ 25.04.2015), Австралии, Северной Америки (например, Мексики $M=8.1$, 08.09.2017), Южной Америки (например, землетрясение Чили $M=8.3$, 16.09.2015).

Анализ распределения эпицентров землетрясений с $m_b \geq 2.5$ по данным USGS в квадрате $\varphi=11-43^\circ$, $\lambda=11-63^\circ$ за 2012-2023 гг. показал, что зоны этих землетрясений в областях сочленения Евразийской плиты с Африканской и Аравийской плитами - широкие, а в областях сочленения Аравийской плиты с плитами Африканской и Индийской – сравнительно узкие.

На распределении во времени эпицентров землетрясений с $m_b \geq 2.5$ и миграции ощутимых ($M_w \geq 6.5$) событий вдоль долготы $\lambda=11-63^\circ$ территории исследования за 2012-2023 гг. наблюдаются частые проявления событий в районах между долготами $\lambda=20-30^\circ$ и $\lambda=40-60^\circ$, редкие проявления в районах $\lambda=11-20^\circ$ и $\lambda=30-40^\circ$.

На графике последовательности проявления землетрясений с $m_b \geq 2.5$ по данным USGS в квадрате $\varphi=11-43^\circ$, $\lambda=11-63^\circ$ за 2012-2023 гг. выделяется иерархия сейсмических циклов (рисунок 1). Так, при землетрясениях с $m_b \geq 5.7$ отмечаются: пики сейсмической активизации, фаза спада сейсмической активизации, фаза затишья и фаза наступления сейсмической активизации третьего порядка. По пикам сейсмической активизации этого цикла проявления землетрясений с $m_b \geq 6.5$ выделяется график цикла второго порядка, а именно пики сейсмической активизации, фаза спада сейсмической активизации, фаза затишья и фазанаступления сейсмической активизации. Далее по пикам сейсмической активизации второго цикла проявления землетрясений с $m_b \geq 7.0$ отмечается график цикла первого порядка, а именно пики сейсмической активизации, фаза спада сейсмической активизации, фаза затишья и фазанаступления сейсмической активизации.

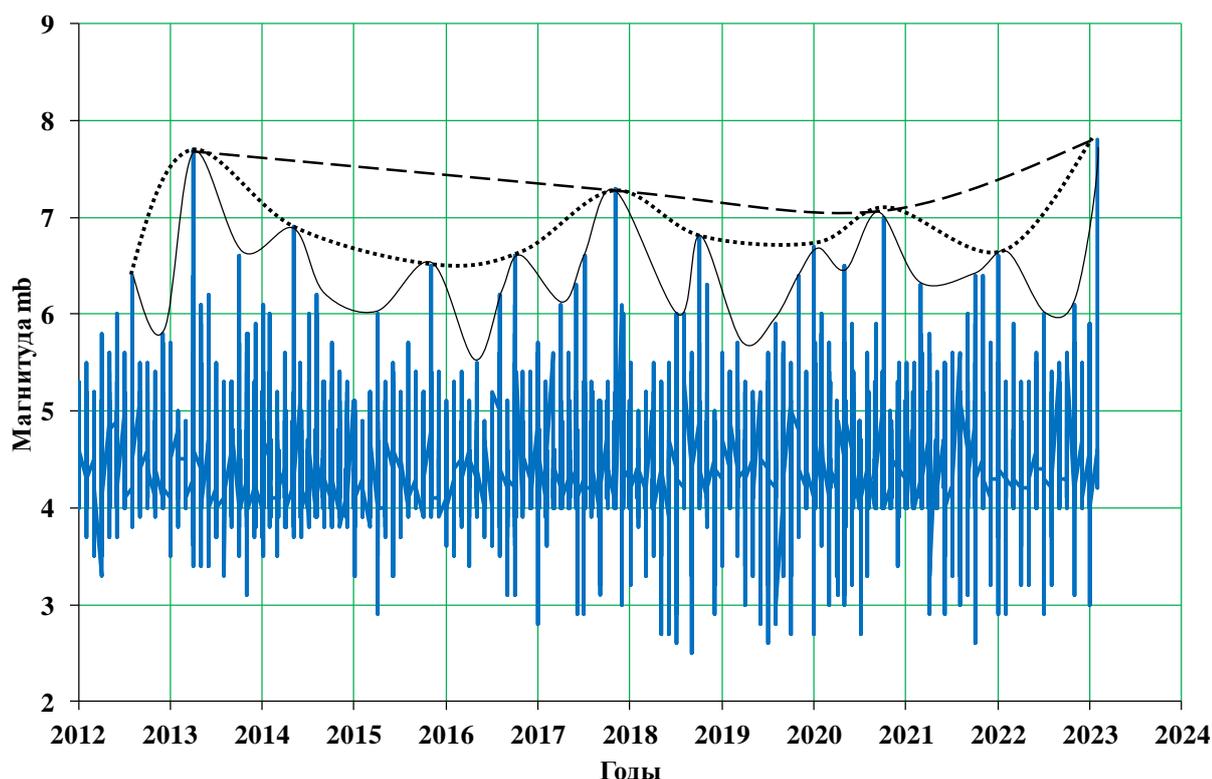


Рисунок 1. Иерархия сейсмических циклов, проявленных в последовательности появления землетрясений с $mb \geq 2.5$ по данным USGS в квадрате $\varphi=11-43^\circ$, $\lambda=11-63^\circ$ за 2012-2023 гг. Циклы третьего порядка обозначены сплошной линией, циклы второго порядка- точечной линией, циклы первого порядка- пунктирной линией.

На основании значений периодов повторения можно сказать, что время прогноза землетрясения на рассматриваемой территории по сейсмическим циклам третьего порядка составляет 0,75-1,50 год; по циклам второго порядка -2,3-4,6 год; по циклам первого порядка – порядка 9,8 год.

Вероятное время прогноза землетрясения по периодам повторения сейсмических циклов четвертого порядка за 11.01.2022 г.- 23.11.2022 г. составляет 64-142 суток.

Вероятное время прогноза землетрясения по периодам повторения сейсмических циклов пятого порядка за 23.11.2022 г.-25.01.2023 г. составляет 7,1-22,9 суток.

Миграция пиков циклов третьего порядка на территории исследования приведены на рисунке 2. После Иранского землетрясения $M_w=7.7$ ($\varphi=28,033^\circ$, $\lambda=61,996^\circ$) на сочленении Индийской и Евразийской плит пик цикла отмечался на северной части Эгейского моря ($\varphi=40.2893^\circ$, $\lambda=25,3889^\circ$) на сочленении Евразийской и Африканской плит. Соответственно, наблюдалась миграция в северо-западном направлении. После, пик цикла проявился на территории Греции ($\varphi=38.67^\circ$, $\lambda=20.6^\circ$), миграция направлена на юго-запад. Далее миграция направлена на северо-запад, пик проявился на территории Италии ($\varphi=42.8621^\circ$, $\lambda=13,0961^\circ$). Следующий пик проявился на территории Ирака ($\varphi=34.9109^\circ$, $\lambda=45,9592^\circ$) на сочленении Евразийской и Аравийской плит, т.е. миграция была направлена на юго-восток. После, пик наблюдался в Ионическом море ($\varphi=37.5203^\circ$, $\lambda=20,5565^\circ$) на сочленении Евразийской и Африканской плит, и миграция пика данного цикла направлена на северо-запад. Следующий пик отметился на сочленении Аравийской и Анатолийской плит на территории Турции (Малатия) и завершился своеобразный сейсмологический хроногеом-«вихрь», направленный по часовой стрелке с апреля 2013 г по январь 2020 г. 30.10.2020 г. произошёл очередной пик цикла третьего порядка в Эгейском море восточнее Афины ($\varphi=37.8973^\circ$, $\lambda=26,7838^\circ$), наблюдалась миграция в юго-западном направлении по против часовой стрелке. 01.11.2022 г. проявился пик западнее Кипра ($\varphi=35,2267^\circ$, $\lambda=31,9435^\circ$), и миграция была направлена на юго-восток. 06.02.2023

г. произошёл главный толчок сильного землетрясения с $M_w=7.8$ на сочленении Аравийской и Анатолийской плит, миграция была направлена на северо-восток, таким образом замкнулся сейсмический противочасовой хоногеом - “вихрь”.

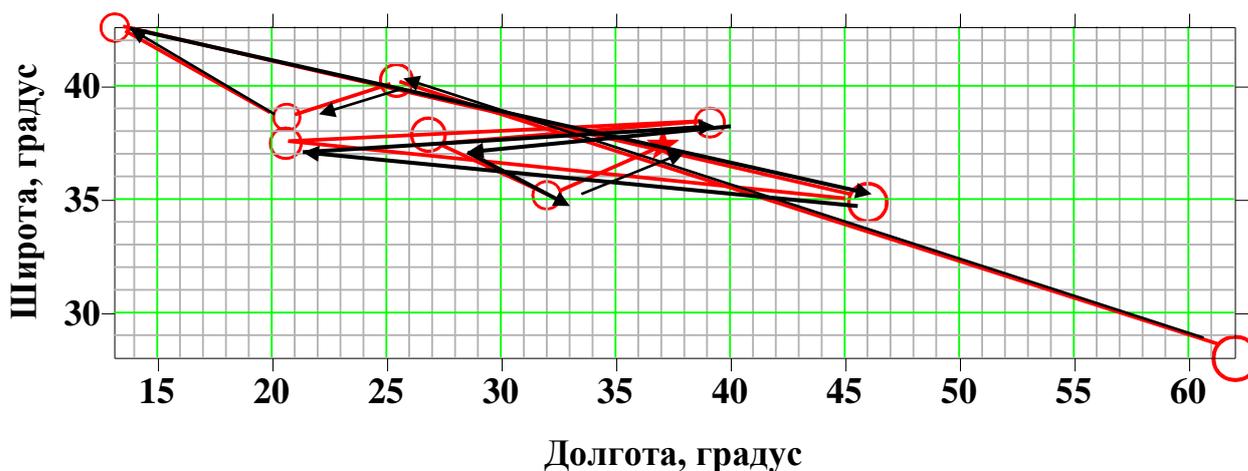


Рисунок 2. Миграция эпицентров пиков ($m_b \geq 6.5$) сейсмических циклов третьего порядка в квадрате $\varphi=11-43^\circ$, $\lambda=11-63^\circ$ за 2012-2023 гг. Землетрясения на пиках сейсмических циклов обозначены кружочками, звездочкой обозначен эпицентр землетрясения Турции с $M_w=7.8$ 06.02.2023, направления миграции – стрелками чёрного цвета.

Для прогноза вероятных энергии и времени ожидаемого сильного землетрясения важно слежение накопления кумулятивной сейсмической энергии. Амплитуда флуктуации кумулятивной сейсмической энергии исследуемой территории (порядка $1,9 \times 10^{24}$ эрг) означает нижний порог сейсмической энергии ожидаемого сильного землетрясения. Конечное положение полиномиального тренда шестой степени во времени указывает на время ожидаемого землетрясения - начало февраля 2023 г.

На последовательности проявления гипоцентров (по глубине) за 01.01.2013-16.04.2013 перед главным толчком землетрясения с $M_w=7.7$ (Иран) отмечена иерархия гипоцентральных циклов. Периоды повторения, например, цикла третьего порядка, составляет 15-38 суток, четвертого порядка 5-12 суток. Соответственно, прогнозное время данного землетрясения составляет порядка восьми суток. Конечное положение траектории последнего цикла третьего порядка принимает значение -80 км, которое является глубиной гипоцентра землетрясения с $M_w=7.7$.

На последовательности гипоцентров за 01.01.2017 - 12.11.2017 (по данным USGS) перед главным толчком землетрясения с $M_w=7.4$ 12.11.2017 г. (Ирак) отмечена иерархия циклов проявления гипоцентров, например, второго и третьего порядков. Период повторения циклов третьего порядка составляет 8-35 суток. Последний цикл третьего порядка с периодом $T=11$ суток завершился на отметке глубины 19 км.

На рисунке 3 приведена последовательность гипоцентров и циклы их появления за 01.01.2023 - 06.02.2023 перед землетрясением с $M_w=7.8$ 06.02.2023 г. Турции по данным USGS.

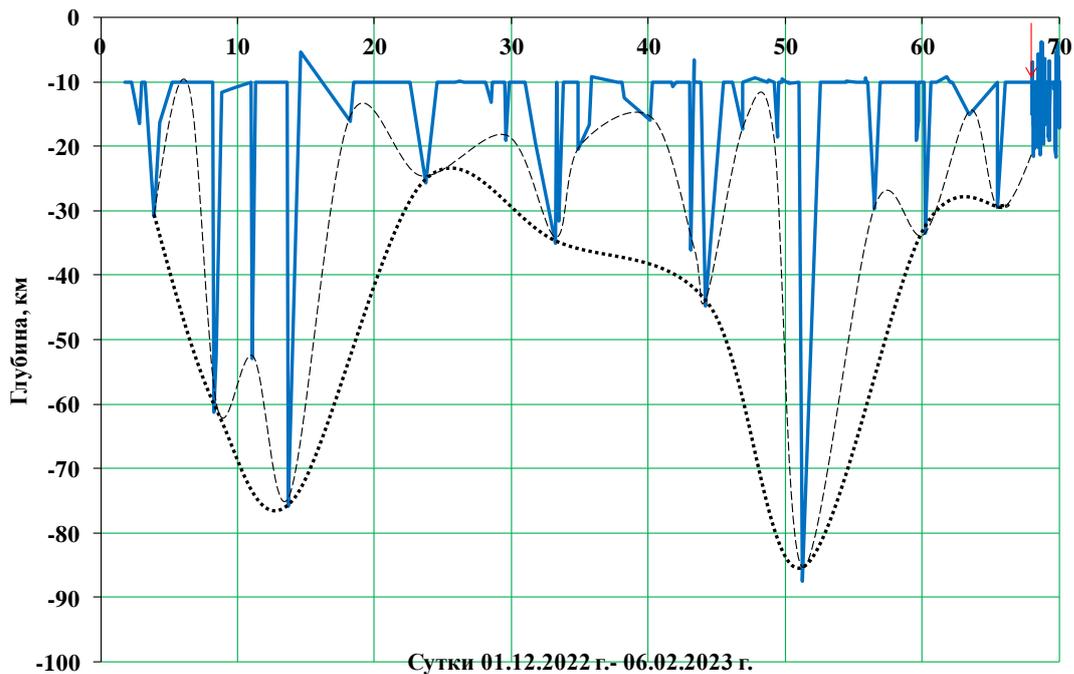


Рисунок 3. Последовательность гипоцентров и циклы их появления за 01.01. - 06.02.2023 г. перед землетрясением $M_w=7.8$ 06.02.2023 г. Турции по данным USGS. Пунктирной линией обозначен циклы третьего порядка, точечной линией - циклы второго порядка

Заключение. В результате ретроспективного прогнозного сейсмологического анализа имеющихся данных - каталога землетрясений с $m_b \geq 2.5$ USGS за 2012-2023 гг. в окрестностях землетрясения Турции ($M_w=7.8$, 06.02.2023 г.) на основании способа прогноза (Патент №1266. 30.06.2010 г. Патент №1369. 31.06.2011 г.) Института сейсмологии НАН КР и геодинамики иерархии литосферных плит и блоков установлены достоверные, самоутонченные прогностические параметры: место, время, силы данного крупного катастрофического землетрясения:

- центр миграции пиков сейсмических циклов третьего и второго порядков в зоне активного разлома является местом (эпицентром) ожидаемого землетрясения с магнитудой больше максимального пика;
- периоды повторения сейсмических циклов первого порядка $T_1=9,8$ лет; второго порядка $T_2=2,3-4,6$ лет; третьего порядка $T_3=0,9-1,5$ лет; четвертого порядка $T_4=64-122$ суток; пятого порядка $T_5=7-22$ суток, являются прогнозным временем ожидаемого землетрясения, которые последовательно уточняются на разных уровнях. Конечные значения магнитуд последних циклов, например, пятого, четвертого, третьего, второго порядков при средних значениях соответствующих периодов являются вариантами (набором) прогнозных магнитуд ожидаемого сильного землетрясения;
- интервалы времени между фазами активизации дифференцированных магнитуд $m_b=3.6-4.5$ $t=4-6$ суток, $m_b=4.6-5.5$ $t=5-10$ суток, $m_b=5.6-6.5$ $t=4-6$ суток являются прогнозным временем ожидаемого землетрясения;
- амплитуда флуктуации кумулятивной сейсмической энергии исследуемой территории (порядка $1,9 \times 10^{24}$ эрг) означает нижний порог сейсмической энергии ожидаемого сильного землетрясения. Конечное положение полиномиального тренда шестой степени во времени указывает на время ожидаемого землетрясения - начало февраля 2023 г.
- интервалы времени между фазами активизации проявления гипоцентров $T=4-6$ суток является прогнозным временем ожидаемого землетрясения. Конечное

положение последнего цикла третьего порядка проявления гипоцентров означает глубину ожидаемого землетрясения.

Литература

1. Омуралиев М., Омуралиева А., Землянский А.А. (KG) Способ определения места и силы крупного землетрясения за наступающий год и его кварталы, месяцы. Патент №1266. 30.06.2010 г.
 2. Омуралиев М., Омуралиева А. (KG) Способ определения силы и времени – суток среднего и крупного ожидаемого землетрясения системы сейсмогенерирующих зон. Патент №1369. 31.06.2011 г.
 3. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне-, краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов, Бишкек. ОСОО «ТРИАДА Принт», 2016.- 116 с.
 4. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности и сейсмическая опасность Тянь-Шаня – активного блока первого порядка литосферы. //Вестник Института сейсмологии НАН КР.-2017. - № 1(9). - С. 62-71.
 5. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность исторических землетрясений Земли в целом и периоды сейсмической активизации и затишья. //Наука и Новые Технологии.- 2012.-№3.-С. 90-96.
 6. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность проявления землетрясений, высвобождение сейсмической энергии Земли в целом и её регионах (Азии, США) и оценка сейсмической опасности. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2013. -№1, с. 85-92.
 7. Омуралиев М., Омуралиева А. Опыт слежения за динамикой сейсмичности всей Земли в целом и землетрясение Чили 16 сентября 2015 г. М=8.3. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№2(6), с.108-125.
- Омуралиев М., Омуралиева А. Динамика сейсмических процессов на сопряжении Тихоокеанской, Североамериканской, Южноамериканской, Карибской, Наска, Кокос плит литосферы и землетрясение Мексики 8 сентября 2017 г. //Вестник Института сейсмологии НАН КР 2018. -№1(11), с.87-100.

Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР

ЛОКАЛЬНАЯ СКОРОСТНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. В работе приведены результаты построения трёхмерной модели локальной скоростной неоднородности Центрального Тянь-Шаня, состоящего из иерархии тектонических блоков, активных поднятий и разломов.

LOCAL VELOCITY HETEROGENEITY OF THE CENTRAL TIEN SHAN

Abstract. Results of constructing a three-dimensional model of the local velocity heterogeneity of the Central Tien Shan are given in the paper. Study area itself consists of a hierarchy of tectonic blocks, active uplifts and faults.

Центральный Тянь-Шань состоит из иерархии активных блоков, поднятий и разломов, с юга сочленяется Таримской плитой, с севера-Казахстанским шитом. В этих сочленениях проявляются сильные землетрясения с интенсивностью 10-12 баллов. Изучение скоростной неоднородности данной геодинамической системы является важной проблемой сейсмологии. Скоростная неоднородность Тянь-Шаня исследовалась сейсмотомографическим методом [1 - 9], сейсмическим профилированием [10] и на основе

распределения в пространстве и во времени скоростей сейсмических волн V_p и V_s непосредственно очагов землетрясений [6, 7]. При составлении трёхмерной томографической региональной модели скоростной неоднородности исходными данными были время вступления продольных (P) и поперечных (S) волн региональных и удалённых (телесеismic) землетрясений по записям аналоговых и цифровых станций на эпицентральных расстояниях 0-600 км в период с 1958 г. [5]. Сейсмическое профилирование (под названием MANAS) было основано на многоволновых сейсмических наблюдениях с использованием взрывных источников по системе многократных перекрытий МОВ-ОГТ (метод отражённых волн - общей глубинной точки) [10]. При построении трёхмерной модели локальной скоростной неоднородности исходными данными являются скорости V_p и V_s сейсмических P и S волн и глубины очагов, определённые по индивидуальным годографам на эпицентральных расстояниях 0-200 км и динамика локальных скоростных неоднородностей во времени и пространстве.

Исходные данные и методика исследования. Исходными данными наших исследований являются бюллетени ежедневных землетрясений с $K > 3$ в квадрате $\varphi = 39-44^\circ$, $\lambda = 74-80^\circ$ по записям сети цифровых станций (в количестве 41) Кыргызстана, Казахстана, Китая, Узбекистана, составленные Центром обработки данных Института сейсмологии НАН КР. Параметры продольной волны изучались по записи Z – вертикальной компоненты (канала), а параметры поперечной волны – по записи одной из компонент с наилучшим соотношением «сигнал/шум». Оценивались значения t_{ms} – среднее квадратическое отклонение времён пробега наблюдаемых и вычисленных (погрешность), se – стандартное отклонение от времени вступления, d – класс точности определения эпицентра, she – 68%-ный доверительный интервал в определении положения эпицентра, глубина события, определяемая по заложенным скоростным моделям (depth) и по методике, заложенной в программе Hypoellipse [11] (hz), sez – 68%-ный доверительный интервал в определении глубины.

В качестве примера рассмотрим локальные скоростные V_p , V_s , V_p/V_s неоднородности Центрального Тянь-Шаня за 2020 г. на глубинах 5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 25-30 км, определённые на основании годографов 5614 землетрясений.

На рисунках 1,2,3 приведены локальные скоростные неоднородности по значениям V_p , V_s , V_p/V_s сейсмических волн очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на глубинах 5-10 км.

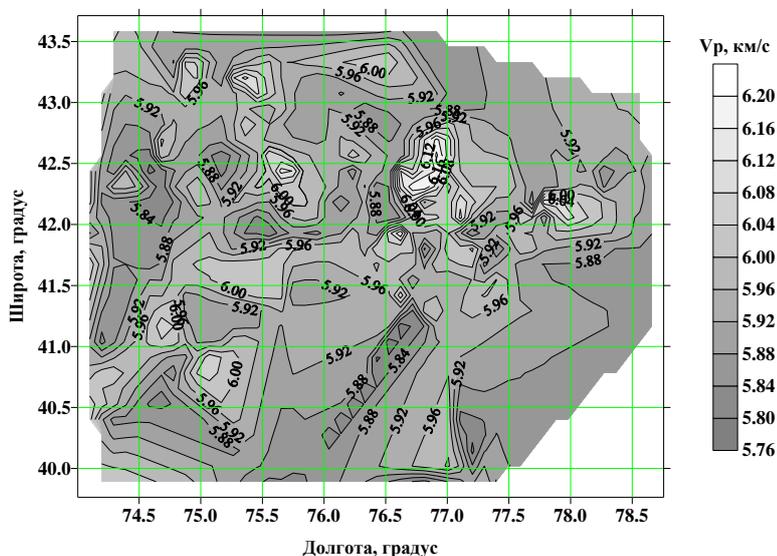


Рисунок 1. Карта - схема локальных скоростных неоднородностей по продольным сейсмическим волнам V_p (км/с) очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на глубинах 5-10 км за 2020 г.

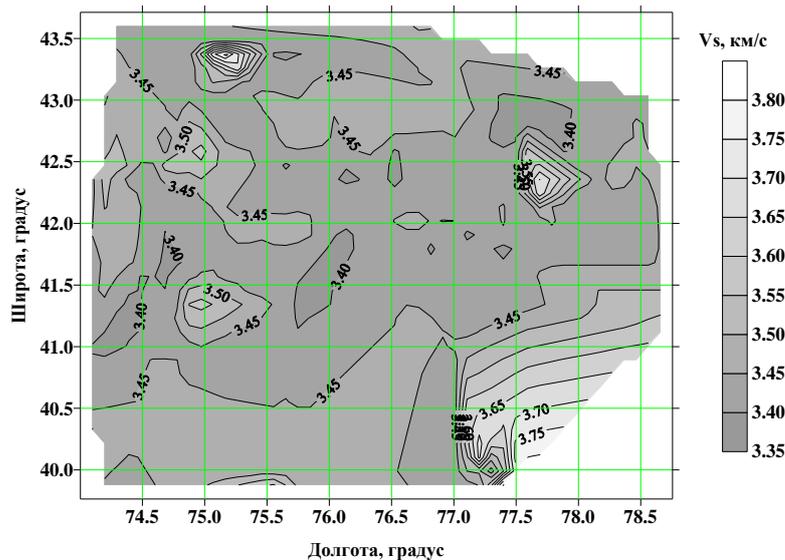


Рисунок 2. Карта-схема локальных скоростных неоднородностей по поперечным сейсмическим волнам V_s (км/с) очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на глубинах 5-10 км за 2020 г.

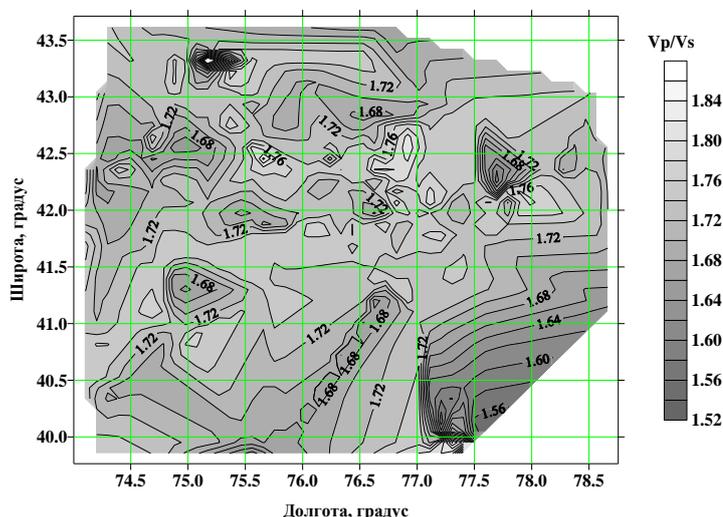


Рисунок 3. Карта-схема локальных скоростных неоднородностей в реальное физическое время по отношению продольных и поперечных сейсмических волн V_p/V_s очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на глубинах 5-10 км за 2020 г.

На этих интервалах глубин выделяются относительно высокоскоростные и низкоскоростные локальные неоднородности, расположенные на расстоянии 50-100 км. Распределение их имеет мозаичный характер. В таблице 1 приведены значения V_p высокоскоростных и низкоскоростных локальных неоднородностей на разных глубинах зон северного и южного сочленения Тянь-Шаня Казахским щитом и Таримской плитой, соответственно.

Таблица 1. Скорости продольных волн V_p (км/с) высокоскоростных и низкоскоростных локальных неоднородностей на разных глубинах зон северного и южного сочленения Тянь-Шаня Казахским щитом и Таримской плитой

Глубина, км	Зона северного сочленения		Зона южного сочленения	
	Высоко-скоростная	Низко-скоростная	Высоко-скоростная	Низко-скоростная
5-10	6.0	5.8	5.9	5.8
10-15	6.3	6.0	6.3	6.1
15-20	6.3	6.25	6.3	6.2

В таблице	20-25	6.5	6.45	6.45	6.40
	25-30	6.7	6.65	6.75	6.65
	30-35	7.5	7.0	7.5	7.0

2 приведены значения V_s высокоскоростных и низкоскоростных локальных неоднородностей на разных глубинах зон северного и южного сочленения Тянь-Шаня Казахским щитом и Таримской плитой, соответственно.

Таблица 2. Скорости поперечных волн V_s (км/с) высокоскоростных и низкоскоростных неоднородностей на разных глубинах зон северного и южного сочленения Тянь-Шаня Казахским щитом и Таримской плитой

Глубина, км	Зона северного сочленения		Зона южного сочленения	
	Высоко-скоростная	Низко-скоростная	Высоко-скоростная	Низко-скоростная
5-10	3.45	3.40	3.75	3.45
10-15	3.52	3.48	3.56	3.52
15-20	3.65	3.60	3.65	3.60
20-25	3.75	3.70	3.75	3.69
25-30	3.87	3.84	3.87	3.84
30-35	4.5	4.0	4.5	4.0

Заключение. Построена трёхмерная модель локальной скоростной неоднородности Центрального Тянь-Шаня, состоящий из иерархии тектонических блоков, активных поднятий и разломов.

1. Методология построения модели локальной скоростной неоднородности в реальное физическое время обоснована на составлении годографов сейсмических волн в последовательности очагов землетрясений, которые происходят ежегодно в среднем 9500.

2. По данной методике можно осуществить мониторинг локальных скоростных неоднородностей в пространстве и во времени.

Литература

1. Roecker S. W., T. M. Sabitova, L. P. Vinnik, Y. A. Burmakov, M. I. Golvanov, R. Mamatkanova, L. Munirova Three-dimensional elastic wave velocity structure of the western and central Tien Shan // *J.Geophys.Res.* – 1993. - V.92. –P. 10547-10570.
2. Сабитова Т.М., Адамова А.А. Сейсмотомографические исследования земной коры Тянь-Шаня (результаты, проблемы, перспективы) // *Геология и геофизика.* – 2001.-т.42, №10.– С.1543-1553.
3. Адамова А.А., Сабитова Т.М. Трёхмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня // *Физика Земли.* – 2004. -№5. –С. 58-67.
4. Ghose S., M. W. Hamburger, J. Virieux Three-dimensional velocity structure and earthquake locations beneath the northern Tien Shan of Kyrgyzstan, central Asia // *J.Geophys.Res.* – 1998. - V.103. – P. 2725-2748.
5. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью /Отв.ред. А. Б. Бакиров. – Бишкек:Илим, 2006. -116 с.
6. Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building. // *Tectonophysics*, 2009, v. 465, p. 30-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.010>
7. Omuralieva A., A. Hasegawa, T. Matsuzawa, J. Nakajima, T. Okada. Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis. // *Tectonophysics*, 2012, v. 518-521, p. 93-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.11.013>
8. Шацкилов В.И., Сайипбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // *Докл. НАН РК.* –1994.-№6.–С.47-52.
9. Сайипбекова А.М. Скоростная модель верхней мантии в сб. Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня М.: Наука, 1991, 23-29с.
10. Щелочков Г.Г., Брагин В.Д., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Павленкин А.Д., Рослов Ю.В., Ефимова Н.Н., Дергунов Н.Т., Беляев И.В., Мунирова Л.М., Макаров В.И., Леонов М.Г., Алексеев Д.В., Knapp J.H., Roecker S.W. Трансект “MANAS”: первые результаты обработки и

интерпретации данных сейсмических зондирований Центрального Тянь-Шаня //Сборник материалов IV Международного Симпозиума “Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. 15-20 июня 2008 года” –Москва-Бишкек. –2009. - С. 59-67.

11.Lahr, J.C., 1999, revised 2012, HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern: U.S. Geological Survey Open-File Report 99-23, version 1.1, 119 p. and software, available at <http://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/>.

Полешко Н.Н., Бектурганова Б. Б., Мырзагазиева Г.М.
ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК
пр.Аль-Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан
E-mail: bayan_0106@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. Для территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона получены решения механизмов очагов для землетрясений с энергетическим классом $K \geq 6$, что позволяет наличие здесь плотной сети станций ТОО «СОМЭ», а для Зайсанского и Джамбуло-Чимкентского регионов механизмы очагов определены для землетрясений с $K \geq 8$. Всего в 2019г. на указанных территориях механизмы очагов определены для 745 землетрясений, 87% приходится на землетрясения с $K=5-8$. Анализ рассчитанных параметров сейсмотектонической деформации показал, что в 2019г. режимы деформирования земной коры, представленные субширотным растяжением вдоль основных рельефообразующих структур, в которых реализуются сбросы, и сжатием в крест их простирания, в которых реализуются взбросы, были равнозначны.

Abstract. For the territory of the Dzungar-North Tien Shan region, solutions of focal mechanisms for earthquakes with an energy class of $K \geq 6$ were obtained, which allows the presence of a dense network of SOME LLP stations here, and for the Zaisan and Dzhambulo-Shymkent regions, focal mechanisms are determined for earthquakes with $K \geq 8$. Total in 2019 Focal mechanisms in these territories were determined for 745 earthquakes, 87% are earthquakes with $K=5-8$. An analysis of the calculated parameters of seismotectonic deformation showed that in 2019. The regimes of deformation of the Earth's crust, represented by sublatitudinal extension along the main relief-forming structures, in which normal faults are realized, and compression into a cross of their strike, in which reverse faults are realized, were equivalent.

Определение механизмов очагов землетрясений (МОЗ) проводилось на основе моделирования очага в рамках теории дислокаций по стандартной методике А.В. Введенской [1], с помощью которой нодальные плоскости и векторы первых движений определяются в стереографической проекции сферы единичного радиуса. Силовым источником в модели является двойной диполь без момента. По сейсмическим данным устанавливаются два равновероятных положения плоскости разрыва, направление подвижки и ориентация в пространстве главных осей напряжений. Реальная точность определения параметров составляет $\pm 20^\circ$. Достоверность определения параметров очагов землетрясений в используемой методике зависит от плотности расположения сейсмических станций. Территория Казахстана и его сейсмоактивные зоны окружены как местными, так и сейсмическими станциями Кыргызстана и Китая, данные которых используются при определении МОЗ, что позволяет получить достаточное надежные решения механизмов очагов для сейсмоактивных регионов.

В пределах Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона решения механизмов получены для землетрясений, начиная с энергетического класса $K=6$, что обусловлено наличием здесь плотной сети станций. Для очагов землетрясений Зайсанского и

Джамбуло-Чимкентского регионов механизмы очагов определены для землетрясений с $K \geq 8$ [2]. Всего в 2019 г. механизмы очагов землетрясений (МОЗ) определены для 745 сейсмических событий. Информация о количестве МОЗ с разными энергетическими классами приведена в Таблице 1. Видно, что на долю относительно слабых землетрясений в энергетическом диапазоне $K_p=5-8$ приходится 87% событий всего каталога МОЗ.

Таблица 1 - Распределение землетрясений с определенными механизмами очагов по энергетическим классам для 2019 г

K	5	6	7	8	9	10	11	12
N	3	211	282	150	70	19	7	3

На рисунках 1-3 приведены карты механизмов очагов землетрясений в 2019 г. для взбросового, сбросового и сдвигового типов, соответственно.

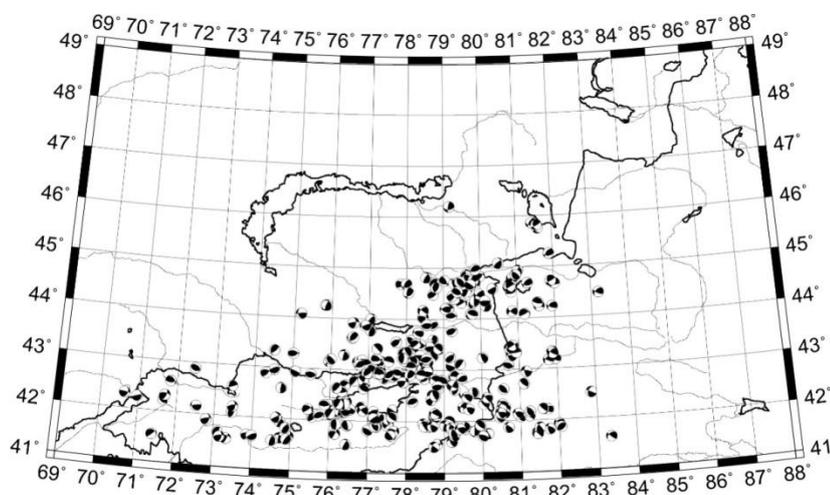


Рисунок 1 – Карта механизмов очагов землетрясений взбросового типа на изучаемой территории в 2019 г. (N=341)

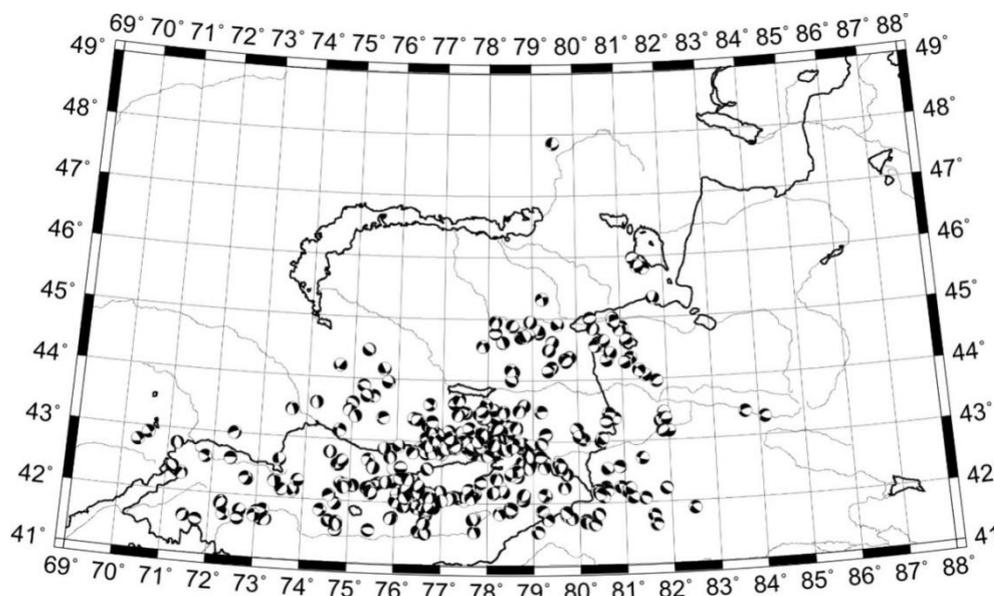


Рисунок 2 – Карта механизмов очагов землетрясений сбросового типа на изучаемой территории в 2019 г. (N=388)

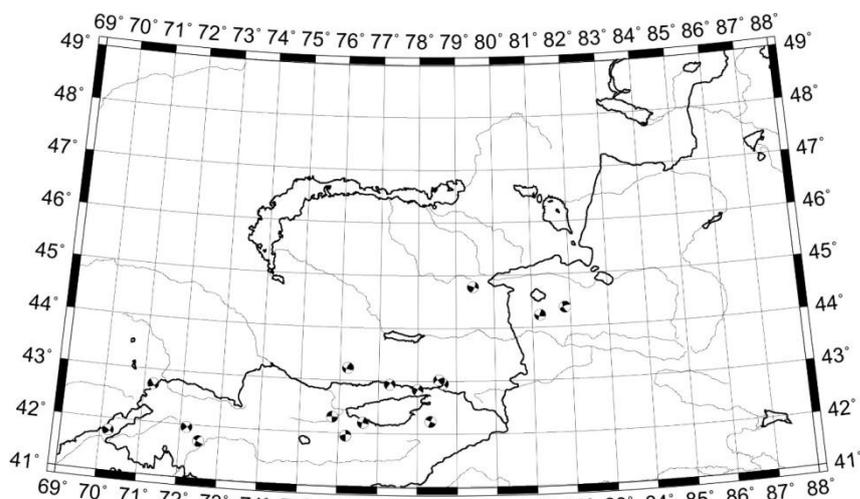


Рисунок 3 – Карта механизмов очагов землетрясений сдвигового типа на изучаемой территории в 2019 г. (N=16)

Анализ пространственного распределения типов механизмов очагов показал, что очаги взбросов и сбросов мозаично перемежаются по всей территории. Исключение представляет зона превалирования сбросов, которая сформировалась в пределах Северного Тянь-Шаня между Тургенским разломом и разломом западнее Алматы.

В таблице 2 представлены основные параметры фокальных механизмов, а на рисунке 4 приведены стереограммы механизмов очагов для двух землетрясений 2019 г. с $K \geq 11,5$, произошедших в пределах Казахстана, а на рисунке 4 приведены стереограммы механизмов очагов. Эпицентр землетрясения 17.08.2019 расположен в Илийской впадине юго-восточнее Конуроленского разлома северо-восточного простирания. В очаге землетрясения реализовался взбросо-сдвиг по обеим нодальным плоскостям. Первая плоскость имеет близмеридиональное простирание и падает на восток, вторая плоскость юго-западного простирания круто падает на северо-запад. Ось напряжения сжатия близгоризонтальна и имеет юго-восточное простирание, ось растяжения близмеридиональна, угол погружения 54° .

Таблица 2 - Параметры землетрясений с $K \geq 11,5$

№	Дата, д. м.	t_0 , ч мин с	координаты				h , км	K	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
									P		T		N		NP1			NP2		
			широта	долгота	AZM	PL			AZM	PL	AZM	PL	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP		
1	17.08.2019	230746	44° 06'	79° 44'	20	11.7	137	20	16	54	238	28	9	35	35	249	71	121		
2	8.10.2019	214921	43° 01'	78° 33'	10	11.6	12	4	280	23	111	67	239	71	14	144	77	162		

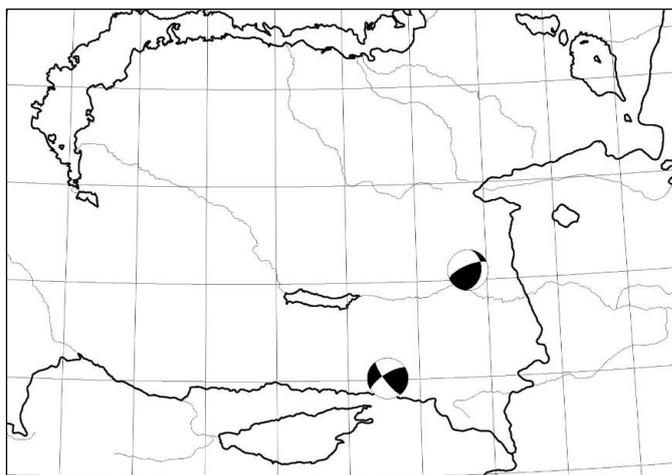


Рисунок 4 - Стереогаммы механизмов очагов землетрясений с $K \geq 11,5$

Землетрясение 8.10.2019 - наиболее сильное с магнитудой $m_b=5.4$ произошло в северных отрогах Кунгей Алатау. Решение механизма очага получено с использованием 23 знаков первых вступлений Р- и S-волн, записанных сейсмическими станциями сетей СОМЭ РК и ИГИ НЯЦ РК. Распределение знаков позволило получить решение, в котором согласованность знаков составила 100%. По результатам решения механизма очага землетрясение реализовалось под действием системы напряжений, характеризуемой горизонтальным сжатием в меридиональном направлении при субширотном растяжении. Тип механизма характеризуется сдвигом, с незначительной взбросовой составляющей по обеим равновероятным плоскостям разрыва. Одна из плоскостей имеет юго-западное простирание (239°) и круто падает (71°) в северо-западном направлении. Другая плоскость юго-восточного простирания (144°) круто падает на юго-запад. Ориентация разрыва в очаге находит соответствие с ориентацией Северо-Кунгейского сброса, к которому приурочен эпицентр землетрясения, тогда как взбросо-сдвиговый тип подвижки в очаге не согласуется с кинематическим типом Северо-Кунгейского сброса, из чего следует отсутствие унаследованности движения в очаге землетрясения неотектоническим движениям по разлому [3]. Отметим, что полученное решение механизма очага землетрясения 8.10.2019 подобно механизму очага сильнейшего в этой зоне Жаланаш-Тюпского землетрясения в 1978 г.

Полученные результаты исследования показывают, что в 2019 г. в целом в исследуемом регионе режимы деформирования земной коры представленные субширотным растяжением вдоль основных рельефообразующих структур, в которых реализуются сбросы, и сжатием в крест их простирания, в которых реализуются взбросы, равнозначны.

Литература

1. Введенская А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций // А.В. Введенская. – М.: Наука, 1969. – С. 47-66.
2. Полешко Н.Н. Механизмы очагов землетрясений и сеймотектоническая деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: дис...канд. г.м. наук: 25.00.10: защищена 24.04.2009; утв. 07.10.2009 / Полешко Наталья Николаевна. – Алматы, 2009. – 135 с.
3. Masaki N. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2002. – 130 – P. 17-29.

Семенов А.Е.^{1,2}, **Семенов М.Е.**², **Надёжка Л.И.**^{1,2}, **Ефременко М.А.**²,
Пивоваров С.П.², **Золототрубова Э.И.**¹, **Иванков О.Е.**²
¹ФГБОУ ВО ВГУ, г. Воронеж, Россия;
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕКМЕНТА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)

Аннотация: Дана краткая характеристика современной сейсмической активности и короткозамедленных промышленных взрывов, происходящих на территории центрального сегмента Восточно-Европейской платформы – Воронежского кристаллического массива. На экспериментальном примере показано, что промышленные взрывы могут возбуждать природно-техногенные землетрясения. Отмечается, что такие землетрясения происходят в тех условиях, когда геологическая среда подготовлена, т. е. находится в напряженном состоянии. Сделан вывод, что с большой долей вероятности некоторые зарегистрированные землетрясения являются природно-техногенными, т. е. в регионе наряду с природной сейсмичностью наблюдается и наведенная.

Abstract: A brief description of the current seismic activity and short-delayed industrial explosions occurring on the territory of the central segment of the East European Platform - the Voronezh crystal massif is given. An experimental example shows that industrial explosions can excite natural and man-made earthquakes. It is noted that such earthquakes occur in those conditions when the geological environment is prepared, i.e. it is in a tense state. It is concluded that, with a high degree of probability, some registered earthquakes are naturally man-made, i.e. in the region, along with natural seismicity, induced one is also observed.

Введение. Значительная часть центрального сегмента Восточно-Европейской платформы занимает территория Воронежского кристаллического массива, являющегося основанием одноименной антеклизы. В геологическом отношении ВКМ – это структура с двухярусным строением. Верхний ярус – осадочный чехол – неоднородный как по времени формирования, так и по структуре и вещественному составу слагающих его пород [1, 2]. Нижний структурный ярус представлен супракрустальными и магматическими породами архейского и протерозойского возраста. По современным представлениям в эрозионном срезе докембрия Воронежского кристаллического массива выделяются два мегаблока: Курский (мегаблок КМА) и Хоперский мегаблок. Разделяет их Лосевская шовная зона [3, 4]. Каждая из этих структур имеет разное геологическое строение от поверхности эрозионного среза до верхов мантии.

Курский мегаблок или мегаблок КМА представлен раннеархейскими образованиями, гранито(мигматито)-гнейсами, обоянского комплекса (AR_{1ob}) и его породными ассоциациями: брянской (AR_{1ob}^b) и росошанской (AR_{1ob}^r). Курский мегаблок характеризуется развитием наиболее древних купольных и купольно-кольцевых структур обоянского комплекса, широким развитием верхнеархейских образований михайловской серии (AR_{2mh}) зеленокаменных поясов и протяженных, линейно вытянутых в северо-западном направлении раннекарельских рифтогенных структур сложенных породами курской и оскольской серий нижнего протерозоя.

Хопёрский мегаблок, в отличие от КМА, представлен более молодыми породами региона, песчаниково-сланцевыми образованиями воронцовской серии нижнего протерозоя (PR_{1vc}), на фоне которых мозаично выделяются локальные интрузивные образования. На участках глубокого метаморфизма породы серии превращены в гнейсы.

Разделяющая мегаблоки Лосевская шовная зона представлена породами архейско-протерозойского возраста ($AR_{1-2}:PR_1$): - южная часть, в основном, сложена обоянским комплексом донской ассоциации (AR_{1ob}^d) с площадным развитием павловских полигенно-метасоматических гранитоидов (PR_{1p}), - северная базит-риолитовыми породами лосевской серии ($AR_2:PR_{1s}$) с крупными интрузиями усманских гранитов (PR_{1u}).

Кристаллическая кора этих структур, как по вещественному составу, так и по физическим свойствам латерально неоднородна и вертикально расслоена [4]. Неоднородность строения является источником дополнительных напряжений, разрядка

которых может приводить к землетрясениям.

Территория Воронежского кристаллического массива не является сейсмически пассивной как по историческим данным [5-7], так и по инструментальным наблюдениям за последние 25 лет. В работах [8-9] дана характеристика сети, методики и техники производства наблюдений и результаты экспериментальных наблюдений. За 25 лет наблюдений на территории ВКМ зарегистрировано более 600 землетрясений, магнитуды которых от 0.5 до 3.8 [9-12]. Показано, что существует связь между строением литосферы и распределением эпицентров зарегистрированных землетрясений [10-12].

Вместе с тем, на территории ВКМ развита мощная горнодобывающая промышленность. Функционирует более 20 карьеров, в 5 из них добываются полезные ископаемые в кристаллических породах. При этом производятся промышленные взрывы суммарной мощностью которых колеблется от 300 до 2500 тонн взрывчатого вещества (ВВ) [13]. Возбуждаемая сейсмическая энергия при одном крупном промышленном взрыве может достигать $10^9 - 10^{10}$ Дж. Ежегодно производится от 300 до 500 промышленных взрывов, из них в крупных карьерах – от 120 до 150 [13, 14]. Такая техногенная нагрузка на литосферу в условиях повышенной мобильности литосферы может стать причиной наведенной сейсмичности.

Проблема наведенной сейсмичности не нова. Ей посвящено большое количество работ. Такие факторы как добыча углеводородов, закачка жидкости, добыча твердых полезных ископаемых, ядерные взрывы, являются причиной наведенной сейсмичности [15]. Особенно активно развивается проблема наведенной сейсмичности, обусловленная ядерными взрывами [15-17].

Этому же вопросу посвящены работы Соколовой И.Н. с соавторами [18-19] в которых рассматривается проблема наведенной сейсмичности территории Казахстана. На основе экспериментальных данных авторы делают вывод о том, что спустя 30 лет все еще ощущается влияние подземных ядерных взрывов на сейсмичность территории Казахстана, т.е. регистрируются наведенные взрывом землетрясения.

Несмотря на то, что исследованию наведенной сейсмичности уделяется большое внимание, проблема эта далека от решения.

Следует отметить, что особую остроту проблема наведенной сейсмичности приобретает для территории Восточно-Европейской платформы, техногенно нагруженной, изобилующей объектами повышенной экологической ответственности и характеризующейся высокой плотностью населения.

Исходные данные и методика исследований. Известно, что почти четверть землетрясений произошедших на территории Восточно-Европейской платформе в доинструментальный период, произошли на территории Воронежского кристаллического массива [15-18]. Инструментальные наблюдения в регионе начались в декабре 1996 года с организации сейсмической станции «Воронеж». В настоящее время в регионе функционирует сеть, состоящая из 12 сейсмических станций. Сейсмические станции установлены в местах с невысоким уровнем сейсмического шума и минимальной антропогенной нагрузкой. Что позволяет регистрировать сейсмические события, начиная с магнитуды 1.0 и выше на территории ВКМ и сопредельных регионов [9]. В радиусе 20 км от каждой станции регистрируются сейсмические события с магнитудой 0.5 и ниже [9]. Как отмечалось выше за период наблюдений зарегистрировано более 600 землетрясений и более 9000 промышленных взрывов [8, 10-12].

На рис. 6 показано пространственное положение эпицентров землетрясений, магнитуда которых больше или равна 1.50, зарегистрированных с 2000 по 2018 гг.

Анализ положения эпицентров землетрясений показал, что наблюдается два типа проявления современной сейсмической активности. К первому типу относятся те землетрясения, эпицентры которых приурочены к тектоническим нарушениям. Второй тип проявления сейсмической активности - «рассеянная» сейсмичность. Это те землетрясения, эпицентры которых не тяготеют непосредственно к тектоническим

нарушениям (рис. 1). Детальный анализ распределения эпицентров этого типа землетрясений показал, что они, в основном, приурочены к интрузиям основного и кислого составов [39.40].

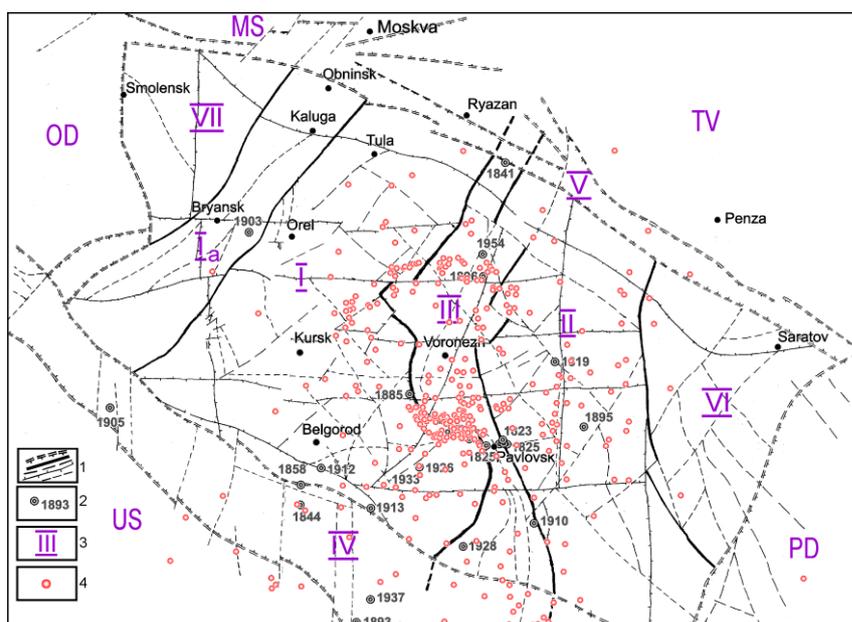


Рисунок 1. Схема пространственного положения эпицентров землетрясений, произошедших в 2000-2018 гг

- 1- тектонические нарушения различного ранга; 2 – эпицентры исторических землетрясений [15];
- 3 – основные тектонические структуры территории (см условные обозначения рис. 1);
- 4 – эпицентры инструментальных землетрясений с магнитудой большей или равной 1.5

В условиях повышенной мобильности геологической среды, как отмечалось выше, функционирует 20 промышленных карьеров, в которых добываются полезные ископаемые с помощью взрывных технологий. В трех из них добывается железная руда в кристаллических породах. Это крупнейшие карьеры на Европейской части России [13-14]. В большинстве карьеров добываются полезные ископаемые в осадочном чехле. В этом случае возникающие при взрывах сейсмические события в основном 5 энергетического класса [14].

Обсуждение результатов. Анализ временной динамики землетрясений и промышленных взрывов за последние 10 лет показал, что после крупных промышленных взрывов наблюдается, в целом, увеличение количества землетрясений. Это хорошо видно на обобщенной диаграмме (рис. 2).

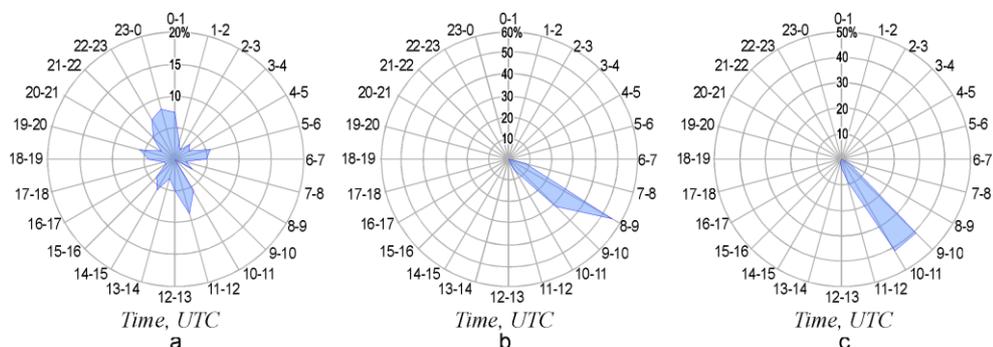


Рисунок 2. Диаграммы распределения количества зарегистрированных землетрясений (а) и взрывов в крупных карьерах (б – 2000-2014, в – 2015-2021) по времени суток (время UTC)

Сопоставление диаграмм показывает, что промышленные взрывы в течение длительного времени происходят в одно и то же время с 8 часов до 9 часов до 2014 года и с 9 часов до 11 часов после 2015 года и по настоящее время. Фактически, после 11 часов взрывы в крупных карьерах не производятся. Судя по диаграмме временного распределения землетрясений, во время производства взрывов в карьерах происходят только единичные землетрясения. Увеличение количества землетрясений происходит после 11 часов. Возможно, некоторые землетрясения были спровоцированы промышленными взрывами.

Обобщенные диаграммы демонстрируют лишь факт, что некоторые землетрясения могли быть спровоцированы мощными взрывами в карьерах. С целью получения фактической информации о возможном влиянии конкретного взрыва на возникновение землетрясений, т. е. о наличии наведенной сейсмичности был проведен эксперимент.

Наблюдения выполнялись 6 сейсмическими станциями, расположенными на расстоянии 50-70 км от источника (карьера, в котором добывается щебень) в разных азимутах и в разных структурах (рис. 3) Кроме того система дополнялась 2 станциями, расположенными 10 и 12 км. Наблюдения выполнялись в течении 14 суток.

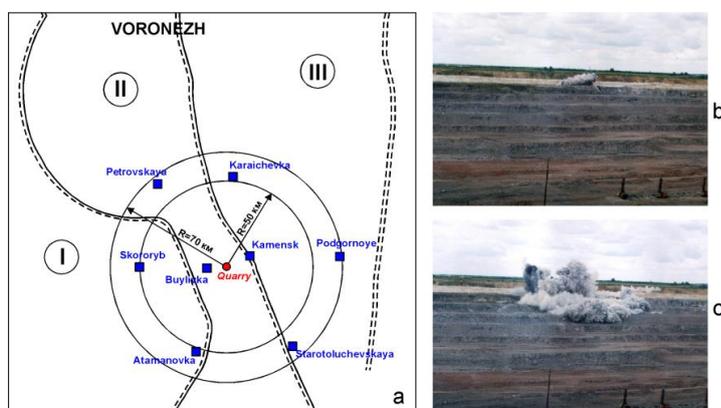


Рисунок 3. Схема расположения сейсмических станций (а), начальная фаза промышленного взрыва (б) активная фаза промышленного взрыва (в). I – Курский мегаблок, II – Лосевская шовная зона, III – Хоперский мегаблок

После взрыва суммарной мощностью 300 тонн взрывчатого вещества установлено, что спустя 8 часов после взрыва произошло 5 низкомагнитудных землетрясений с интервалами от 40 минут до 4 часов между событиями (рис. 4).

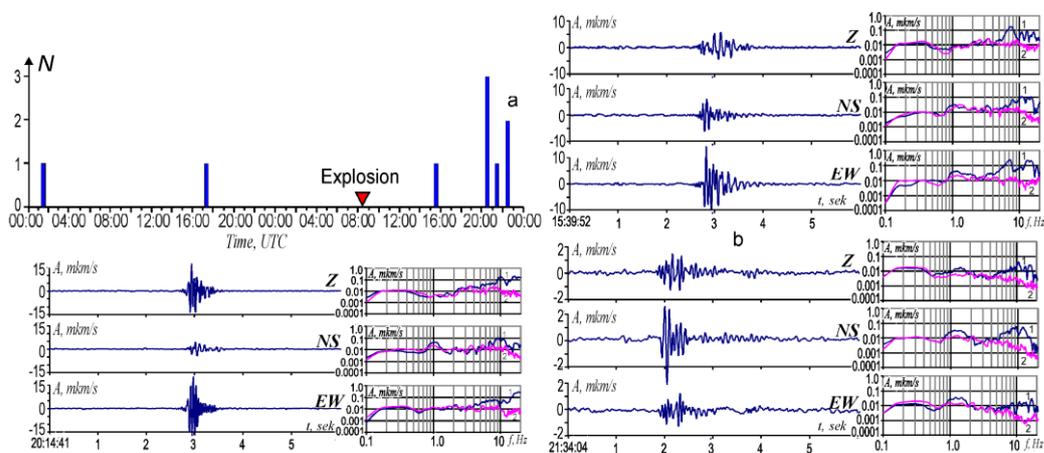


Рисунок 4. Пример релаксации геологической среды после взрыва: а – диаграмма времени регистрации землетрясений, б – трехкомпонентные записи сейсмических событий, инициированных взрывом и амплитудно-частотные спектры их и фона.

Особенность эксперимента заключалась не только в том, что промышленный взрыв спровоцировал землетрясения, но еще и в том, что произошли они только в сейсмически активной зоне, в других геологических структурах землетрясения не были зафиксированы. По классификации В.В.Адушкина и С.Б.Турунтаева [15] землетрясения по признакам реализации можно отнести к триггерным землетрясениям.

Проведенный эксперимент подтвердил, что некоторые из зарегистрированных землетрясений являются техногенными, точнее природно-техногенными.

Выводы. Изложенные в работе результаты свидетельствуют, что территория Воронежского кристаллического массива представляющая собой значительную часть территории центрального сегмента Восточно-Европейской платформы не является сейсмически пассивной. Выделяются два типа проявления современной сейсмической активности: упорядоченная и «рассеянная». Часть землетрясений приурочена к разломам или образует «пятна». Такая сейсмическая активность, скорее всего, обусловлена активизацией тектонических нарушений. Второй тип сейсмической активности по-видимому связан с активизацией динамики флюидо-динамических систем.

Вместе с тем, территория региона техногенно нагружена. Функционируют крупнейшие в Европейской части России карьеры, в которых производятся мощные взрывы, создающие значительные сейсмические эффекты. Выделяющаяся при взрывах сейсмическая энергия, распространяясь в нелинейной литосфере меняет ее деформационные свойства, накапливается на неоднородностях, тем самым создает дополнительные напряжения, которые разряжаясь могут приводить к землетрясениям.

На большом фактическом материале показано, что часть зарегистрированных землетрясений могут быть спровоцированными промышленными взрывами. Проведенный натурный эксперимент подтвердил возможность наведенной сейсмичности в литосфере платформы. Однако, выявлено, что природно-техногенные землетрясения происходят там, где геологическая среда находится в условно стабильном состоянии. В этом случае внешнее воздействие в виде промышленных взрывов может служить триггером возникновения землетрясения.

Наличие на территории крупнейшего региона Восточно-Европейской платформы – Воронежского кристаллического массива природных и природно-техногенных землетрясений однозначно свидетельствуют, что в литосфере платформы происходят активные процессы, она не является ни сейсмически, ни геодинамически пассивной.

Литература

1. Раскатов Г. И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы. Воронеж : ВГУ. 1969. 163 с.
2. Трегуб А. И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива // Труды научно-исследовательского института Воронежского государственного университета. 2002. Вып. 9. 220 с.
3. Чернышов Н. М., Ненахов В. М., Лебедев И. П. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21-30.
4. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / Гл. ред. Чернышов Н. М. Воронеж. Научная книга. 2012. 330 с.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 года. XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь 1467 – 1974 гг.; $M \geq 3,0$; $I_0 \geq 4$ / Ананьин И.В. (отв. сост.) – М.: Наука, 1977. – С. 465 – 470.
6. Никонов А.А. Каталог тектонических землетрясений Центральной части Восточно-Европейской платформы (45 – 58° с. ш.; 34 – 42° в. д.) в XIX – XX вв. / Геодинамика и Геоэкология: Матер. Междунар. конф. Архангельск: Ин-т экономических проблем Севера УрО РАН, 1999. – С. 271 – 273.
7. Никонов А.А., Белоусов Т.П., Энман С.В. Землетрясения юга Восточно-Европейской платформы и их структурная позиция. Физики Земли. 2001. No 5. – С. 3 – 44.
8. Надежка, Л. И. Сейсмологические исследования на территории Воронежского

кристаллического массива / Л. И. Надежка, С. П. Пивоваров, И. Н. Сафронич [и др.] // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : Материалы XIII Международной сейсмологической школы, Душанбе, 11–15 сентября 2018 года. – Душанбе: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", 2018. – С. 170-173.

9. Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Ефременко М. А. Оценка регистрационных возможностей сети сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21.(2012 г.) Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН. 2018. С. 466-470.

10. Семенов, А. Е. Некоторые особенности глубинного строения и современная сейсмическая активность Воронежского кристаллического массива / А. Е. Семенов, Л. И. Надежка // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : Материалы XII Международной сейсмологической школы, Алматы, Казахстан, 11–15 сентября 2017 года. – Алматы, Казахстан: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", 2017. – С. 324-327.

11. Семенов, А. Е. О связи современной сейсмической активности со структурными особенностями кристаллической коры и верхов мантии Воронежского кристаллического массива / А. Е. Семенов, Л. И. Надежка, С. П. Пивоваров // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : Материалы Десятой Международной сейсмологической школы, Новоханы, 14–18 сентября 2015 года / Геофизическая служба РАН, Республиканский центр сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана. – Новоханы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геофизическая служба Российской академии наук, 2015. – С. 290-294.

12. Рогожин Е.А., Семенов А.Е., Надежка Л.И. Некоторые черты сейсмического режима территории Воронежского кристаллического массива // Вестник НЯЦ РК. 2020. № 3. С. 150.

13. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под. ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: Изд-во ГЕОС, 2013. – 384 с.

14. Косинова, И.И. Критерий экологических оценок сейсмических воздействий, возникающих при производстве промышленных взрывов / И.И. Косинова, Л.И. Надежка, А.Е.Семенов, И.Н. Сафронич, И.Т.Ежова, К.Ю. Силкин, С.П.Пивоваров / Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – Воронеж: Типография ВГУ, 2021. - №. 1. – С. 82-93. DOI: [10.17308/geology.2021.1/3340](https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3340)

15. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная // М:ИДГ РАН, 2015. 364 с.

16. Николаев А.В. Индуцирование землетрясений подземными ядерными взрывами // Вестник РАН. 1993. Т. 36. № 2. С. 113-116.

17. Николаев А.В., Верещагина Г.М. Об удаленных афтершоках землетрясений и подземных ядерных взрывов // Докл. РАН. 1999. Т. 364. № 1. С. 110-113.

18. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. Техногенно-индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т.2. №4. С.7-15. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>

19. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. Выпуск 2. 2017. С. 47-57.

Сайлаубаева З.А., Катубаева А.М.

ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК

пр. Аль-Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан

Телефон 8(727) 269-46-05, 87058063474, E-mail: Zauresh_2@mail.ru

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И КАРТЫ ИЗОСЕЙСТ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА

Аннотация. Для отдельных сильных землетрясений южных регионов Казахстана приведено краткое макросейсмическое описание. Южные регионы подвержены воздействию сильных землетрясений с очагами расположенными как на самой территории Казахстана так и за

ее пределами. Местные очаги, в основном приурочены к горным районам, относящимся к альпийским складчатым областям. Очаги «транзитных» землетрясений связаны с сейсмоактивными зонами на территории Узбекистана, Кыргызстана и Алматинской областью Казахстана.

Annotation. A short macroseismic description is given for some strong earthquakes in the southern regions of Kazakhstan. Southern regions are exposed to strong earthquakes with sources located both on the territory of Kazakhstan and beyond its borders. Local sources are mainly confined to mountainous areas belonging to alpine folded regions. The sources of "transit" earthquakes are related to seismic active zones on the territory of Uzbekistan, Kyrgyzstan and Almaty region of Kazakhstan.

Исторические сведения о землетрясениях, ощущавшихся на рассматриваемой территории, очень скудны. Накопление более или менее систематических сведений началось лишь со второй половины XIX века, как и на всей территории Средней Азии. По макросейсмическим данным, землетрясения в этой зоне, имевшие интенсивность 7–8 баллов и $M \approx 5$, известны с XIX века [1]. В данном районе в XIX–XX столетиях ощущались колебания с интенсивностью 6-7 баллов, первое из известных здесь землетрясение Меркенское 1865 г. в предгорьях Киргизского хребта, которое ощущалось с интенсивностью 7-8 баллов [1]. Позже здесь произошли Жамбылское-1 (1908 г., $M=5.3$, $I_0=7$ баллов), Жамбылское-2 (05.10.1971 г., $M=5.7$, $I_0=7$ баллов) [2] и Жамбылское-3 (02.02.1984 г., $M=4.6$, $I_0=6$ баллов) землетрясения.

Южные регионы Казахстана являются сейсмоактивными и неоднократно подвергались сильным и ощутимым землетрясениям. Наибольшую активность проявляют хребты Киргизский Алатау и Каратау. Именно в зоне сочленения Киргизского хребта и хребта Каратау произошли известные Жамбылские землетрясения 1971 и 1984 гг. В южной части района выделяется своей сейсмической активностью хребет Каржантау, к которому приурочена очаговая зона сильного Алтынтюбинского землетрясения 1987г. Имеющиеся на сегодняшний день для данной территории материалы позволили составить список сильных и ощутимых землетрясений для исследуемой территории с $M \geq 4,5$ со второй половины XIX века по 2022 г. Из этого списка к настоящему времени имеются надежные макросейсмические данные лишь о восьми землетрясениях, наиболее полные сведения, о которых содержатся в опубликованных и рукописных документах, современных отчетах по обследованию последствий землетрясений. Ниже приводится краткое описание проявлений ряда сильных землетрясений.

Эпицентр *Беловодского* землетрясения 1885 года находился в северных предгорьях Киргизского хребта, вблизи границы Жамбылской области Казахстана с Кыргызстаном. Землетрясение ощущалось на огромной территории с востока на запад от Жаркента до Ташкента и с севера на юг от южных берегов оз. Балхаш до Андижана [3; 4]. На территории Жамбылской области землетрясение проявилось с интенсивностью от 4 до 7 баллов.

Ташкентские землетрясения 1868 и 1886 гг. ощущались на территории области с интенсивностью не более четырех-пяти баллов.

3 января 1911 г. произошла одна из сильнейших катастроф Центральной Азии – *Кеминское* землетрясение ($M=8,2$; $I_0=10-11$ баллов), сопровождавшееся многочисленными афтершоками. На территории Жамбылской области его интенсивность не превышала 4-5 баллов [5].

Эпицентр *Жамбылского* землетрясения 31 января 1908г. расположен в районе с. Маймак, в 20-30км южнее г. Жамбыла [1]. В г. Жамбыле и в с. Грозное оно ощущалось с интенсивностью 7 баллов. Область распространения сотрясений довольно большая. С интенсивностью 4-5 баллов землетрясение ощущалось в Ташкенте и Мерке. Магнитуда этого землетрясения, определенная по записи станции «Ташкент», работавшей в то время, примерно равна 5.5.

3 июня 1929г, произошло сильное *Чиликское* землетрясение с магнитудой 6.

Землетрясение наиболее сильно проявилось в населенных пунктах Уйтал, Сазоновка (Ананьево), Преображенск (Тюп), Каркара, Чилик, Маловодное, Тургень и т.д., где сила сотрясения достигла 9 баллов. Было повреждено железнодорожное депо, образовались трещины в некоторых домах. В Шымкенте сила толчков достигла 6 баллов, в Кызыл-Орде - до 4-х баллов.

Интенсивность **Кемино-Чуйскоого** землетрясения ($M=6,9$; $I_0=8-9$ баллов), произошедшего 20 июня 1938 г. с эпицентром в районе сочленения Киргизского хребта и Кунгей Алатау в устье р.Кемин [6], не превышала 4 баллов.

Два сильных землетрясения произошли в песках Кызылкум 13 и 14 марта 1968г. с интервалом менее 4 часов. [7]. Инструментальные координаты эпицентров, выделившаяся сейсмическая энергия и интенсивность сотрясений в эпицентре обоих землетрясений почти одинаковы. Эпицентры землетрясений располагаются примерно в 250км к западу от г. Шымкента в пустынной местности. Эпицентральная зона первого землетрясения охватывает площадь в 70 кв.км, тогда как второго - 25 кв.км. Сила сотрясений обоих землетрясений достигала 6-7 баллов на расстоянии 25-35км от инструментального эпицентра. Землетрясения довольно подробно обследованы Ибрагимовым Р.Н. (ИС АН УзССР). Им же составлены карты изосейст обоих землетрясений и проведен их анализ.

Жамбылское землетрясение произошло 10 мая 1971г. [2]. С наибольшей интенсивностью оно проявилось на площади около 90 кв.км, где сила сотрясения достигала 7 баллов, Эпицентральная зона располагалась в зоне сочленения структур Кыргызского хребта и хребта Каратау, а область осязтимости простиралась на востоке до г.Бишкек, на юге до г.Андижана, на западе до г.Ташкента.

В результате обобщения и обработки собранных материалов составлена карта изосейст данного землетрясения. Подробный анализ макросейсмических данных об этом землетрясении приведен в [2].

Тогансайское землетрясение произошло 13 апреля 1974г. Землетрясение ощущалось с наибольшей силой 5 баллов на площади около 188 км². Результаты макросейсмического обследования и карты изосейст с описанием приведены в сборнике [8].

Еще одно **Жамбылское** землетрясение произошло 2 февраля 1984г. с эпицентром в черте г. Жамбыла, где наиболее сильно пострадали дома, имевшие деформации от землетрясения 1971г. Однако здесь отсутствует локальный эффект, характерный для события 1971г. Эпицентры обоих землетрясений почти совпадают, однако за счет большей интенсивности область осязтимости землетрясения 1971г. значительно больше.

Алтынтюбинское землетрясение произошло 26 марта 1987г. Его эпицентр располагался в центральной части хребта Каржантау. Сотрясениями была охвачена обширная территория Шымкентской и Жамбылской областей Казахстана и Ташкентской области Узбекистана. В эпицентральном эпицентре интенсивности сотрясений достигала 6-7 баллов, уровню выделенной энергии данной землетрясение является сильнейшим в этой зоне. Оно ощущалось на довольно обширной территории от г. Жамбыла на северо-востоке до долины р. Сырдарья на западе и от г.Каратау на севере до г. Худжанд (бывший г. Ленинабад) на юге. Им были вызваны повреждения зданий в населенных пунктах Казыгуртского и Ленгерского районов Туркестанской области Казахстана и в некоторых населенных пунктах Ташкентской области Узбекистана. Анализ карты изосейст Алтынтюбинского землетрясения показывает, что все изосейсты вытянуты в северо-восточном направлении по простиранию хребта Каржантау.

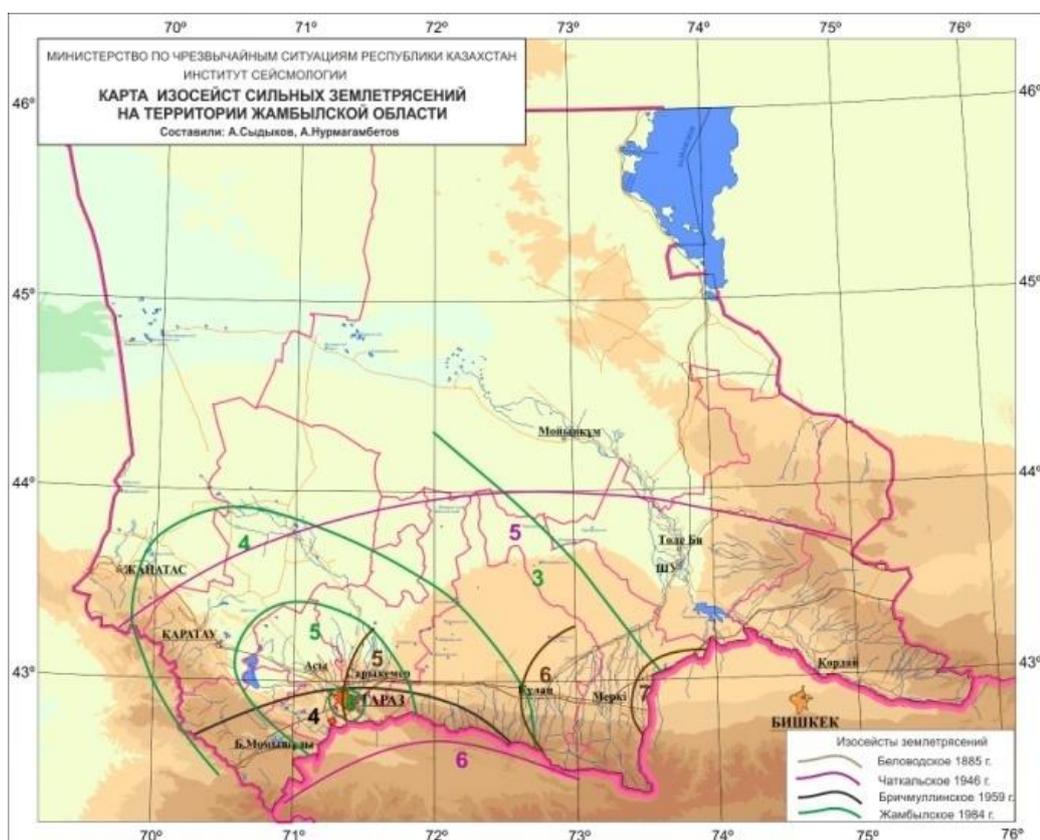
Чрезвычайно важным событием сейсмической жизни не только Жамбылского региона, но и Казахстана в целом, стало 7-балльное Луговское землетрясение 23 мая 2003

г. [9]. Оно было сильнейшим на территории региона после известного Меркенского землетрясения, происшедшего в 1865 году с магнитудой $M=6,4$. На ограниченной территории в пределах эпицентральной зоны интенсивность его проявления на поверхности земли достигла 7-8 баллов. Было обследовано около 70 населенных пунктов, построена схема изосейст, на которой выделены 7, 6, 5, 4 балльные зоны сотрясаемости. В 7-балльную зону попали населенные пункты Луговое, Кулан, Абай, Акбулак и многие др. В 6-балльной зоне практически во всех зданиях типа А (саманных) наблюдались трещины по углам комнат. В отдельных постройках этого типа отмечены сквозные трещины в стенах. В зданиях типа Б (кирпичных) имели место повреждения в виде волосяных трещин по углам и в некоторых из них были разработаны швы в панелях перекрытий.

Результаты обследования последствий землетрясения показали, что основной причиной значительного макросейсмического эффекта и больших разрушений зданий в населенных пунктах эпицентральной зоны являлись низкое качество строительно-монтажных работ, и плохие грунтовые условия.

Общий анализ макросейсмических данных южных регионов Казахстана показывает, что все изосейсты имеют, как правило, эллипсовидную форму и вытянуты вдоль простирания геологических структур. Такие землетрясения, как Жамбылские 1971 и 1984 гг., Тогансайское 1974г. а также другие ощутимые землетрясения, эпицентры которых находятся районе хребта Каратау и Киргизского хребта, имеют северо-западное простирание изосейст, согласно с направлением геологических структур, что хорошо видно на соответствующих картах. Изосейсты Алтынтюбинского 1967г., Шымкентского 1967 г. землетрясений простираются в северо-восточном направлении вдоль хребта Каржантау.

Схемы индивидуальных изосейст землетрясений приведены на рисунке 1. Анализ их показывает, что для перечисленных выше землетрясений, характерна большая область распространения. Изосейсты их, как правило, приближаются к форме разновеликих эллипсов, которые в зонах максимальных сотрясений наиболее утолщены и ориентированы длинной осью по простиранию основных геологических структур.



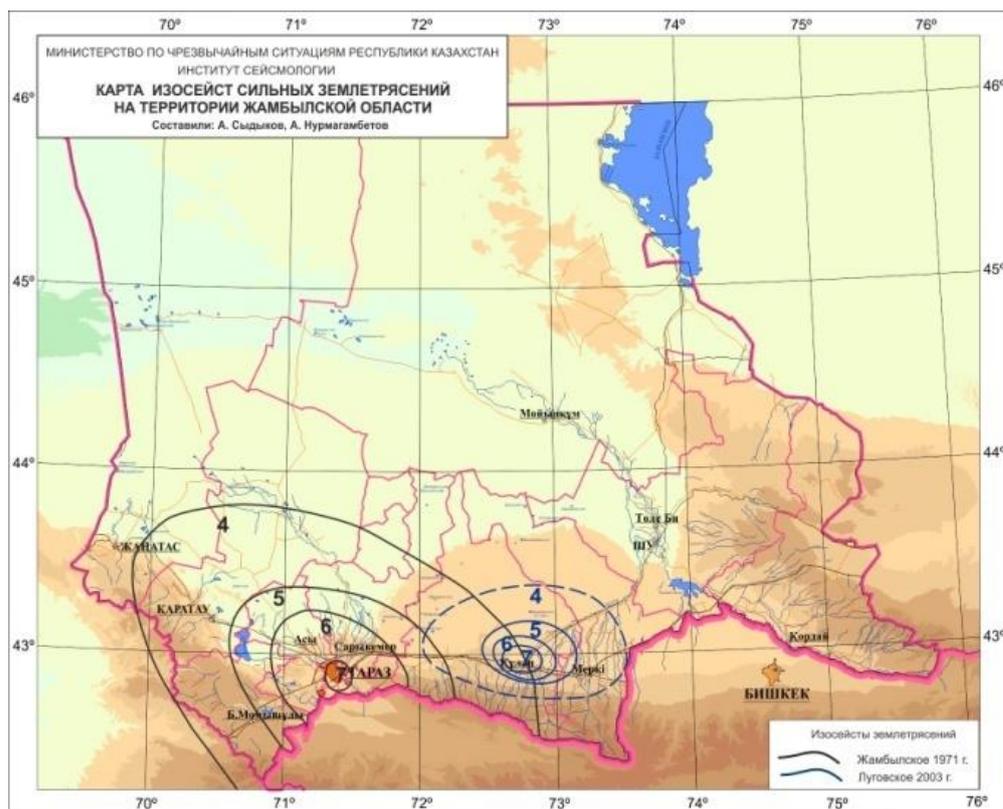


Рисунок 1. Схемы индивидуальных изосейст землетрясений

Литература

- 1 Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи // Зап. РГО, 1883. -26 с.
- 2 Сейсмическое районирование Казахстана // Б.М.Уразаев, Т.А.Акишев, А.Нурмагамбетов, А.Досымов, Е.Г. Малинин и др. Алма-Ата. 1979. 140 с.
- 3 Новый каталог сильных землетрясений СССР с древнейших времен до 1975 г. /Под ред. Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина. -М.: Наука, 1977. -535 с.
- 4 Нурмагамбетов А., Досымов А., Сыдыков А. Сильные землетрясения Казахстана и сопредельных территорий за 1969-1972 гг. //Материалы конференции молодых ученых ИГН АН КазССР. Алма-Ата: Наука, 1972. С.55-56.
- 5 Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня 22 декабря 1910 г. (4 января 1911 г.) //Тр.Геолкома. Нов.сер., 1914. вып. 89. -С.1-270.
- 6 Вильгельмзон П.М. Кеминно-Чуйское землетрясение 21 июня 1938 г. -Алма-Ата, 1947. -38 с.
- 7 Ибрагимов Р.Н., Якубов Д.Х., Ахметжанов М.А. Новейшие структуры Центральных Кзыл-Кумов и их сейсмические особенности. Ташкент «ФАН», 1973.
- 8 Землетрясения в СССР в 1962-1985гг. М.: Наука, 1964-1987.
- 9 Т.Д. Абаканов, Н.Н. Михайлова, Т.Е. Нысанбаев, А.Н. Ли, Н.Н. Полешко, И.Л. Аристова, Н.В. Силачева, Н.А. Калмыкова. **Луговское землетрясение 22 мая 2003 года.** // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. - Обнинск, 2009 г. - С. 284-293

Серазетдинова Б.З., Мыркасимова А.С., Суровцева Н.В.
 ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК, г. Алматы, Казахстан

ВАРИАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВОЛНИСТЫХ ПОПУГАЙЧИКОВ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ Г. АЛМАТЫ

В данной статье представлены результаты многолетних исследований двигательной
 236

активности волнистых попугайчиков в системе сейсмобиомониторинга. Детальный анализ вариаций активности птиц в сейсмически уязвимой зоне выявил существенные изменения их поведения накануне землетрясений, что позволяет использовать их в качестве биологического маркера процесса подготовки землетрясений.

Abstract. This article presents the results of many years of research on the motor activity of wavy parakeets in the system of seismo-monitoring. A detailed analysis of variations in the activity of birds in the seismically vulnerable zone has revealed significant changes in their behavior on the eve of earthquakes, which allows us to use them as a biological marker of the process of earthquake preparation.

Сейсмическая опасность г. Алматы. Город Алматы крупный мегаполис Казахстана. Городское население около 2 млн. человек. Город расположен в высокосейсмичном регионе Казахстана, об этом свидетельствуют крупные разрушительные землетрясения прошлого столетия: – Верненское 1887 г. с магнитудой 7,3; Кеминское 1911г. - 8,2 и другие [Мушкетов, 1890; Михайлова и др., 2015]. Ряд произошедших сильных землетрясений с магнитудой 6,9-7,3, еще несколько землетрясений с магнитудой 6,9 до 7,3 зарегистрировано в более поздние сроки.

Сейсмическую опасность города объясняют тем что, горы Северного Тянь-Шаня молодые, растущие. Сейсмогенерирующие зоны очень близко расположены к городу Алматы. Это - Алматинская, Заилийская и Чилико-Кеминская зоны. Их сейсмopotенциал достаточно высокий, поэтому интенсивность сотрясений на территории города может достигать до 10 баллов. Простираение зон совпадает с простираением хребтов Заилийского и Кунгей Алатау, Чилико-Кеминской зоной разломов, что усиливает сейсмоопасность. В этой связи сейсмобиомониторинг очень важен для города Алматы [1].

Научное обоснование к выбору объекта исследования. Поведение животных формируется под влиянием внутреннего состояния их организма и внешних факторов окружающей среды, благодаря которым они могут адаптироваться к условиям своего обитания. Формы поведения могут быть самыми различными: исследовательские, оборонительные, социальные, аномальные и т.д.[2]. Именно множество форм поведения способствуют животным выжить и сохранить себя в обитаемой природной среде. В частности, животные благодаря присущему исследовательскому поведению могут изучать и оценивать окружающую среду, выявлять опасность и избегать надвигающиеся угрозы. Помогают в этом органы чувств и этим они не ограничиваются. Наукой не до конца изучены все их способности и умение реагировать на раздражители внешней среды. Например, птицы улетают на юг, чтобы не замерзнуть с наступлением холодов, совершая перелет по магнитным линиям Земли.

Данные о необычном поведении животных накануне природных катастроф встречаются в литературе уже давно. Ретроспективный анализ показал, что практически в 50% случаев среди животных, ощущающих приближение землетрясений, были птицы. Есть и совсем недавние этому подтверждения. Например, незадолго до разрушительного землетрясения в Турции, произошедшего 6 февраля 2023 года, в результате которого погибло более 60 тысяч человек, было зафиксировано необычное поведение птиц за несколько минут до начала катастрофы [3]. По данным сайта «Sputnik Грузия» после землетрясения в Турции, жители страны начали массово скупать попугайчиков [4]. Факты доказывающие, что попугайчики могут заранее чувствовать раннюю сейсмическую активность опубликованы на сайте «Budgie Chirps» [5]. Ученый Стэнли Кореном исследовал сезонное аффективное расстройство у птиц. Ему удалось собрать данные за день до землетрясения силой 6,8 балла на северо-западе Тихого океана. По его данным за день до землетрясения у 49 % волнистых попугайчиков наблюдалось значительное повышение тревожности, а 47 % были значительно более активны. Это было резкое увеличение по сравнению с устойчивыми дневными средними значениями, собранными на тот момент. Ученый пришел к выводу, что волнистые попугайчики могут чувствовать

геофизические изменения, происходящие в период подготовки землетрясения [5]. Японское исследование 2011 года указывает, что волнистые попугайчики способны чувствовать приближение землетрясения до его начала. Волнистые попугайчики проявляют повышенную звуковую активность и демонстрируют нетипичное поведение на изменения в атмосфере, движения и вибрации земной коры. Волнистые попугайчики обладают необычайным слухом и способны улавливать инфразвуки, идущие при усилении тектонической активности земли. [5].

Большинство аномалий в поведении животных отмечается в последние дни и часы перед сейсмическим событием и поэтому для получения прогностических данных возникает необходимость ведения непрерывных наблюдений с использованием автоматизированных систем.

Сейсмобиомониторинг – это система режимных наблюдений за поведением животных в зоне сейсмического риска, включающая визуальные, автоматизированные и аппаратурные методы [6]. Пункты наблюдения за необычным поведением животных в зоне сейсмического риска называются *биостационарами*. В настоящее время на территории Алматинского прогностического полигона функционирует 5 биостационаров, где проводится мониторинг поведения животных различных систематических групп. Размещение пунктов наблюдений биополигона приурочено к зонам активных разломов - Алматинского, Заилийского и Чилико-Кеминского, где в прошлом происходили крупные землетрясения.

Одним из обитателей биополигона является волнистый попугайчик *Melopsittacus undulatus*. Волнистых попугайчиков считают одним из самых распространенных видов домашних попугаев. Они отличаются небольшими размерами и неприхотливы в содержании. В этой связи данный вид птиц был выбран как объект наблюдения на сейсмобиостационарах, и вот уже около 20 лет изучается его поведение.

Методы исследования. Методы изучения поведения животных подразделяются на 2 группы - классические: эксперимент и прямое визуальное наблюдение и современные: дистанционное наблюдение с помощью технических средств, методы моделирования, регистрации биотоков органов животных и компьютерная обработка полученных данных.

Метод изучения двигательной активности волнистых попугайчиков, который внедрен в лабораторию сейсмобиологии Института сейсмологии Казахстана, разработан ученым-биологом Б.З. Серазетдиновой [7]. Для регистрации двигательной активности волнистых попугайчиков используют специальный прибор «РДА-П». Прибор «РДА-П» устанавливается на жердочке, помещенной в вольере для попугайчиков. Он работает на основе механического датчика. Прибор автоматически считывает количество присаживаний птиц на жердочку и взлетов с неё. Прибор «РДА-П» фиксирует суммарную двигательную активность попугайчиков за один час в режиме накопления данных [7]. Полученный числовой ряд вносится в таблицу «Excel» и затем рассчитывается среднее квадратическое отклонение (σ) с целью выявления аномальных значений. Из полученных значений среднего квадратического отклонения (σ) среднесуточных данных строится график, где наглядно изображаются превышающие пороги $\sigma = \pm 2$ отклонения от фонового уровня и $\sigma = \pm 3$ до критического уровня, показывающие на аномалии предвестникового характера.

Причины необычного поведения могут быть вызваны влиянием на волнистых попугайчиков различных факторов: магнитных, атмосферных, сейсмических или совокупностью факторов. Анализ многолетних данных показал повышение двигательной активности волнистых попугайчиков накануне ряда сейсмических событий, выражающееся в аномальной активности, с амплитудой вариаций, превышающих порог 2σ и 3σ . Таблица 1.

Таблица 1 – Сейсмические события, перед которыми было зарегистрировано повышение двигательной активности волнистых попугайчиков

№	Дата, время (UTC+06:00)	Координаты эпицентра	Расстояние до эпицентра, энергетический класс	Аномальное поведение волнистых попугайчиков
1	13.06.2009 г., 13ч 57мин	44°45' с.ш., 78°49' в.д.	230 км, K=14,3	за 2 дня ($\sigma=2,1-2,3$)
2	12.09.2010 г., 19ч 01 мин	45°10' с.ш., 77°25' в.д.	220 км, K=12	за 2 дня ($\sigma=2,2$)
3	22.01.2015 г., 21ч 52 мин	42°15' с.ш., 75°01' в.д.	188 км, K=11,9	за 1 день ($\sigma=2,5$)
4	28.04.2017 г., 11ч 01 мин	41°52' с.ш., 76°50' в.д.	147 км, K=12,2	за 3 дня ($\sigma=2,6-4,2$)

На основе автоматизированной регистрации двигательной активности птиц зафиксировано повышение показателей перед рядом сейсмических событий, выражающееся в аномальной активности, с амплитудой вариаций, превышающих порог 2σ и 3σ .

Детальный анализ материала выявил периоды повышения двигательной активности волнистых попугайчиков за 2-3 дня до землетрясения с энергетическим классом 12,0-14,3 в радиусе до 200 км от эпицентра.

Результаты исследований показали, что поведение животных может быть использовано в качестве биологического маркера в период подготовки сильного сейсмического события.

Детальный анализ результатов наблюдений за двигательной активностью волнистых попугайчиков выявил изменения значений среднего квадратического отклонения (σ), превышающие пороги $\sigma = \pm 2$. На рисунке 1 график вариации двигательной активности волнистых попугайчиков за 2021 г. отклонения от фонового уровня за 2021 г. наблюдались 18, в 2022 г. таких отклонений было 4.



Рисунок 1. График вариации двигательной активности волнистых попугайчиков за 2021 г. Значения среднеквадратических отклонений, превышающий порог $\pm 2\sigma$ в 2022 г. были зафиксированы в 4 случаях. Рисунок 2.



Рисунок 2. График вариации двигательной активности волнистых попугайчиков за 2022 г.

На рис. 1 и 2 показано отсутствие выраженной сезонной активности наблюдаемого вида птиц характерной их биологии.

За период 2021-2022 г. выявлены параметры $\sigma = \pm 2$, вариации которых вызваны в основном влиянием атмосферных и геомагнитных факторов (перепады атмосферного давления и магнитные бури).

Результаты исследований. Проведенные эксперименты аппаратурных наблюдений за вариациями двигательной активности волнистых попугайчиков позволили выявить их реакции на изменения геофизических факторов, воздействующих на поведение животных в процессе подготовки землетрясений в сейсмически активной зоне города Алматы. Выявлены изменения их активности на землетрясения с энергическим классом 12,0-14,3 в радиусе 200 км. от эпицентра.

Результаты исследований показали, что поведение животных может быть использовано в качестве биологического маркера в период подготовки сильного сейсмического события.

Выводы. Детальные исследования выявили многолетние вариации двигательной активности волнистых попугайчиков, содержащихся в вольерных условиях на одном из пунктов наблюдений Алматинского прогностического полигона, расположенном на территории города Алматы. Представлены графики, характеризующие отсутствие выраженной сезонной активности наблюдаемого вида птиц. Выявлены периоды повышенной активности птиц. Накануне слабых землетрясений сильных сейсмических событий, представляющих угрозу населению и объектам жизнеобеспечения не происходило.

Таким образом, представленный материал выявил периоды повышенной двигательной активности волнистых попугайчиков за 2-3 дня до землетрясения с энергическим классом 12,0-14,3 в радиусе до 200 км от эпицентра.

Литература

1. Серазетдинова Б.З. Двигательная активность волнистых попугайчиков.// Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: «Эверо», 2012. 364 с.
2. Терехова С.В., Лапшин Л.В. Формы поведения и механизмы, лежащие в их основе. Т.35 Основы этологии животных /С.В. Терехова, Л.В. Лапшин. – 2-е изд., перераб. и доп. - ФГОУ ВО ПГСХА. – Усурийск, 2016. – 285 с.
3. https://www.tiktok.com/@aoza_verba/video/7197449799958826241?is_from_webapp=1&sender_device=pc&web_id=7198034284183291398

4. Сайт «Sputnik Грузия» <https://sputnik-georgia.ru/20230327/zhiteli-turtsii-posle-zemletryasenyi-nachali-skupat-popugaev--smi-276123112.html>

5. Англоязычный сайт «BudgieChirps»: https://www.budgiechirps-com.translate.google.com/budgies-sense-earthquakes/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=ru&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=sc

6. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: «Эверо», 2012. 364 с.

7. Серазетдинова Б.З. Программные средства и методы обработки данных сейсмобиомониторинга. //Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: «Эверо», 2012. 364 с

Г.Х. Даурбаева, А.О. Сылканова

ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК
пр.Аль-Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан

E-mail: gulba_da@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЖАМБЫЛ

Аннотация. Построены карты плотности эпицентров землетрясений на разных глубинах, карты эпицентров сильных землетрясений с древнейших времен по 2022 год для территории города Жамбыл. Показано, что интенсивность сотрясений увеличивается от 5 баллов на северо-западе территории города до 7-8 баллов на юго-востоке.

Abstract. Maps of large earthquake epicenters at different depths, maps of strong earthquake epicenters with researchers from the time to 2022 for the territory of the city of Zhambyl were built. It is shown that the intensity of shaking increases from 5 points in the northwest of the city to 7-8 points in the southeast.

Составленные унифицированные каталоги слабых и сильных землетрясений позволяют получить представление о пространственном распределении сейсмичности и выделить наиболее сейсмоактивные зоны. Карты эпицентров землетрясений являются одними из основных среди исходных материалов для изучения особенностей пространственного распределения сейсмичности. Обычно такие карты строятся с указанием различного набора параметров, таких как магнитуда, энергетический класс, глубина и др. В последнее время получило распространение представление очагов землетрясений с учетом их размеров и простирания. Для землетрясений с $M \geq 6,1$ определены очаговые зоны в виде эллипсов, размеры которых вычислялись по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \lg L_x (\text{км}) &= 0,5M - 1,8 \quad - \text{длина очага,} \\ \lg W (\text{км}) &= 0,26M - 0,56 \quad - \text{ширина очага.} \end{aligned} \quad (1)$$

Азимуты простирания очаговых зон определялись различными способами: а – по распределению области афтершоков; б – по простиранию изосейст; в – по простиранию разрыва; г – по механизму очага; д – по простиранию сейсмогенерирующей зоны. Результаты исследований показали, что преимущественными направлениями простирания очагов сильных землетрясений являются $76^\circ-90^\circ$ и $106^\circ-120^\circ$.

Наиболее ответственным этапом при построении карт эпицентров является выбор пространственно-временных и энергетических рамок совокупностей землетрясений, которые зависят от уровня представительности землетрясений с очагами разных энергий, т.е. от минимального порогового уровня энергетического класса, начиная с которого все землетрясения данного района регистрируются без пропуска.

Для рассматриваемой территории с учетом представительности землетрясений за разные сроки наблюдений построены карты эпицентров землетрясений: 1) с $M \geq 6,0$ с

древнейших времен (250 г. до нашей эры) по 2009 г. (рисунок 1); 2) с $M \geq 4,8$ с древнейших времен (250 г. до нашей эры) по 2009 г. (рисунок 2); 3) с $K \geq 8,6$ ($M \geq 3,0$) с 1951 г. по 2022 г. (рисунок 3); 4) с $K \geq 7,6$ ($M \geq 2,0$) с 1962 г. по 2022 г. (рисунок 4);

Анализ карты очагов эпицентров разрушительных землетрясений с $M \geq 6,0$ (рисунок 1) показывает, что все они расположены на юге исследуемой территории и приурочены к Северо-Тянь-Шаньской зоне, которая в виде полосы шириной 15-30 км протягивается в широтном направлении вдоль хр. Заилийский и Кунгей Алатау по Киргизскому хребту до с. Мерке. Особенно высокосейсмичными являются районы хребтов Заилийский, Кунгей Алатау, а также восточная часть Киргизского хребта, в пределах которых располагаются очаги сильнейших землетрясений (Беловодское 1885 г., $M=6,9$; Верненское 1887 г., $M=7,3$; Кеминское 1911 г., $M=8,2$; Кемино-Чуйское 1938 г., $M=6,9$ и др.) [2]. Менее активным является западное погружение Киргизского хребта, где максимальная магнитуда наблюдаемых землетрясений за последние 100 лет не превышала 6,0.

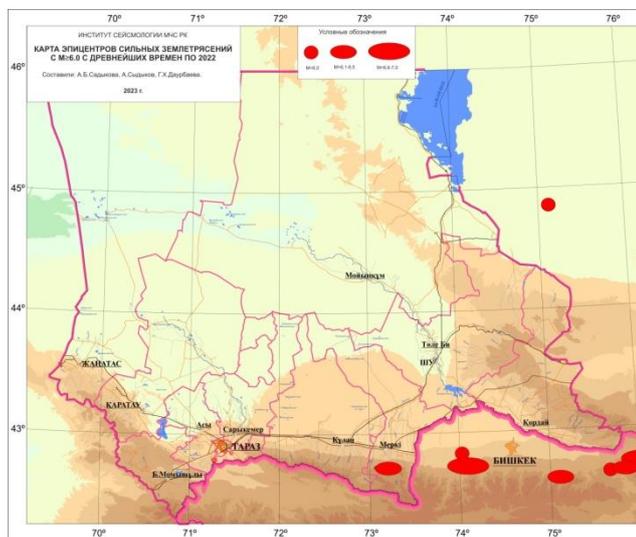


Рисунок 1 - Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 6,0$ с древнейших времен по 2022 г.

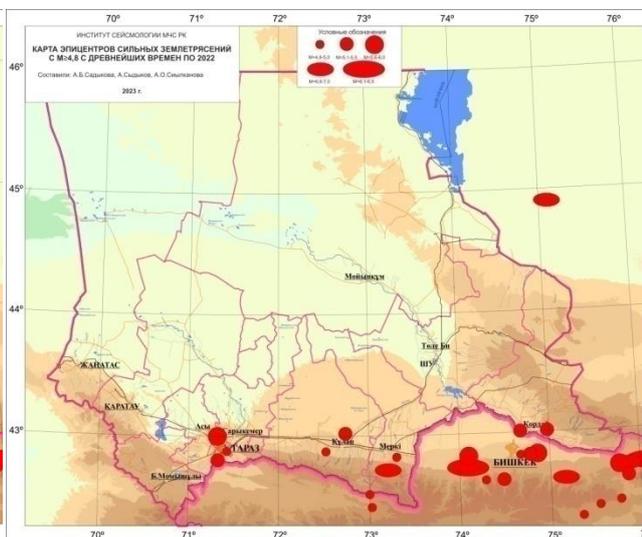


Рисунок 2 - Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 4,8$ с древнейших времен по 2022 г.

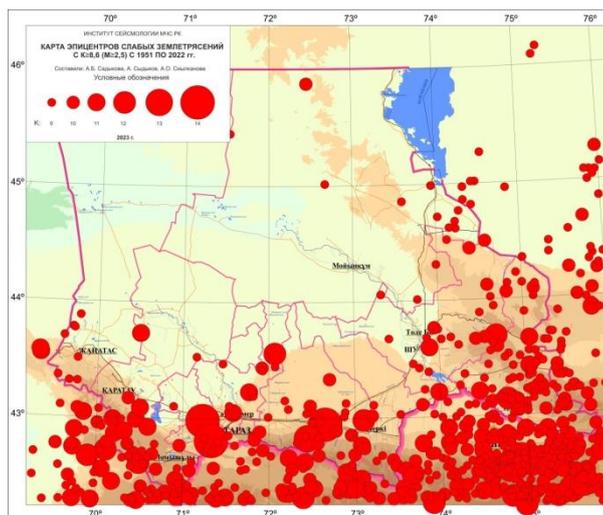


Рисунок 3 - Карта эпицентров землетрясений с $K \geq 8,6$ ($M \geq 3,0$) с 1951 г. по 2022 г.

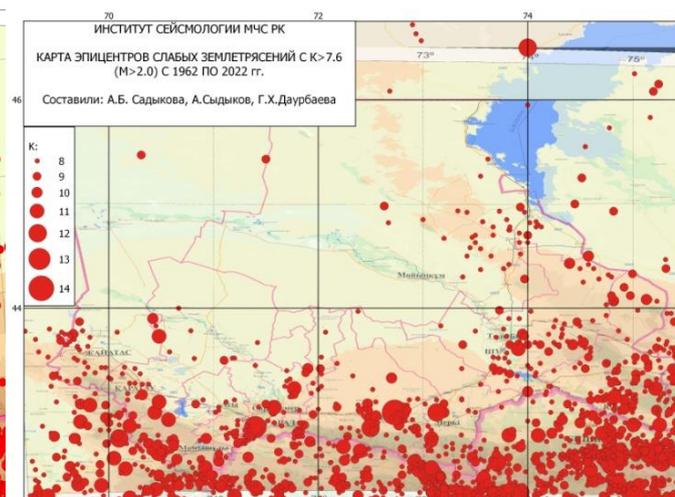


Рисунок 4 – Карта эпицентров землетрясений с $K \geq 7,6$ ($M \geq 2,0$) с 1962 г. по 2022 г.

Вторую зону составили два сильнейших землетрясения – Чаткальское 1946 г. с $M=7,5$ и Сусамырское 1992 г. с $M=7,2$, а также несколько менее сильных

землетрясений. Зона расположена на юге планшета и приурочена к Чаткальскому хребту. Рассматривая карту эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 4,8$ (рисунок 2) следует отметить их большую рассеянность по площади по сравнению с распределением эпицентров землетрясений на предыдущей карте. Они, в основном, представлены в виде отдельных групп эпицентров, неравномерно расположенных по югу территории. Эпицентральная зона, приуроченная к г.Жамбыл, представлена землетрясениями, произошедшими 31 января 1908 г., $M=5,3$ (Жамбыл – 7б) и двумя землетрясениями 1971 г., $M=5,7$ ($J_0=7б$) и 1984 г., $M=4,6$ ($J_0=6б$) [3].

Анализ распределения эпицентров слабых землетрясений по площади показывает, что их скопления имеют различную плотность для разных зон. Они представлены, в основном, в виде широких полос с нечеткими границами или в виде отдельных пятен. Можно выделить эпицентральные зоны, приуроченные к хребтам Каратау, Таласский, Киргизский и к Чу-Илийским горам и характеризующиеся неравномерностью их площадного распределения.

В пределах Северо-Тянь-Шаньской зоны высокая концентрация эпицентров землетрясений приурочена к центральной и восточной частям хр.Заилийский и Кунгей Алатау, а также к Киргизскому хребту. Резко отличается по характеру поля эпицентров слабых землетрясений западный фланг хребта Заилийский и Кунгей Алатау, где отмечается значительно меньшее число слабых землетрясений, чем в центре и на востоке [1,4-5].

По количеству слабых землетрясений Терская зона не уступает Заилийско-Кунгейской, хотя сильные землетрясения в ее пределах отмечены в значительно меньшем количестве. Здесь наибольшая плотность эпицентров приурочена к юго-западному окончанию оз.Иссык-Куль. По уровню слабых землетрясений Чаткало-Кураминская зона характеризуется достаточно высокой плотностью эпицентров и широкой полосой протягивается в близширотном направлении. В ее пределах очаги слабых толчков распределены более или менее равномерно.

Как видно из приведенных карт, связь между слабыми и сильными землетрясениями даже при качественном анализе представляется достаточно сложной. В первую очередь, следует отметить, что эпицентры сильных и умеренных землетрясений довольно отчетливо приурочены к областям скопления многочисленных слабых толчков или к их краевым частям. Эти участки высокоактивны и в настоящее время. С другой стороны, существуют районы, где эпицентры сильных и умеренных землетрясений (в большинстве – ранние землетрясения) расположены в спокойном или даже пониженном современном сейсмическом поле. Указанные особенности в площадном распределении слабых и сильных землетрясений можно объяснить неоднородностью распределения очагов землетрясений, как в пространстве, так и во времени.

Остальные зоны – Прибалхашская, Чу-Илийские горы, Илийская впадина [1] – характеризуются небольшим количеством землетрясений, эпицентры которых по площади распределены более или менее равномерно.

Ранее платформенная территория считалась асейсмичной, хотя в литературе отмечалось существование отдельных эпицентров землетрясений в Центральном Казахстане и в Северном Прибалхашье. Магнитуда их не превышает 4,5-5,0 за исключением землетрясения 1925 г. с $M=5,8$, произошедшего в пределах Казахского щита (восточнее г.Караганды) [1].

Анализ карт эпицентров сильных и средней силы землетрясений за различные периоды наблюдений свидетельствует, что в пределах Северного Прибалхашья землетрясения с $M \geq 4,0-4,5$ не отмечены. Это до некоторой степени может быть следствием отсутствия сейсмических станций на этой территории. Некоторая их концентрация наблюдается севернее г.Балхаш, а также в районе юго-западной оконечности озера Балхаш и совпадает с существующими карьерами и рудниками, где проводятся промышленные

взрывы. Для идентификации взрывов проведено изучение распределения времен возникновения слабых сейсмических событий для различных участков территории Прибалхашья [6]. Все это наводит на мысль о том, что наряду с естественными землетрясениями, возможно, здесь имеют место сейсмические события искусственного происхождения. С увеличением энергии число таких событий уменьшается, что также говорит в пользу их искусственного генезиса.

Карта плотности эпицентров землетрясений с глубиной $H=0-10$ км, $H=11-20$ км, $H=21-30$ км, $H=31-40$ км (рисунок 5,6,7,8). Пространственное распределение сейсмичности количественно может быть оценено на основе карты плотности эпицентров, построение которой проводится следующим образом: вся рассматриваемая территория разбивается на площадки $\Delta S = 15 \times 15$ км и в пределах каждой из них подсчитывается число землетрясений (N_{Σ}) с $K \geq K_{mi} = 7,6$, начиная с 1961 года ($T=49$ лет). Значение плотности эпицентров N^* , отнесенное к площади $S_0 = 1000$ км² и к времени $T_0 = 1$ году, в каждой точке определяется по следующей формуле

$$N^* = \frac{N_{\Sigma} \cdot S_0 T_0}{\Delta S \cdot T} \quad (2)$$

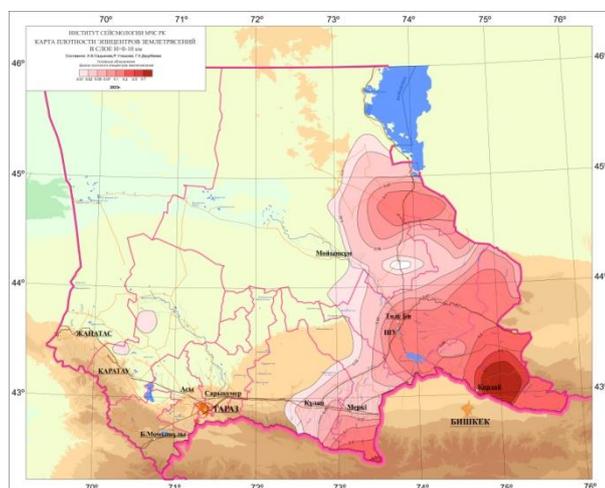


Рисунок 5- Карта плотности эпицентров землетрясений в слое $H=0-10$ км

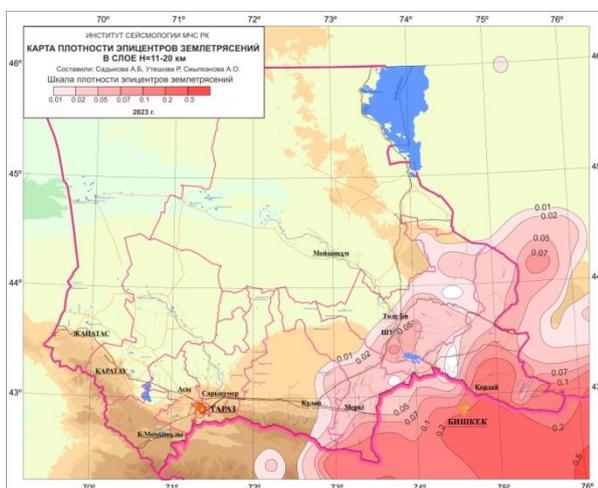


Рисунок 6 - Карта плотности эпицентров землетрясений в слое $H=11-20$ км

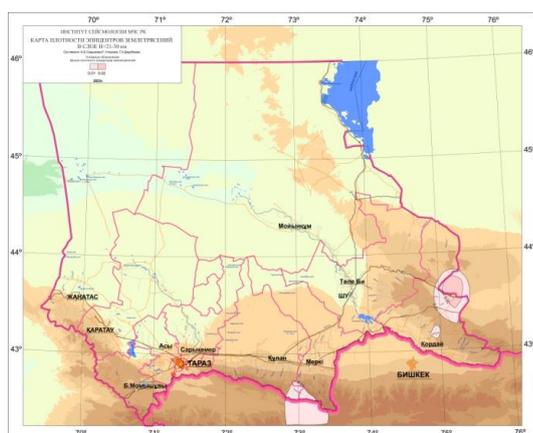


Рисунок 7- Карта плотности эпицентров землетрясений в слое $H=21-30$ км

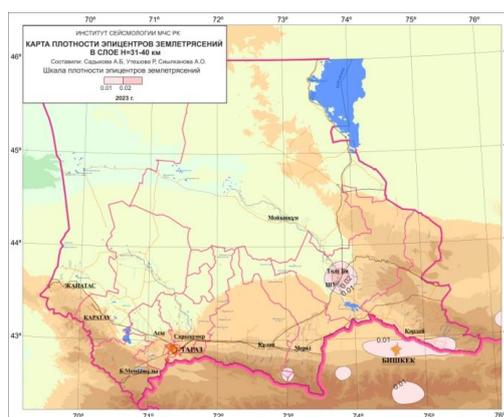


Рисунок 8 – Карта плотности эпицентров землетрясений в слое $H=31-40$ км

Карта плотности эпицентров землетрясений дает наглядное представление о пространственном распределении сейсмичности. Наибольшим значением плотности эпицентров характеризуются районы хребтов Заилийского, Кунгей, Киргизского, Терской Алатау ($N^* \geq 1,0-1,5$). Локальные максимумы плотности эпицентров наблюдаются в районах Чу-

Илийских гор, близ с.Мерке, г.Тараз и п.Жанатас (N^* до 0,1-0,2). Наименьшими значениями плотности эпицентров характеризуются Илийская, Иссык-Кульская впадины, Чуйская долина и Прибалхашье.

Как свидетельствуют имеющиеся данные, линии максимальной плотности эпицентров, как правило, ориентированы в близ широтном, северо-восточном и северо-западном направлениях [1, 5]. Близ широтные аномалии плотности эпицентров в основном приурочены к хребтам Киргизский, Заилийский, Кунгей, Терской Алатау. К восточной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау, а также Терской Алатау приурочены аномалии плотности эпицентров северо-восточного простирания. Достаточно четко проявляются линии максимальной плотности эпицентров северо-западного простирания. Менее значительные зоны северо-западного простирания могут быть отмечены в районах г. Алматы, северо-западной оконечности оз. Иссык-Куль, Киргизского хребта и т.д. Как правило, зоны пересечения линий максимальной плотности эпицентров землетрясений разных направлений характеризуются наибольшими значениями плотности.

Качественное сопоставление карты плотности эпицентров со схемой распределения сильных землетрясений показывает, что в подавляющем большинстве случаев эпицентры сильных землетрясений приурочены к местам высокого градиента поля плотности.

Литература

1. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. -Алматы: Ғылым. 2004. - 268 с.
2. Джанузаков К.Д., Шукурова Р., Власова А.А. и др. Каталог землетрясений Тянь-Шаня //Inland earthquake. -1997. Vol. 11. -183 p.
3. Садыкова А.Б., Сыдыков А. Сейсмичность Казахстана и прилегающих территорий /В кн. «Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана». -Алматы. 2007. -С. 225-236.
4. Сыдыков А., Садыкова А.Б. Особенности сейсмичности и сейсмического режима территории Казахстана //Геология и охрана недр. - 2007. №2. -С. 58-62.
5. Садыкова А. Б. Сейсмический режим района Алматы //Промышленность Казахстана. - Алматы. 2009. № 2. - С. 56-57.
6. Сейсмическая опасность трассы нефтепровода Атасу-Алашанкоу /Нусипов Е., Оспанов А.Б., Тимуш А.В., Шацков В.И., Сыдыков А., Садыкова А.Б., Ергали А.Е., Оспанов Д.Н. -Алматы, 2004. -105 с.

¹Усупаев Ш.Э., ²Туркбаев П.Б.

¹Центрально- Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек
²Кыргызско-Российский Славянский университет им Б.Н. Ельцина, г. Бишкек

НООСФЕРНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОНОМИЯ УДАРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ ЗЕМЛИ И СЕЙСМОСФЕРА В ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ПАЛЕОПРОЧНОСТИ МИРОЗДАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены новые подходы ноосферной инженерной геологии и катастрофоведения в обосновании природысейсмопланетосферы и нового направления инженерной сейсмогеологии. Генезис землетрясений и цунами тесно связано последствиями ударныхстолкновений Геоида с подобными планетамипри резонансном пересечении их орбит в геологической истории формирования Земли, создавшими механизм вергентного вулканизма и сейсмотектогенеза. В результате 5 ударных столкновений ипланетоблемных объединений столкнувшихся небесных тел сформировалась гибридная Земля содержащая в пределах жидкой планетосферы 6 твердых ядер образующих гравиинертно объемную фигуру геооктаэрической формы. Твердые ядра контролируют электромагнетизм планеты, грави-инертные геодеформации в планетосферах, динамику изменения климата, и сейсмический многоуровневый цикловой режим.Прогноз землетрясений требует создания инструментального многоуровневого мониторинга выделенных 3-трех ДО-дренажных оболочек в разрезе Земли,и круглосуточной

регистрации в он-лайн режиме орбитального гравитно-инертного импульсного вращения твердого ядра Геоида вокруг геометрического центра планеты на расстоянии 500 км под углом 45 градусов к орбите Солнца, создающего геодформационные объемные волны перераспределения масс в поле палеопрочности находящихся выше планетосфер, вызывая геориски природного и техногенного характера.

UsupaevSh.E.,

Central Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek

Noospheric Engineering Geonomy of Impact Collisions of the Earth and the Seismosphere in the Unified Theory of Paleo-Strength of the Universe

Annotation. The article considers new approaches to noospheric engineering geonomy and catastrophe science in substantiating the nature of the seismoplanetosphere and a new direction in engineering seismogeonomy. The genesis of earthquakes and tsunamis is closely related to the consequences of impact collisions of the Geoid with similar planets during the resonant intersection of their orbits in the geological history of the formation of the Earth, which created the mechanism of vergent volcanism and seismic tectogenesis. As a result of 5 impact collisions and planetary problem associations of colliding celestial bodies, a hybrid Earth was formed containing 6 solid cores within the liquid planetosphere, forming a gravity-inert volumetric figure of a geoctaeric shape. Solid cores control the planet's electromagnetism, gravi-inert geodeformations in the planetospheres, the dynamics of climate change, and the seismic multilevel cyclic regime. Earthquake prediction requires the creation of instrumental multi-level monitoring of 3-three BS-drainage shells in the Earth's section, and round-the-clock online registration of the orbital gravity-inert pulsed rotation of the Geoid solid core around the geometric center of the planet at a distance of 500 km at an angle of 45 degrees to the Sun's orbit, which creates geodeformational body waves of redistribution of masses in the field of paleo-strength of the above located planetospheres, causing georisks of natural and technical fiery character.

Введение. От землетрясений за последние 500 лет погибло более 7 млн. человек. В крупных городах-мегаполисах и метрополиях расположенных в сейсмоопасных регионах гибнут тысячи людей вследствие разрушения зданий, пожаров, разрывов газовых трубопроводов, воздействия открытых источников электроэнергии. В мире в среднем по статистике происходит 500 тыс. землетрясений, около 100 тыс. из них ощущаются, а до 100 приводит к разрушениям. Длится в среднем землетрясение 5-20 с. Чем дольше сотрясения по времени, тем больше повреждений.

Ноосферная – интегральная инженерная геонимия и катастрофоведение, с сейсмопланетосферой синтезируют единое целое функционирующее и развивающееся условия проживания биокосных, неживых веществ и, живых и разумных существ. Ноосферная картина мира наследует потенциал всех предшествующих историй формирования изменения палеопрочности материи, ударных от столкновений небесных тел, стадий, фаз, циклов и этапов развития Космоса, Мира, Вселенной [4,7, 11-13].

Составлены новые карты катастрофоведения и ноосферной инженерной геонимии (рис.1) Геоида в поле палеопрочности материи, где: а. эпицентр твердого ядра Земли в виде круга закрашен розовым, его гравитно-инертный антиподальный центр круг выделен кругом синего цвета; б. эпицентры пяти твердых ядер Земли от ударных столкновений Геоида с подобными планетами выделены разного размера оранжевыми кругами, гравитно-инертные антиподальные центры - зеленые круги; в. сдвиги, стрелками вдоль планетарных разломов; г. области растяжений – линиями с перпендикулярными штрихами; д. передние фронты зон сжатия – линиями с черными треугольными зубцами; е. в центре полушарий, показаны синим овалом траектория ежегодного орбитального вращения твердого ядра вокруг геометрического центра выделенного красным по цвету, кругом [7-9].

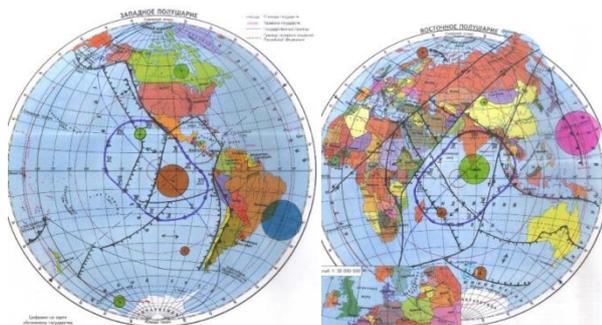


Рисунок 1. Карта катастрофоведения и ноосферной инженерной геологии типизации напряженно-деформационных свойств полушарий Земли трансформирующихся георисками и гравиинертным круглогодичным орбитальным движением и воздействием твердого ядра Земли на планетосферы в Едином поле палеопрочности материи.

Сейсмопланетосфера, представляется в ноосферной модели Мира на примере Земли, в качестве одновременно взаимосвязанных тесно между собой в поле палеопрочности материи геосфер: сеймосфера, тектоносфера, астеносфера, гидросфера, биосфера, электромагнитная сферы, ионосфера, сферы ядер, дренажные оболочки Земли [1-10].

На рисунке 2 представлена «Ноосферная инженерно-геономическая карта сейсмопланетосферы Геоида». На карте генерализованы аналитические и тематические данные из: а). карты кольцевых сейсмических зон Земли закрашены в бардовый цвет кольцевые зоны концентрации землетрясений на суше и под водой как выдающиеся структуры сейсмопланетосферы Земли; б). карты спутниковых гравиметрических данных с геодными повышениями и понижениями объемной фигуры Земли 6 эпицентрами твердых ядер ударно столкнувшихся с нашей планетой подобных небесных тел: БЭ-Бразильского, КЭ-Канадского, СЛЭ-СеверноЛедовитого, ТеЭ – Тетиса, ТЭ – Тихоокеанского и, их антиподальными грави-инертными центрами БА-Бразильского, КА-Канадского, СЛА-Северно Ледовитого, ТеА – Тетиса, ТА – Тихоокеанского, а также изначального твердого ядра Земли с эпицентром-ЯЭЗ и антиподальным центром-ЯАЗ имеющие возраст более 4.5 млрд. лет.

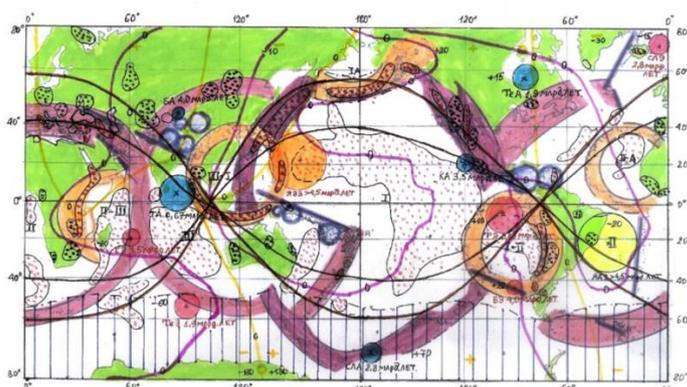


Рисунок 2. Карта катастрофоведения и ноосферной инженерной геологии с кольцевыми сейсмическими структурами центрального типа контролируемые диагональными поясами планетарной раздробленности и разломной трещиноватости и гравиинертными воздействиями эпи- и антиподальных центров представленных на структурной карте-модели сейсмопланетосферы Геоида.

Геолого-космические возраста и координаты ударных столкновений палеопланет: 1. Бразильской – 4,0 млрд. лет, 2. Канадской – 3.5 млрд. лет, 3. Арктической (Северно-Ледовитого океана) – 2.8 млрд. лет, 4. Тетиса – 1.9 млрд. лет, 5. Тихоокеанской- 0, 67 млрд. лет планетоблем, которые взаимосвязаны с кольцевыми мегаструктурами центрального типа сейсмопланетосферы Земли; в). карты распространения континентальных (заштрихованы в точки красного) и подводных (заштрихованы в точки розового цвета) действующих вулканов Геоида, г). карты распространения (заштрихованы точками черного цвета) концентрированного расположения полезных ископаемых, д). изолинии нулевых значений (темно-желтые линии, где знак минус отрицательного, плюс положительного значений магнитного поля Земли типизирующих расположение твердых

ядер гибридной Земли; е). изолинии (линии бардового цвета) нулевого значения высот геоида, контролирующих распределение твердых ядер гибридной Земли и). синусоидальных зон (темно и светло-коричневые линии, пересекающиеся у экватор) развития планетарных сколов с внутренними территориями полюсобежного сжатия и внешними экваторобежного растяжения сейсмопланетосферы Геоида, и). карты латерального по широтного распространения (на юге выделены пунктирной с точками и заштрихованы вертикальными синими линиями) границ айсбергов как источников льдотрясений, ж). зеленым цветом закрашены поверхности континентов, где при добыче горючих сланцев формируются искусственные землетрясения, а при разработке месторождений полезных ископаемых для их извлечения из недр используются промышленные взрывы, также зеленым цветом указаны территории распространения малой сейсмичности и микросейсм, з). белым цветом представлены пространства океанов и морей, где получили развитие малые значения величины землетрясений и сейсмические шумы (микросейсм) [1-10].

Наряду с 5 планетоблемами ударные столкновения Земли и кризисы жизни происходили при падении 67 астероидов, которые вносят свой вклад в особенности проявления вулканизма, движения плюмов, сейсмического режима и активизации землетрясений и цунами [8-10].

На рис. 3. представлена «НИГ модель-разрез гибридного геоида сформировавшего сейсмопланетосферу Геоида», где выделены: а). серым кружочком геометрический эпицентр Земли диаметром до 400-500 км, вокруг которого вращается твердое ядро Земли; б). красными кружочками показаны ежемесячные круглогодичные орбитальные (красные стрелки направления) вращения твердого ядра вокруг геометрического центра планеты; в). римские цифры внутри светло-желтого круга указывают месяцы, а серый цвет круга глубину недр в 4 тыс. км, где наблюдается максимальное значение силы тяжести в 1 тыс. Гал, т.е. процессы миграции и круговорота вещества контролируются данными барьерами палеопрочности планетосфер Земли; г). красным кругом на глубине 3,5 тыс. км выделена 3-ья ДО₃ (оболочка Земли, где происходит круговорот сверхглубинных сейсмопланетосферных трансформаций на основе термо-барических вымываний компонент полигрантов соединением HgH, приводящим к дегазации водорода и гидрид металлическим конвекциям; д). желтыми кружочками показаны гипоцентры расположений твердых ядер ударно столкнувшихся с палео-Землей подобных небесных тел сформировавший современную гибридный Геоид. Указанные твердые ядра играют роль в формировании и переполусовках магнитного поля Земли, вытесняются к границам жидкого ядра центральным ядром изначальной Земли и удерживаются в недрах нижней мантии силами барицентра (формирует выделенное фиолетовой пунктирной с точками круга границу грави-инертного равновесия Земли и Луны) на глубине 1593 км; е). косой широкой штриховкой розового цвета выделены границы нижней мантии Земли; и). косой широкой штриховкой оранжевого цвета выделены границы верхней мантии Земли; к). на глубинах от 250 до 300 км в недрах планеты выделена кругом закрашенным оранжевым цветом с стрелками черного цвета вторая дренажная оболочка-ДО₂ представленная соединениями SH приводящими к дегазации серы, водорода и, к круговороту компонент полигрантов, трансформирующими георисками от глубокофокусных землетрясений в зонах субдукции; л). на глубинах от 60 км до 250 км закрашена в красный цвет астеносфера, которая окружена снизу дренажной оболочкой ДО₂ оранжевый цвет с циркуляцией SH, а сверху дренажной оболочкой ДО₁ из H₂O которая между границами Конрада и Голицина формирует граниты и базальты Земли;

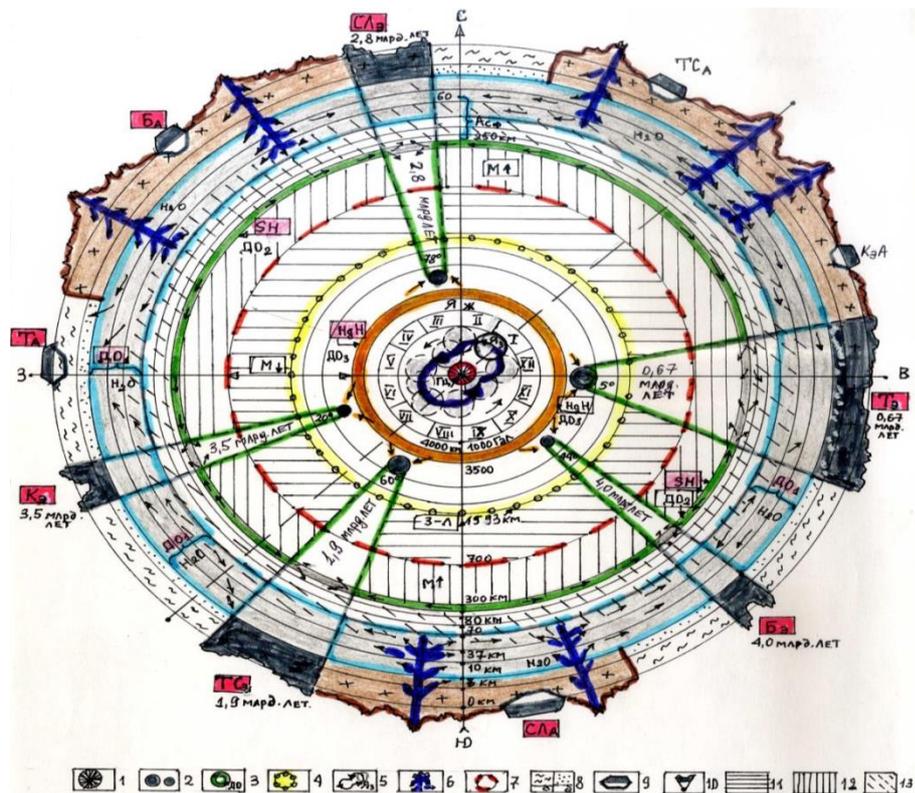


Рисунок 3. Ноосферная инженерно-геономическая и катастрофоведческая структурная генетическая модель-разрез гибридного геоида образующая сейсмопланетосферу Земли

н). светло-коричневым цветом выделены континенты по разломам где как правило в горных областях происходит (стрелки синего цвета) проникновение воды в дренажную оболочку-ДО₁ вымывание тяжелых химических элементов и образование гранитов, а вынесенные тяжелые химические элементы под ложем океанов формируют базальты; о). темно-зеленым цветом закрашены поверхности Земли на континентах и дне океанов, где грави-инертно представлены антиподальные центры твердых ядер ударно столкнувшихся с геоидом подобных небесных тел сформировавших современную гибридную Землю; п). светло-зеленым цветом выделены Мегаструктуры Центрального типа, пробитые ядрами ударно столкнувшихся с Землей подобных планет, масса которых составляли: Бразильской 4,0 млрд.– 0,4; Канадской 3,5 млрд. лет – 0,8; Северно Ледовитой (Арктической) 2,8 млрд. лет – 0,1; Тетиса 1,9 млрд. лет – 0,30 и Тихоокеанской 0,67 млрд. лет тому назад[7-9].

Ноосферная инженерно-геономическая модель разрез гибридного геоида (Рис.3) позволяет охарактеризовать структурные особенности сейсмопланетосферы и ее глубинное строение от геометрического центра до поверхности планеты, выше которого на высоте 80 км расположена ионосфера имеющая прогнозную связь с землетрясениями [1-9].

На рисунке 4 представлена «Ноосферная инженерно-геономическая модель латеральной по-долготной закономерности распределения, типизации и прогноза землетрясений Геоида», где выделены разными цветами:

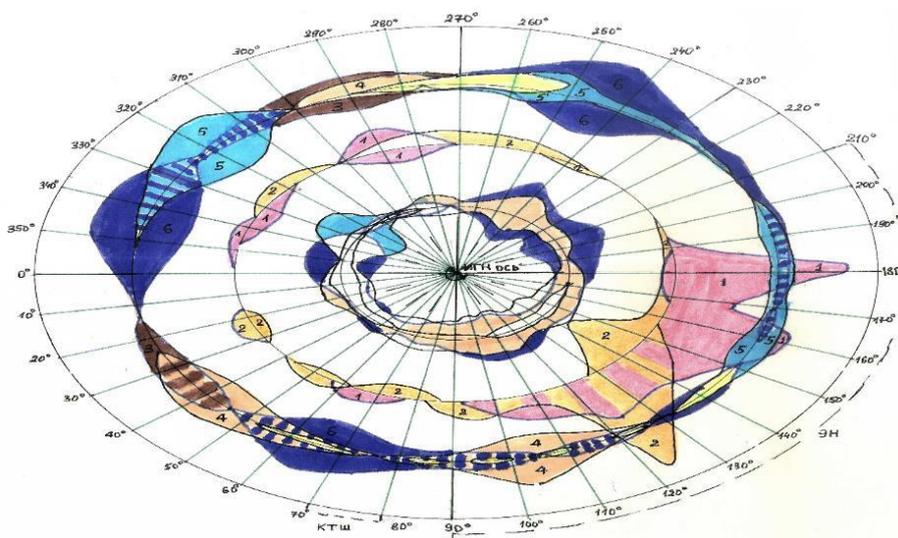


Рисунок 4. Ноосферная инженерно-геономическая модель латеральной по-долготной закономерности распределения, типизации и прогноза землетрясений на Геоиде

Интенсивности сейсмичности (закрашены в оранжевый и красный цвета) в зависимости от распределения горных сооружений на Суше (закрашены в светло-коричневый северополушарный-3 и коричневый южнополушарный-4 цвета), а горности акваторий (закрашены в голубой северное полушарие -5 и синий южнополушарные-6 цвета) Земли. Показанные поширотные закономерности распределения землетрясений на НИГ модели (Рис.7), а на рисунке 4 рассматриваются в латеральном подолготном отношении, где сильные землетрясения полюсобежного и экваторобежного направлений образуют максимальные пики их проявлений ведущих к трансформации геосфер на долготах от 100 до 185 град в.д., затем меньшие по количеству сейсмособытий, на долготах 15 град до 230 град западной долготы, и от 18 град. до 115 град. в.д.[8-10].

В сейсмопланетосфере наибольшим трансформациям землетрясениями подвергают южное полушарие Земли в долготах от 115 град до 185 град в.д. с экваторобежными пиками (1) 180 град и 160 град. в.д. Одновременно интенсивно трансформируются (2) долготы от 90 град до 160 град в.д, с экваторобежным пиком 124 град в.д. и полюсобежным пиком 144 град в.д. Именно в интервалах вышеуказанных координат получили развитие климатические глобальные планетарные явления Ла- и Эль-Нинью[1-9].

Вследствие трансформации землетрясениями сейсмопланетосферы, тектоносфера концентрирует максимальные площади развития срединно-океанических хребтов (СОХ) северополушарных (5) и южнополушарных (6) на экваторобежных и полюсобежных долготах от 10 град до 35 град. з.д. с пиком на 35 град. южном полушарии и 25 град северном полушарии, которые расположены антиподально максимальным проявлениям землетрясений планеты. Подчиненное количество полюсо- и экваторо-бежных землетрясений развито на широтах от 10 град до 130 град з.д., они связаны с гасящим эффектом сформированных горных сооружений на Суше и СОХ-Срединно-Океанических хребтов на дне океанов. Землетрясения на территории Кыргызстана являются полюсобежно-северополушарными[8-10].

Изменение количества землетрясений в течение года (рис. 5), происходит рост их количества в апреле–мае месяцах для северного полушария уменьшения количества землетрясений в южном полушарии. В сентябре месяца происходит все наоборот, прямо противоположно. Вблизи точки афелия количество землетрясений увеличивается, в перигелии – уменьшается. Количества землетрясений увеличивается вблизи точек равноденствий в южном полушарии [1-10].

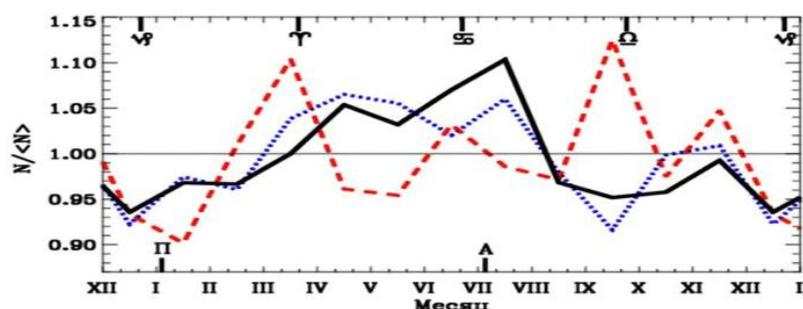


Рисунок 5. Динамика количества землетрясений в течение года $M \geq 2.5$ за 1900–2019 гг. на планете – сплошная линия, для Северного полушария ($>30^\circ$) – точки для Южного полушария ($<30^\circ$) – штриховая линия. Вверху знаками показаны дни: зимнего солнцестояния (Υ), весеннего равноденствия (\varnothing), летнего солнцестояния (\ominus), осеннего равноденствия ($\omin�$), внизу показаны даты времени прохождения Земли в точках перигелия (Π) и афелия (Α)

На рисунке бприведена «Карта катастрофоведения и ноосферной инженерной геониии расположения эпицентров и антиподальных центров твердых ядер ударного столкновения Геоида с подобными небесными телами и сейсмотомаграфия рельефа объемной фигуры твердого ядра с нанесенными границами литосферных плит Земли», перепад высоты составляет до 10 км.

Одно из самых высоких вершин твердого ядра Земли в северном полушарии занимает изначально наиболее крупное твердое ядро Геоида расположенное в Тихом океане восточнее острова Тайвань и Филипины. Другое меньшее по размеру твердое ядро планеты Тетис находится в южном полушарии близ вершины юго-западнее Австралии на границе с Антарктидой, на северо-западе от ядра Тетис, восточнее острова Мадагаскар расположено твердое ядро планеты Канадской у подножия вершины. Твердое ядро планеты Северный Ледовитый (Арктический) океан расположен на склоне северополушарного третьего по высоте горной вершины севернее Кольского полуострова. Твердое ядро планеты Бразильская расположено в южном полушарии, восточнее южной оконечности Южной Америки на границе между поднятием и опусканием рельефа твердого ядра Геоида. Ядро твердое планеты Тихий, расположен вблизи южнее экватора Земли восточнее Перу и Эквадора на самом отрицательном элементе рельефа интегрированного твердого ядра планеты. В целом объемная фигура Геоида имеет 4 высоких пика и 4 впадины и описывается геокристаллографически октаэдром[1-10].

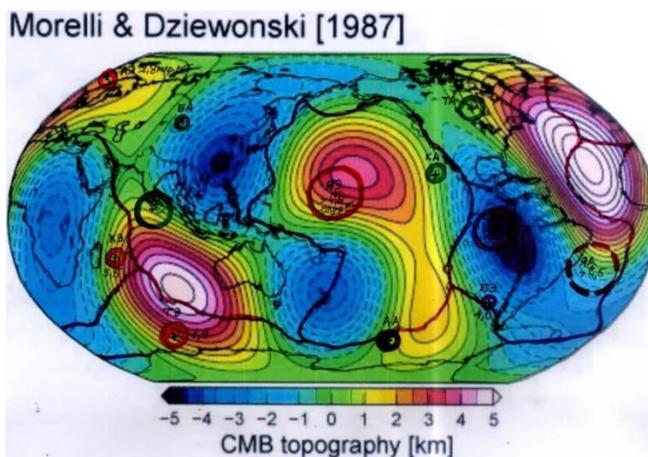


Рисунок 6. Карта катастрофоведения и ноосферной инженерной геониии расположения эпицентров и антиподальных центров твердых ядер ударного столкновения Геоида с подобными небесными телами и сейсмотомаграфический рельеф объемной фигуры твердого ядра с нанесенными границами литосферных плит Земли.

На рисунке 7 приведены серии геонм-моделей: 7-а. распределения горизонтальной и вертикальной компонент силы тяжести, а также территорий и орогенов Суши, акваторий и Срединно-океанических хребтов. На рисунке 7-б, красным цветом выделены геонмы неглубокофокусных землетрясений Суши, которые имеют 2 максимальные пики на северном полушарии и 3, т.е. в 2 раза менее интенсивные пики на южном полушарии. На рисунке (7-в) глубокофокусные землетрясения на поверхности Суше выделенные красным цветом имеют 4 максимальных пиков интенсивно трансформирующих Геоид. Глубокофокусные землетрясения при-экваториальных южных широт Земли приводят к максимальным трансформациям геосфер от сейсмокатастроф. При сравнении с рисунком 7-а, с рис.7-б и 7-в видна квазисимметрическая корреляция геонмов вертикального и горизонтального градиентов силы тяжести, с геонмами глубоко- и неглубоко-фокусной сейсмичности [8-10].

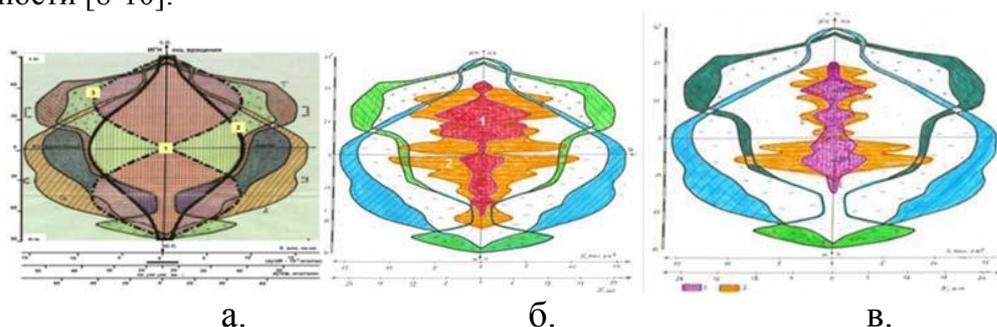


Рисунок 7. ИГН модели закономерностей распределения геонмов: вертикальной и горизонтальной силы тяжести

По данным мониторинга (Рис.8) орбитального движения твердого ядра Земли вокруг геометрического центра планеты: а. твердое ядро Земли наиболее близко оно подходит к геометрическому центру в апреле и сентябре и ядро движется по эллиптической замкнутой орбите вблизи плоскости эклиптики; б. плоскость движения ядра составляет 45° по отношению к направлению на Солнце и к направлению годового орбитального движения Земли; в. наибольшие смещения ядра от центра наблюдаются в июле—августе и в феврале, причем смещения летом превышают февральские значения; г. угловая скорость вращения ядра превышает угловую скорость вращения оболочки Земли. На геонм-модели максимальное удаление твердого ядра Земли от геометрического центра наблюдается с конца июля и до середины августа месяцев, имеет место осенний пик активизации землетрясений в Кыргызском Тянь-Шане. Наибольшее приближение твердого ядра Земли в его орбитальном вращении вокруг геометрического центра планеты под углом 45 град. к Солнцу происходит в сентябре месяце в конце августа месяца [7-10].

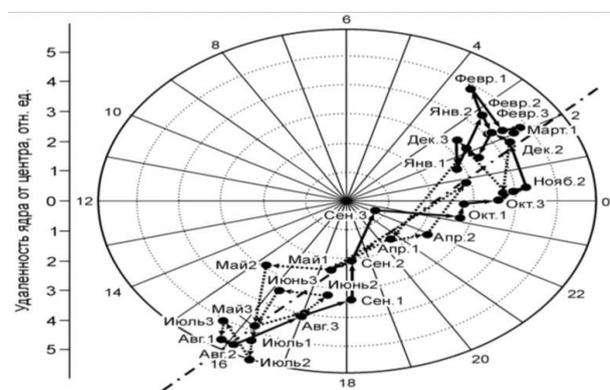
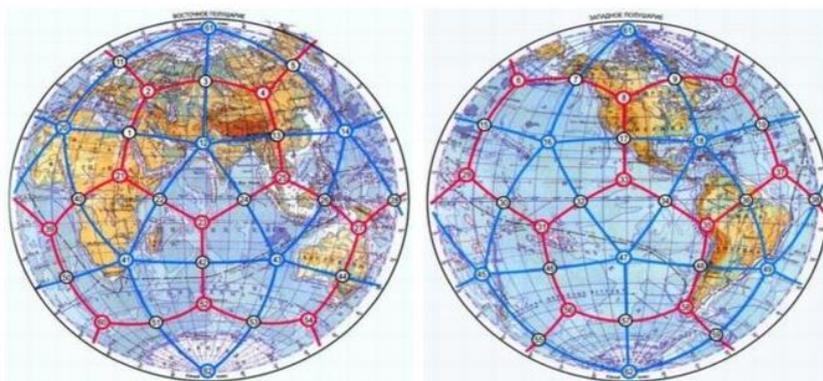


Рисунок 8. Инструментально зондированное МГР 01 С- измерениями электромагнитных импульсов из недр орбитальное вращение твердого ядра вокруг геометрического центра под углом 45 градусов к плоскости орбиты планеты Земля

Второй пик максимального удаления ядра приходится на март месяц, проявляется весенний пик активизации землетрясений. Из геонм-модели видно, что превышение количества сильных экваторобежных землетрясений на территории Кыргызского Тянь-Шаня происходит в декабре месяце, от середины января до половины марта месяцев, а также от середины марта до половины июля месяцев. Полусобежные землетрясения на территории Кыргызстана по интенсивности меньше мировых с августа по начало октября месяцев, а также с конца октября до конца декабря месяцев. Для прогноза землетрясений выявлены точки пересечения величин сейсмности Мира и Кыргызского Тянь-Шаня с линией уравнения времени [8-10].

Инструментальный мониторинг орбитального вращения твердого ядра внутри жидкой планетосферы (Рис. 9) предлагается проводить используя каркас икосаэдро-додекаэдрической структуры (ИДСЗ) Гончарова Н.Ф., Макарова В.А. и Морозова В.С. (1970- гг.) как модели Земли в виде гигантского геокристалла, где прогноз георисков от цунами и разрушительных землетрясений индуцирующих геориски будут активизироваться на гранях – противоположностях, ребрах – переходах и вершинах – отрицаниях геокристалла. Предлагается создание мировой сети мониторинга с использованием возможностей технологии искусственного интеллекта на основе многоканальных регистраторов МГР 02 С [1-10].



а. восточное,

б. западное

Рисунок 9. НИГ карты пунктов установки МГР 01 С для создания геоинтеллект- системы он-лайн мониторинга за орбитальным импульсным круглогодичным движением твердого ядра внутри жидкой планетосферы Земли.

Новое направление Инженерная сейсмогеономия, имеет тесную связь в атмосферными геосферными слоями, так например с ионосферой, где перед землетрясением из очагов готовящихся сейсмокатастроф вылетают и концентрируются супер-высокоскоростные «черенковские» электроны.

Инженерная сейсмогеономия, сопряжена с реакциями воздействия гравитационных масс и электро-магнитных полей взаимодействующих небесных тел Солнца, планет солнечной системы и Луны, в поле взаимодействия объединенных масс и энергий в свете Единой Теории Поля [1-10].

Выводы.

1. Обоснована Единая теория палеопрочности материи на примере сеймопланетосферы Геоида, многоуровневого и многоэтажного строения и, предложено новое направление инженерная сейсмогеономия.

2. В разрезе Земли выделены границы в виде 3 ДО-дренажных оболочек на различных глубинах, которые на границах их раздела георисками от землетрясений, мгновенных тектонических подвижек, вулканами плюмного-характера, движениями полигрантов в виде флюидов, с выходами на поверхность сквозь конусовидные

Мегаструктуры Центрального типа, образованными ударными планетоблемными и астероидоблемными структурами трансформируют поле палеопрочности геосфер планеты.

3. На карте сейсмотографии твердого ядра Земли, описаны особенности расположения 6 твердых ядер Геоида, которые контролируют режим и динамику формирования георисков.

4. Твердое ядро Земли сейсмотографически описывается геокристаллографическим октаэдром с 6 вершинами, 8 гранями, 12 ребрами.

5. Орбитальное вращение твердого ядра Земли вокруг геометрического центра на расстоянии до 500 км, создают грави-инертные сезонные круглосуточные и многолетние геодеформации в вышележащих планетосферах, формируют геориски, в т.ч землетрясения и Цунами, а также приводят к образованию нефте-газо-руд, эманации и дегазации из недр.

Литература

1. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 368 с.
2. Белоусов В.В., Вихерт А.В. / Под. ред. Вопросы геономии (Кора и верхняя мантия). - М.: Изд. МГУ, 1972. - 240 с.
3. Ларин В. Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. Москва: Изд. "Недра", 1980. 216 с.
4. Ежов Б. В. Морфоструктуры центрального типа Азии. Москва: Изд. "Наука", 1986. 134 с.
5. Григорьев С.М., Емцев Е.Т. Скульптор лика Земли. Изд-во «Мысль» М., 1977, 192 с.
6. Гавриленко Е.С., Дерпгольц В.Ф. Глубинная гидросфера Земли. Наукова думка, Киев, 1971, 272 с.
7. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли. // Геология и геофизика, 2009. Т. 50. №2. С. 152-172.
8. Ачкасов П.В., Усупаев Ш.Э. Гипотеза ударного преобразования планет Солнечной системы на примере Земли. Материалы международной конференции «Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе». 18-19 декабря 2000 г. Бишкек, 2000. - С. 139-145.
9. Усупаев Ш.Э. Инженерно-геономическая гидридно-полиядерная модель геоида. Теоретический и прикладной научно-технический журнал. ИЗВЕСТИЯ Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова №33. МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающей отрасли» посвященная к 80-летию академика У. Асаналиева. Издательский центр "Техник." Бишкек 2014 С. 65-71.
10. Усупаев Ш.Э. Единая теория поля палеопрочности системы «Земля-Небесные тела-Мироздание». НОВЫЕ ИДЕИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ / Труды Международной научной конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.) // Под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королёва – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. 334 с. С.155 – 165.

Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И.

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент

**НАИВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В
УЗБЕКИСТАНЕ**

В статье приведены сведения об истории развития геофизических научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений в Узбекистане. Приведены методики исследований и наиболее важные результаты исследований локальных вариаций магнитного, электрического и электромагнитного полей, связанных с сейсмотектоническими и техногенными процессами. Кратко описана «Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом».

The article provides information about the history of the development of geophysical scientific research on the problem of earthquake prediction in Uzbekistan. The methods of research and the most important results of studies of local variations of magnetic, electric and electromagnetic fields associated with seismotectonic and technogenic processes are presented. Briefly described "Instructions for forecasting earthquakes by the magnetometric method."

Хотя сейсмологические исследования в Узбекистане проводятся с 70-х годов 19-го столетия, широкомасштабные исследования по проблеме прогнозирования землетрясений начаты после разрушительного Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 года с магнитудой $M=5.3$. Землетрясение произошло в центре города на глубине 8 километров. Из-за незначительности глубины очага и плохих инженерно- геологических условий оно проявилось интенсивностью 8.5 баллов по шкале МСК-64. Многие дома старой постройки были разрушены. В том же году Постановлением Правительства в составе Академии наук РУз был организован Институт сейсмологии. Главным научным направлением Института было – разработка научно-методических основ сейсмического районирования и прогнозирования землетрясений.

В Узбекистане начиная с 1968 года, ведутся широкие исследования локальных вариаций магнитного, электрического и электромагнитного полей, связанных с сейсмотектоническими и техногенными процессами. Были созданы Ташкентский, Ферганский, Кызылкумский геодинимические полигоны. Заложены опорные и рядовые пункты, начаты эксперименты по изучению связи аномальных изменений электромагнитных параметров с землетрясениями. Эксперименты проводятся методами повторных маршрутных, площадных магнитных съемок и стационарных измерений на сети абсолютных протонных магнитометров. Проведены также стационарные наблюдения на сети станций импульсного электромагнитного излучения земной коры и вариаций кажущегося электрического сопротивления горных пород методом дипольного электрического зондирования. Исследования ведутся также путем анализа среднегодовых данных мировой сети геомагнитных обсерваторий, лабораторных экспериментов испытания магнитных свойств горных пород под давлением и температурой, по натурному моделированию процессов подготовки землетрясений в районах техногенных объектов и теоретических расчетов ожидаемых величин сейсмамагнитного эффекта [1-4].

Заложена сеть стационарных магнитометрических станций в количестве до 37. Проведены детальные исследования в эпицентральных областях ряда сильных землетрясений. В этот период выделены многочисленные аномальные изменения вариаций геофизических полей, связанных с конкретными сильными землетрясениями [1-4] (Абайбазарского, 1971г., $M=4.2$; Газлийских, 1976 и 1984 г., $M=7.2-7.3$; Исфара-Баткенского, 1977г., $M=6.0$; Таваксайского, 1977г., $M=5.2$; Алайского 1978 г., $M=6.8$; Назарбекского, 1980г., $M=5.3$; Чимионского 1982г., $M=5,8$; Папского 1984г., $M=5,5$; Джиргитальского, 1984г., $M=6,3$, Кайраккумского 1985г., $M=6.0$ и другими). Алайское землетрясение 1 ноября 1978г., было официально предсказано за несколько дней [5]. Установлено наличие надежных предвестников землетрясений с конкретными физическими параметрами - амплитуда, линейный размер, продолжительность - во времени и т.д.

В полевых экспериментах участвовали Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИР)АН, Институт физики земли (ИФЗ) АН, Институт высоких температур АН и его научные станции «Андижан» и «Бишкек», Институт

геофизики УО АН, Томский политехнический институт и сейсмологические институты Центральной Азии. По нынешним понятиям полигоны превратились в международные. Общая длина повторных маршрутных наблюдений магнитного поля составило около 7750 километров, а количество пунктов повторных измерений 1100 штук. Исследования вариаций кажущегося электросопротивления горных пород проводились в районах Полторацкого подземного газохранилища, в районе Чарвакского водохранилища, в районе Тамдыбулака, на территории Андижанского полигона ИВТАН, в эпицентре Газлийского землетрясения 1976 года [2-4]. Исследования вариаций импульсного электромагнитного излучения горных пород проводились в районе Чарвакского водохранилища, в Магнитно-ионосферной обсерватории «Янгибазар» и на стационарных станциях Андижан, Пап и в эпицентрах Газлийских землетрясений 1976 и 1984 годов [1-4].

Благодаря широкому сотрудничеству и кооперации сил и средств удалось получить уникальный в мировой практике экспериментальный материал. Основные результаты за 1968-2020 гг. опубликованы в различных статьях и обобщены в монографиях [1-5]. Здесь изложены основные результаты обобщения длительных рядов полевых экспериментов и установленных закономерностей проявления локальных вариаций электромагнитных полей сеймотектонического и техногенного характера.

Результаты лабораторных исследований влияния давления на магнитные свойства горных пород и теоретические расчеты ожидаемых величин аномальных изменений магнитного поля перед землетрясениями подтверждены натурным моделированием процессов в земной коре в природных условиях. Изучены изменения магнитного и электрического полей в связи с режимом давления в подземном Полторацком газохранилище, в Чарвакском высокогорном водохранилище и в районах газонефтяных месторождений. На этих объектах проверена методика полевых измерений магнитного, электрического и электромагнитных полей. Физическая интерпретация полученных данных показала, что магнитное и электрическое поля в условиях меняющихся давлений может изменяться не только в результате пьезомагнитного, пьезоэлектрического эффектов, но и других явлений, в том числе электрокинетических, что свидетельствует о сложности эксперимента и необходимости тщательной интерпретации.

Проведены исследования широкого спектра медленных, средне- и кратковременных вариаций магнитного поля Земли, связанных с сеймотектоническими процессами в земной коре.

Медленные изменения поля с характерными временами 10-15 лет исследованы анализом данных мировой сети геомагнитных обсерваторий и длительных измерений на полигонах Узбекистана. Показано, что по характерным размерам они разделяются на общепланетарные и региональные. Общепланетарные связаны с процессами в ядре Земли и их интенсивность доходит до нескольких десятков нТл, а региональные - с процессами в земной коре, с фазами сейсмической активизации в сеймотектонических регионах, и имеют ограниченные размеры от сотен до тысячи километров, интенсивность - до десятков нТл.

Выделены многочисленные среднепериодные магнитные эффекты, связанные с местными, близкими и удаленными сильными землетрясениями. Интенсивность аномалий - от единиц до 15-20 нТл, линейные размеры - от десятков до первых сотен километров, характерное время - месяцы, единицы лет. Установлены некоторые пространственно-временные закономерности проявления предвестников и найдены зависимости между параметрами аномальных изменений магнитного поля и землетрясений; чем больше время и линейный размер аномалий, тем сильнее магнитуда землетрясения.

Быстрые (кратковременные) изменения магнитного поля исследованы на сети более 30 стационарных прогностических станций, оснащенных протонными магнитометрами с чувствительностью 0,1-0,3 нТл. Быстрые вариации импульсного электромагнитного излучения земной коры в 1974-1976 годах зарегистрированы специальной аппаратурой, разработанной в Томском политехническом институте под руководством А.А.Воробьева, а

с 1977 года модернизированной радиостанцией Р-296. Выделены многочисленные магнитные и электромагнитные аномалии с характерным временем от нескольких суток до 2-3 недель, интенсивностью - от единиц до 10 нТл и более в магнитном поле и от нескольких десятков до нескольких сотен импульсов в электромагнитном излучении на частоте 12 кГц.

Проведены длительные комплексные геофизические наблюдения в эпицентральных зонах до, во время и после толчка крупных землетрясений:

а) выявлены аномальные изменения магнитного поля, коррелирующие с режимом выделения сейсмической энергии в процессе афтершоковой активности;

б) Обнаружено аномальное искажение бухтообразных вариаций магнитного поля в диапазоне периодов 0.5-3 часа в эпицентрах сильных землетрясений в периоды, предшествующие и сопутствующие основному толчку. Величина искажений амплитуды бухт доходила до 70-80% [4].

Установленные закономерности проявления интенсивности и пространственно-временных характеристик предвестников, выявленные связи параметров аномальных изменений различных полей с параметрами землетрясений послужили основой разработки методов прогноза места, силы и, времени землетрясений. Разработана методика использования геомагнитных данных, в комплексе с другими предвестниками, для прогноза места, времени и силы землетрясений. В результате использования методики в 1975-2022 годах службой прогноза прогнозировано более 10 сильных землетрясений с $M=5,0-7,5$. По итогам проведенных исследований разработаны более десяти способов прогнозирования землетрясений и получены авторские свидетельства и патенты.

Медленные, среднепериодные, кратковременные изменения магнитного поля и аномалии, связанные с афтершоковой активностью землетрясений, являются геофизической моделью процессов подготовки землетрясений и удовлетворительно коррелируют с известными моделями очага и подготовки землетрясений [6-8]. На основе анализа и обобщения результатов сейсмопрогностических исследований в Узбекистане с учетом аналогичных мировых данных разработана геофизическая модель процессов подготовки землетрясений [9].

Наиболее важными результатами исследования электромагнитных предвестников землетрясений в Узбекистане являются следующие.

1. На международном уровне организован длительный мониторинг вариаций геомагнитного поля, импульсного электромагнитного излучения земной коры и кажущегося электрического сопротивления горных пород.

2. Впервые в мировой практике проведены высокоточные магнитометрические измерения до, в момент и после толчка в эпицентре Газлийского землетрясения 17 мая 1976 года с магнитудой $M=7.3$. Обнаружено аномальное искажение амплитуды бухтообразных вариаций магнитного поля до 70-80 процентов в период сейсмической активизации.

3. Выделены многочисленные долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные электромагнитные предвестники землетрясений.

4. Методом повторных маршрутных магнитометрических съемок вдоль Южно-Ферганской сейсмогенной зоны выделена зона с аномальной электропроводностью земной коры.

5. Путем анализа и обобщения многолетних данных комплекса предвестников землетрясений в Узбекистане и других странах получены эмпирические зависимости между временем проявления предвестников и магнитудой землетрясений. Эмпирическая зависимость между временем долгосрочного предвестника с магнитудой выражается формулой $T = 4M - 14$ (T – в годах) и для среднесрочного $LgT_{cp} = 0.593M - 0.751$ (T в сутках).

6. На основании обобщения многолетних данных предложена Геофизическая модель процессов подготовки землетрясений [9].

7. Авторами издана специальная инструкция «Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом»[10].

В Инструкции рассмотрены вопросы выбора района исследований, применяемой аппаратуры, частоты повторных съемок, оценки точности съемки и другие методические вопросы. Полученные эмпирические формулы позволяют в периоды мониторинга комплекса параметров прогнозировать место и время ожидаемых землетрясений. Они широко могут быть использованы также при выборке землетрясений для их сопоставления с аномальными вариациями исследуемых полей. Инструкция внедрена для использования в текущей оценке сейсмической ситуации в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан.

В Инструкции приведены в виде таблиц и рисунков зависимости между временем и магнитудой землетрясений, а также между расстоянием и магнитудой ожидаемых землетрясений. В качестве примера на рис.1 приведена зависимость средних значений времен проявления среднесрочных предвестников от магнитуды землетрясений.

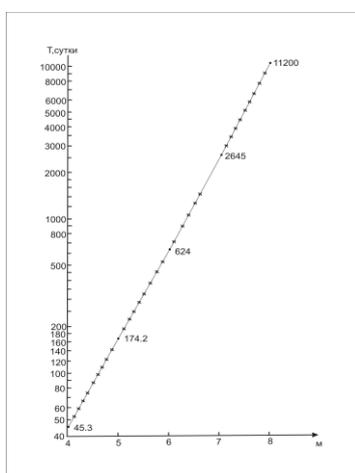


Рис. 1. Зависимость средних значений времен проявления среднесрочных предвестников от магнитуды землетрясений

На рис.2 приведена зависимость средних значений радиусов проявления предвестников от магнитуды землетрясений.

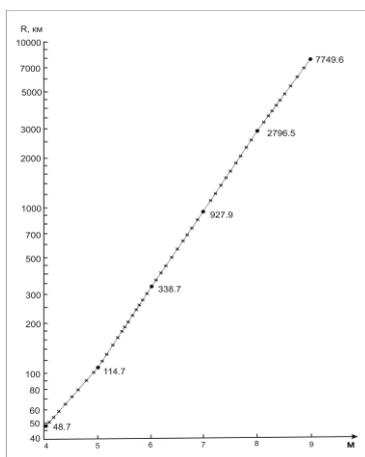


Рис. 2. Зависимость средних значений радиусов проявления предвестников от магнитуды землетрясений

В заключении отметим, что более полная информация о месте, объеме и важных результатах длительного мониторинга вариаций магнитного поля Земли на полигонах Узбекистана содержится также в недавно опубликованной в КНР статье [11].

Литература

1. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. Ташкент: Фан. 1975. 128 стр.
2. Электрические и магнитные предвестники землетрясений. /Под ред. В.П. Головкина, Ташкент: Фан. 1983. 135с.
3. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. -Ташкент, ГИДРОИНГЕО, 2002, 132 с.
4. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре // Изд-во «ФАН» УзССР, Ташкент, 1989, 132с. (Монография в 1990 году переведена на китайский язык и издана в Пекине. Она в 1991 году переведена на английский язык и издана в Нидерландах. Abdullabekov K.N. Electromagnetic phenomena in the Earth's crust. -Rotterdam: A.A.Balkema, 1991. P. 131)
5. Мавлянов Г.А., Уломов В.И., Абдуллабеков К.Н. и др. Аномальные вариации геомагнитного поля в Восточной Фергане - предвестник Алайского землетрясения 2 ноября 1978 г.//Докл. АН. 1979. Т. 246. №2. С. 294—297.
6. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Лабораторные и теоретические исследования процесса подготовки землетрясений //Иzv.АН. Физика Земли. 1974. №10. С.107-114.
7. Sholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake Prediction a Physical Basis // Science, 1973, v.181, № 4102, 803.
8. Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М., Институт Физики Земли. АН СССР. 1991. 224с.
9. Абдуллабеков К.Н. Геофизическая модель процессов подготовки землетрясений. ДАН РУз, 2008 №2, с.49-52.
10. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом. Ташкент, Минитипография АН РУз, 2019, 16 с.
11. Abdullabekov K.N, Maksudov S.Kh, Yusupov V.R. Results of Geomagnetic Studies on the Problem of Forecasting Strong Earthquakes in Uzbekistan. International Journal of Geosciences, 2023, 14, *-* <https://www.scirp.org/journal/ijg> ISSN Online: 2156-8367 ISSN Print: 2156-8359

Токтосопиев А.М., Гребенникова В.В.

Институт сейсмологии Национальной Академии наук Республики Кыргызстан

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛОМОВ СДВ – ЗОНДИРОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

Аннотация. В статье приведены результаты измерений относительного электрического сопротивления горных пород ($p_{эфф}$) СДВ-зондированием (СДВЗ) в зоне Тасминского сейсмоактивного разлома в целях определения ширины разлома.

Annotation. The article presents the results of measurements of the relative electrical resistance of rocks ($p_{эфф}$) by SDW sounding (SDVZ) in the zone of the Tasminsky seismically active fault in order to determine the width of the fault.

Известно, что геологический разлом сам может быть источником импульсного электромагнитного излучения в период сейсмической активности. Однако, для организации пунктов регистрации параметров электромагнитных полей, важно знать ширину зоны разлома (ширину его области активного динамического влияния (ОАДВР)). На сегодняшний день информация по количественной оценке ширины ОАДВР крупных разломов остается малоизученным параметром, т.е. для разломов большой протяженности

определение их латеральных границ по комплексу признаков носит всегда приблизительный характер. Один из геофизических параметров для определения их латеральных границ является изменения относительного электрического сопротивления горных пород $\rho_{эфф}$ в зоне разломов.

Нами для определения сопротивления горных пород $\rho_{эфф}$ в зоне разлома использовался один из методов высокочастотного электромагнитного поля – метод сверхдлинноволнового зондирования (ОДВЗ), который является модификацией метода радиокипы (радиокомпарирования и пеленгации), разработанного А.Г. Тарховым [1]. Метод радиокипы описан во многих литературах по электроразведке. Поэтому остановимся вкратце только на методе СДВ зондирования (СДВЗ).

В методе СДВЗ используются поля сверхдлинноволновых радиостанций, имеющих частоты 10 -30 кГц. Сверхдлинные волны имеют ряд преимуществ: увеличенную глубинность, связанную с понижением частоты, небольшое затухание поля даже при расстояниях в тысячи километров от радиостанции, малые вариации первичного поля, преобладание токов проводимости, над токами смещения практически для всех горных пород. На больших расстояниях от передатчика амплитуда поля убывает медленно, и она распространяется в виде плоской, вертикально поляризованной волны параллельно поверхности земли. Для такой волны входной импеданс полупространства Z_1 [1]:

$$Z_1 = \frac{E_z}{H_\phi} \quad (1),$$

где E_z - радиальная компонента электрического поля,

H_ϕ - горизонтальная, азимутальная компонента магнитного поля.

Измеряя Z_1 , можно определить сопротивление среды [1]:

$$r = \frac{1}{m_0 w} |Z_1|^2 \quad (2).$$

Или упрощенный вид [1]:

$$r = 60I |Z_1|^2 \quad (3).$$

Вследствие всех эффектов, возникающих по причине неоднородности геоэлектрического разреза, магнитное поле сдвинуто по фазе относительно электрического на угол ϕ .

Для волн СДВ диапазона глубину проникновения волны h , при котором волна на поверхности земли H_0 ослабевает, проникая в землю, до величины H_0 определяют по формуле [2]:

$$h \approx 0.07 \sqrt{\frac{I}{s}} \lg \frac{H_0}{H_n}.$$

Активным по [2] считается слой почвы, в котором погружающееся поле упало примерно в 5 - 6 раз, поэтому для толщины активного слоя почвы формула примет вид:

$$h \approx 0.05.$$

Но в других материалах [1 и 2] за критерий активного слоя принимают слой почвы, в котором поле затухает в 2,7 раза, а по фазе отстает на один радиан:

$$h = 0.03 \sqrt{I_0 r_{\phi a}} = 0.03 \sqrt{\frac{I}{s}},$$

где $\rho_{\phi a}$ – удельное сопротивление Ом/м.

$$h_{max} = \sqrt{\frac{2r_{\phi a}}{w m_0}} = \delta_3,$$

где δ_3 – глубина скин - слоя.

Измерения проводились на установке СДВР - 4, применяемой в геофизической разведке по методу радиокип (разработка ЦНИГРМ Мин. Гео. СССР) с полосой пропускания 170 Гц на частоте 15,1 кГц и на установке ИПИ - 300 совместно с

сотрудниками Томского госуниверситета: Поповым Л.Н., Захарченко В.Н. Регистрировались амплитуда СДВ – сигналов горизонтальной составляющей электрического и магнитного компонент. Измерения проводились при перпендикулярном пересечении Тасминского разлома (с шагом 50 м) разность фаз между E_z и H_ϕ составляющими поля и модуль импеданса Z_I , по которому находилось электрическое сопротивление среды. По $\rho_{эфф}$ можно судить об эквивалентной средней плотности поверхности пород, по ϕ – однородность поверхностного слоя. Измерения показали, что полученные результаты позволяют определить границы разлома.

Выше было отмечено, что геологический разлом сам может быть источником импульсного электромагнитного излучения в период сейсмической активности. На карте сейсмического районирования Кыргызской Республики, изданной в 2012 г., Тасминский разлом (№33) территориально расположен в 9-ти балльной зоне с возможными магнитудами будущих землетрясений от 6.5 до более 8 [3]. В непосредственной близости от границ Кыргызстана (севернее изучаемого разлома) произошли два катастрофических землетрясения – Чиликское 1889 г., $M=8$, $I_0=10$ и Кеминское (Кебинское) 1911 г., $M=8$, $I_0=10-11$, а также ряд крупных сейсмических событий с $K \geq 15$ ($M \geq 6$) рис.1.

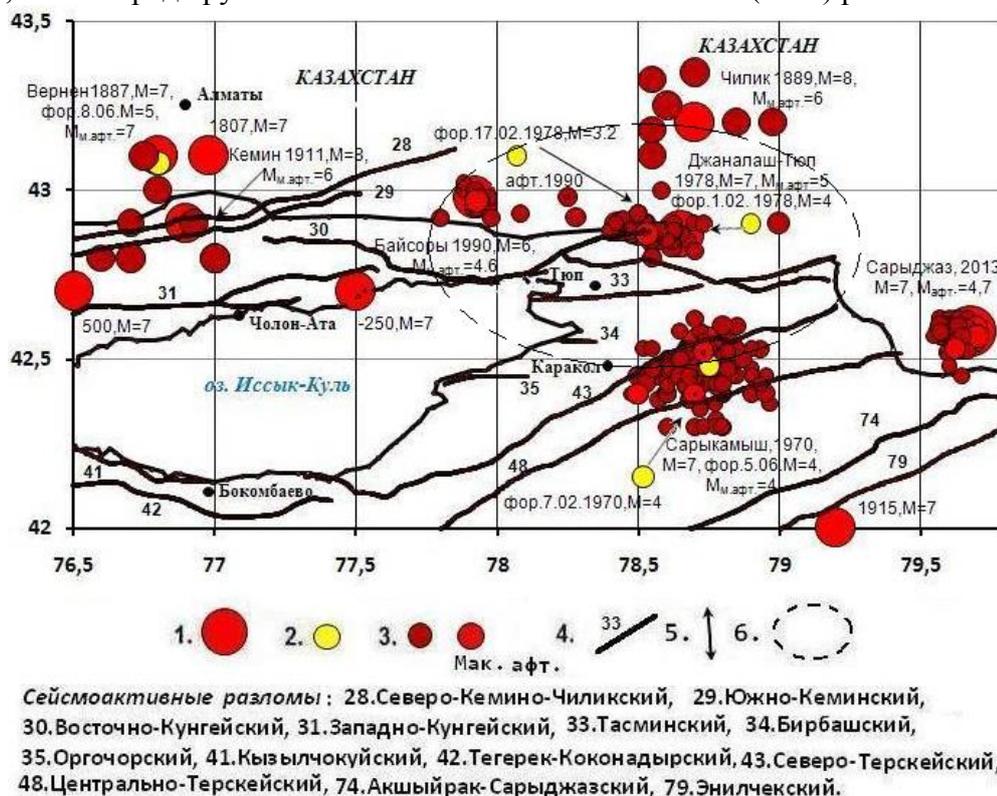


Рис.1. Карта эпицентров исторической, инструментальной сейсмичности и активных разломов Северо-Восточного Кыргызского Тянь-Шаня в пределах координат $\phi=42,00^{\circ}-43,50^{\circ}N$ и $\lambda=76,50^{\circ}-79,50^{\circ}E$: Эпицентры землетрясений (величина радиуса эпицентра отображает значение K_R) [4]: 1. с $K_R \geq 15$ - красные кружочки, 2. форшоки с $K_R \geq 8$ - желтые, 3. афтершоки с $K_R \geq 8$ - бордовые, красные - макс. афт; 4. Сейсмоактивные разломы [5]; 5. Профиль измерения $\rho_{эфф}$ и ϕ шагом 50 м при перпендикулярном пересечении Тасминского разлома (№33). 5. Область Чиликского землетрясения 1889 года, $M=8$, $I_0=10$ на территории Кыргызстана.

Как видно из рис. 1, очаговые области Чиликского 1889 г., Кеминского 1911 г., Сарыкамышского 1970 г. и Джаланаш-Тюпского 1978 г. землетрясений с $M > 7$ расположены в пределах активных разломов: Северо-Кемино-Чиликского (№28, $L=200$ км), Южно-Кеминского (№29, $L=245$ км), Восточно-Кунгейского (№30, $L=170$ км), Западно-Кунгейский (Восточный, $L=100$ км), Северо-Терекский (№43, $L=170$ км) и

Центрально-Терской (№48, $L=160$ км) характеризующихся относительно большой длиной (L) и по своей морфологии относятся к взбросам [5].

Исследованиями установлено, что разлом может считаться потенциально сейсмоопасным, если его активность протекала в течении позднего плейстоцена- голоцена, т.е. примерно 100 тыс.лет. При этом допускается, что образование разлома могло относиться к более ранним временам [6-8]. Величина возможного землетрясения пропорциональна длине активного разлома и типу подвижки по нему. При прочих равных условиях максимальная магнитуда наиболее вероятна при взбросовом типе землетрясения [9].

Тасминский разлом (№33) является южной границей Предтерской прогиба. Время заложения разлома AQ, амплитуда вертикального поднятия 400-1000 м, скорость поднятия 0,01-0,03А мм/год за P-N-Q. По своей морфологии так же относится к взбросу, сместитель которого падает в южных румбах. Глубина проникновения 5-20 км. Имеет северо-западное простирание протяженностью (L) около 150 км. Начинается от озерной ванны и прослеживается по тыловым швам среднеплейстоценовой террасы севернее перевала Санташ, параллельно подножью хребта Чубарджон [10 и 11].

К северу от Тасминского разлома, на территории, относящейся к Северо-Иссыккульской сейсмоактивной зоне, расположены очаговые области двух крупных события с $M \geq 6$ ($K_R \geq 15$): Джаналаш-Тюпского 1978 г., $I_0=8-9$ и Байсорунского 1990 г., $I_0=8$. В Южно-Иссыккульской (Терской) сейсмоактивной зоне, в которой наиболее активен Восточно-Терской участок, расположен очаг Сарыкамьшского землетрясения 1970 г., $I_0=8-9$ баллов и на территории Казахстана - очаг Сарыджазского землетрясения 2013 г., $I_0=8$.

Ретроспективный анализа многолетних данных по эпицентральному полю землетрясений и хронологического хода форшокового процесса показал, что Джаналаш-Тюпское (1978 г.) и Байсорунское (1990 г.) сейсмособытия произошли в бреши не затронутой за период около 100 лет историческими землетрясениями, т.е. в области Чиликского (1889 г.) землетрясения, где территориально расположен Тасминский разлом (рис.1).

На рис. 2 приведен пример стадии подготовки Джаналаш-Тюпского землетрясение 1978 г., $K_R=15.6$ с 6.06.1978 г., т.е. за девять месяцев до события. Фаза первичной активизации началась с концентрации эпицентров землетрясений с $K_R \geq 6$ ближе к области Чиликского землетрясения 1889 г., $M=8$ (рис. 1 и 2). С января 1978 г., за три месяца до события, южнее Восточно-Кунгейского (№30) разлома образовалось затишье, территориально охватившего очаговую область будущего Джаналаш-Тюпского землетрясения $M=8$. Однако, в краевой части затишья, так и в ее пределах отмечалось проявление землетрясений с $K_R \geq 8$, которые возможно можно рассматривать как форшоки (рис. 2).

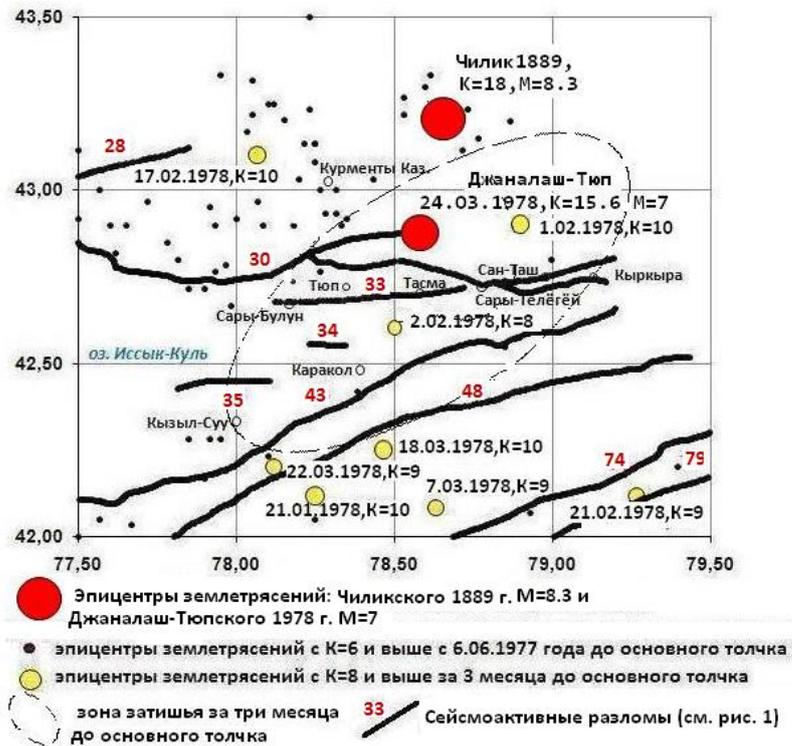


Рис. 2. Подготовка Джаналаш-Тюпского землетрясение 1978 г., M=7.

На рис. 3 приведены графики изменения $\rho_{эфф}$ и ϕ по профилю Тасминского разлома.

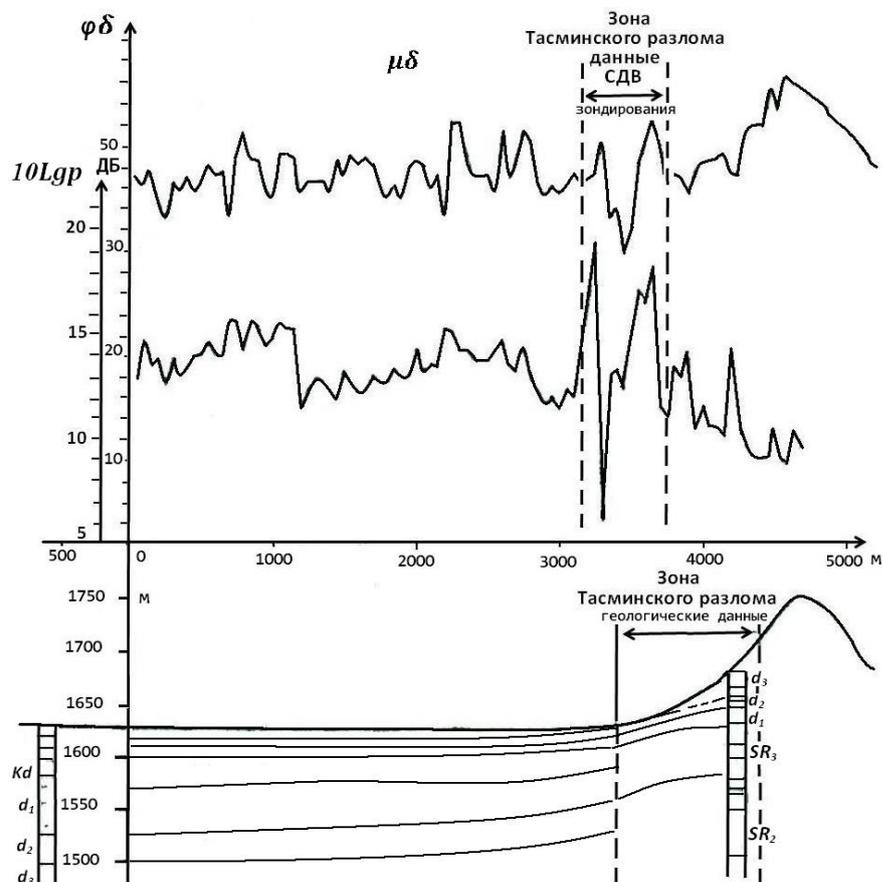


Рис. 3. График изменения $\rho_{эфф}$ и ϕ по профилю Тасминского разлома.

Измерения показали, что в зоне разлома было характерно увеличение относительного сопротивления по сравнению с общим фоновым уровнем. Параллельные исследования фазового сдвига между E_Z и H_ϕ - составляющими СДВ - сигнала, также показали изменения фазы в приграничных слоях разлома.

Определив точки с резкими изменениями значений ($\rho_{эфф}$) сдвига фаз, замерив расстояние между ними, можно с наибольшей вероятностью судить о ширине разлома. В нашем случае ширина Тасминского разлома составила 160 м, когда геологи предполагают 400 м. Повторные измерения показали устойчивость полученных результатов.

Выводы.

1. Измерения относительного электрического сопротивления горных пород ($\rho_{эфф}$) в зоне Тасминского разлома с использованием установки СДВР - 4, позволили точнее определить его ширину, и определить, что в зоне разлома характерно увеличение относительного электрического сопротивления по сравнению с общим фоновым уровнем.

2. Тасминский разлом, расположенный в сейсмоактивной зоне является одним из объектов электромагнитного мониторинга. К северу от него, на территории, относящейся к Северо-Иссыккульской сейсмоактивной зоне, расположены очаговые области Джаналаш-Тюпского 1978 г., $I_0=8-9$ и Байсорунского 1990 г., $I_0=8$. В Южно-Иссыккульской (Терскейская) сейсмоактивной зоне, расположен очаг Сарыкамьшского землетрясения 1970 г., $I_0=8-9$ баллов и вблизи него, на территории Казахстана - очаг Сарыджазского землетрясения 2013 г., $I_0=8$.

3. Для электромагнитного мониторинга сейсмической активности целесообразно применять высокоточные методы АМТЗ (аудиомагнитотеллурических зондирований). В настоящее время в источниках [10-12] показано, что результаты таких наблюдений могут быть использованы для изучения закономерностей вариаций ρ_k и выделить нестационарную часть сигнала, связанную с излучением очаговых зон.

4. Высокая точность измерений кажущегося сопротивления (не менее 1%) с использованием современной аппаратуры АМТЗ совместно E_Z и H_ϕ - составляющими СДВ - сигнала, может использоваться для мониторинга напряженно-деформированного состояния горных пород и прогнозирования землетрясений.

Литература

1. Электроразведка // Под ред. Тархова А.Г. Москва: Недра, 1979. - 400с.
2. Аузип А.К. Электроразведка. – Москва: Недра, 1977. - 350 с
3. Абдрахматов К.Е., Джанузаков К.Д., Фролова А.Ф., Погребной В.Н. Карта Сейсмического районирования территории Кыргызской Республики. Масштаб 1:1 000 000. – Бишкек. 2011; Объяснительная записка. – Бишкек. 2012. - 51 с.
4. Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Уокер Р., Фролова А.Г., Грюцнер К., Гребенникова В.В. и др. Землетрясения Кыргызстана. – Бишкек. 2022. - 205 с.
5. Абдрахматов К.Е., Омуралиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. – Бишкек. 2019. - 98 с.
6. Трофимов А.К. Новейшая тектоника района Сарыкамьшского землетрясения. – Фрунзе: Изв. АН Кирг.ССР, № 5, 1973.
7. Лемзин И.Н. Разломы Кыргызской части Тянь-Шаня. – Бишкек, Илим, 2005. - 60 с.
8. Сараев А.К., Головенко В.Б., Ларионов К.А., Смирнова Т.Е. Аппаратура аудиомагнитотеллурических зондирований АКФ-4М // Индустрия. 2003. № 3. 110 с.
9. Saraev A.K., Pertel M.I., Bakirov K.B., Larionov K.A. AMT-monitoring of seismic activity using ACF-4M system // The 6th China International Geo-electromagnetic Workshop. – Beijing, China, 7-10 Nov., 2003.
10. Saraev A.K., Pertel M.I., Bakirov K.B. Monitoring of the stress-strain state of rocks using natural electromagnetic fields of the audio frequency range // 17th EM Induction workshop. – Hyderabad, India, Okt. 18-23, 2004.

КАТАСТРОФОВЕДЕНИЕ: УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШКАЛА И КАРТЫ СЕЙСМОГЕОНОМИИ В ТИПИЗАЦИИ «УЯЗВИМОСТИ- РИСКА- ОПАСНОСТИ- ТРЕВОГИ» НА ЗЕМЛЕ

Аннотация. В статье рассмотрены прикладные и теоретические аспекты формирования материи и Мироздания с Солнечной системой и планетами от катастрофы Большого Взрыва. Впервые предлагаются составленные карты катастрофоведения и инженерно-геономии строения Мироздания, где установлено вращение Вселенной по часовой стрелке. Приведены карты ударного столкновения небесных тел как механизм образования, галактик, Солнца, планет. Демонстрируется ноосферная катастрофоведческая шкала рубежей времени от ударного столкновения с Землей иных планет и астероидных тел. Составлена Единая шкала типизации георисков в зависимости от палеопрочности полигрунтов их степени тяжести и трансформации. Новые подходы дополняют эволюционные концепции и с позиций катастрофогенеза, выявляют новые особенности развития природной среды ранее отрицаемые как не перспективные в Мире науки, однако имевшие в реалии многочисленные и обязательные проявления.

UsupaevSh.E.

Central Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek

Disaster science: a universal scale and maps of seismogeonomy in the typification of "vulnerability-risk-hazard-alarm" on Earth

Annotation. The article deals with applied and theoretical aspects of the formation of matter from the catastrophe of the Big Bang. For the first time, compiled engineering-geonomic maps of the structure of the Universe are offered, where the rotation of the Universe clockwise is established. Maps of impact collisions of celestial bodies as a mechanism for the formation of galaxies, the Sun, and planets are given. The noospheric catastrophic scale of time limits from the impact collision with the Earth of other planets and asteroid bodies is demonstrated. A unified scale for typing georisks was compiled depending on the paleo-resistance of polysoils, their degree of severity and transformation. New approaches complement evolutionary concepts and from the standpoint of catastrophogenesis, reveal new features of the development of the natural environment, previously denied as not promising in the world of science, but which in reality had numerous and mandatory manifestations.

Введение. Катастрофы, являются неотъемлемой частью развития природной окружающей среды от микромира как Большой взрыв образования Мироздания, до планетоблем и астероидоблемна Земле и множества доказательств взрыва сверх-новых звезд в космосе. В науках о Земле-Воде-Жизни как правило исследования проводились до сих пор в рамках эволюционизма, где несогласия в разрезах были тектонического характера. Скачкообразным процессам и явлениям, тем более ударным столкновениям небесных тел не придавались приоритетные значения.

Методология исследований. Методы и методологии исследования связаны с интегрированным картированием, моделированием, преобразованиям тематических, аналитических и синтезированных карт и схем в геоним-модели типизации прогноза георисков. Разработана методология катастрофоведения и ноосферной инженерной геономии в целях научного обоснования нового вводимого в науках о «Земле-Воде-Жизни» поля палеопрочности ($P_{пп}$) материи и Мироздания.

Результаты исследований. На рисунке 1 представлен разработанный ноосферно-инженерно-геономический и катастрофоведческий график зависимости между рубежами времени и частотами реакций нуклеосинтеза от Большого взрыва до ударных столкновения небесных тел от метагалактик, звезд, планет Солнечной системы и до Земли на основе Единой теории поля палеопрочности материи [1 -9]. На основе объединения серии тематических и аналитических карт: 1. микроволнового излучения, построенная WMAP; 2. видимой части Вселенной; 3. рентгеновского снимка Вселенной; 4. поляризации реликтового излучения по данным WMAP, 4. карты дипольной анизотропии реликтового излучения а красные цвета означают более горячие области, и синие цвета — более холодные области (спутник WMAP). 5. карта цветных рентген-снимков ускорения и распада материи, нагретой до сверхвысоких температур, обжигающего газа, черных дыр и взрывов звезд, где по центру проходит из-за поглощения части рентгеновских лучей темной полоской плоскость Млечного Пути, на основе дешифрирования линий разбегания галактик (Рис.1.4) красные прямые линии, впервые составлена новая интегрированная (Рис. 1) карта модель $R_{пп}$, Мироздания [7-8].

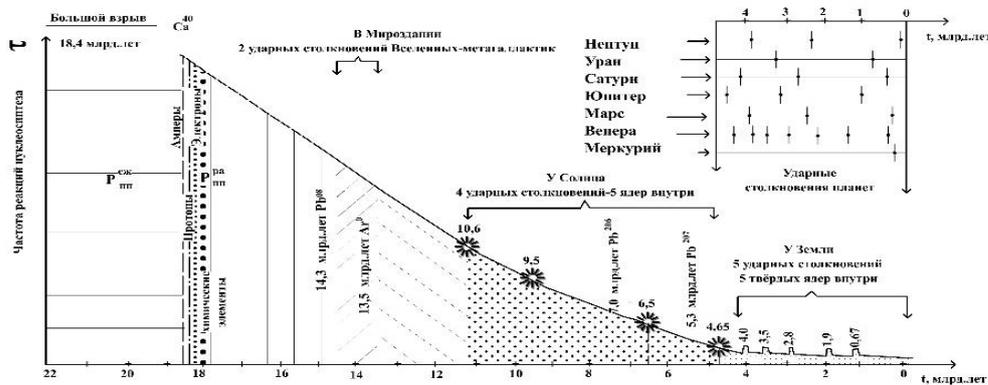


Рисунок 1. График частоты реакций нуклеосинтеза от Большого взрыва и ударных столкновений метагалактик, звезд, планет Солнечной системы, небесных тел и Земли как функции рубежей геономического времени

На рисунке 2 представлена новая карта Мироздания составленная по результатам дешифрирования, особенностей разбегания галактик, которая имеет 2 рукава и центральный овальный круг, где: НИГ ось – ноосферная инженерно-геономическая ось с вращением по часовой стрелке Вселенной, ЦВ – центр Вселенной, МП-галактика Млечный путь, С – сфера высокой светимости, А центр (A₁ и A₂) северо-полушарный двойной рукав; В центр и (В₁ В₂) южно-полушарный два рукава Вселенной; D – линии изгибов поляризации реликтового излучения; Э – экватор Вселенной, Е – границы видимой барионной Вселенной [1-9].

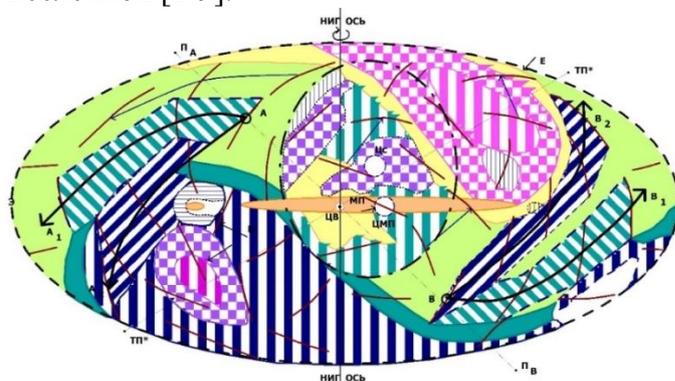


Рисунок. 2. Карта катастрофоведения и ноосферной инженерной геономии Мироздания (Вселенной) вращающейся по часовой стрелке с экваториальным местоположением галактики Млечный путь в поле палеопрочности материи

Впервые (Рис.2) выявлены указывающие на динамику развития 2 группы спиралей с направлением ее вращения по часовой стрелке, где на карте в южном полушарии Вселенной сконцентрирована холодная, в северном горячая зоны, а в сфере комфортного для зарождения жизни при-экваториальной части находится галактика Млечный путь смещенный в восточное полушарие от центра Вселенной, а Солнечная система и Земля претерпевают трансформации в поле палеопрочности материи [7-8].

На рисунке 3 приведена карта катастрофования и инженерной сейсмогеомии Земли, где объединены: а. карта эпицентров и антиподальных центров ударных столкновений Геоида с подобными планетами (твердые ядра 5 планет грави-инертно и электро-магнитно воздействуя контролируют сейсмический режим Геоида); б. карта диагональной планетарной разломно-дислокационной раздробленности и трещиноватости (красная закраска); в. карта кольцевых сейсмогенных структур; которые характеризуют часть сеймосферы на поверхности и кровле литосферы. На рисунке 4, закрашены в желтые цвет круги: планетарные сейсмо-кольцевые структуры IIII, региональные I-II Перуанский, II-III Сешельское (Афро-Мадагаскарское), III-I Индокитайское; I-A Алеутское, II-A Северо-Африканское, локальные 1-Городинское, 2- Аляскинское (Юконское), 3- Большого-Бассейна, 4-Антильское (Восточно-Карибская). Сейсмолинементы: R-R1-R-II Азовско-Индокитайско-Южно-Атлантический, RII-RIII Срединно-Атлантический. Точки- очаги землетрясений.

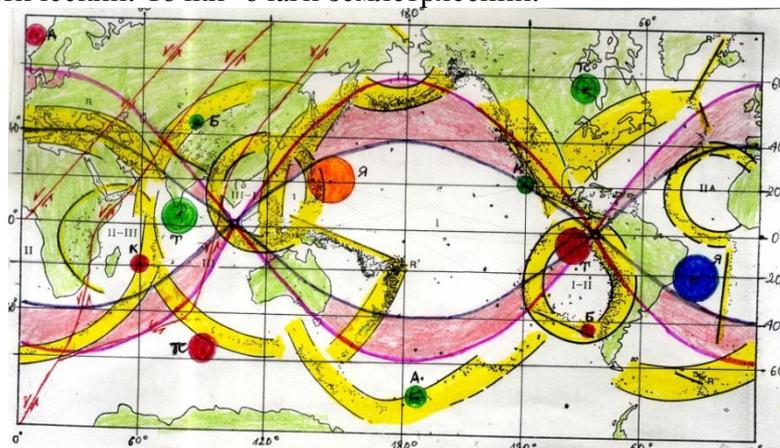


Рисунок 3. Карта катастрофования и инженерной сейсмогеомии Земли

Ударные столкновения небесных тел на примере гибридного Геоида (Рис. 3-7) позволили создать Единую шкалу рубежей геовремени. Новая НИГ-шкала дополняет с генетических позиций Международную геохронологическую шкалу времени и уточняет 3 зонами, 5 эрами: до 1-го столкновения катархейская, при 1-ом столкновении и впоследствии Бразильская от 4 до 3,5 млрд. лет – архей I, архей II Канадская от 3,5 до 2,8 млрд. лет, от 2,8 до 1,9 млрд. лет Арктическая (афебий), от 1,9 до 0,67 млрд. лет Тетис (рифей), от 0,67 до 0 лет Тихоокеанская (венд-фанерозой) [1, 12].

Планетоблемы (Рис. 4-7) красные жирные линии, а астероидоблемные границы рубежей времени выделены тонкими красными линиями. Красные кружочки возраста ударных столкновений планет с Землей в млрд. лет в левой части шкалы времени и, астероидоблемные образования красные стрелки с возрастами столкновений небесных тел с Геоидом в млн. лет справа шкалы времени. Геовремя образования планетарных оледенений зеленые точки и линии на шкале, из-за запыления атмосферы от ударных столкновений небесных тел и перекрытия поступления солнечных лучей на поверхность Земли ведущей к великим оледенениям Земли выделены 19 рубежей. Геовремя металлогенических импульсов фиолетовые точки и линии на шкале выделены 8 наиболее крупных рубежей [7-8].

На (рис. 4-7) приведены усовершенствованные и существенно дополненные 6-планетоблемами, 48 астероидоблемами (еще 19 не включены из-за загруженности шкалы),

геохронологические стратиграфические разрезы.

Составлена впервые интегрированная с Международной геохронологической шкалой ноосферная инженерно-геономическая и катастрофоведческая новая шкала рубежей и времени ударных столкновений Геоида с иными планетами и астероидами.

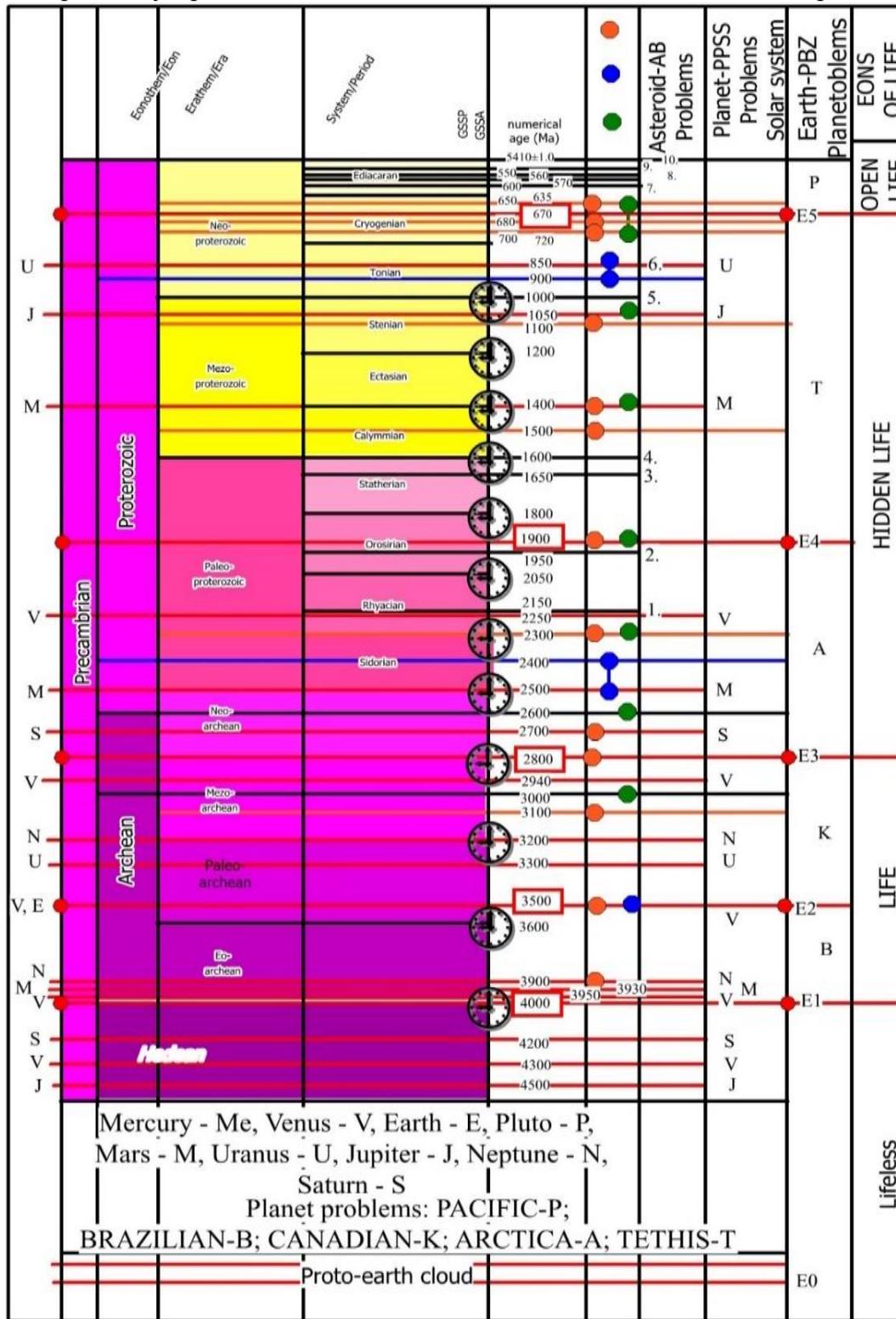


Рисунок 4. Шкала рубежей геовремениноосферной инженерной геономии и катастрофоведения, уточненная и усовершенствованная космо-механизмом ударного столкновения небесных тел с Землей [1-9]

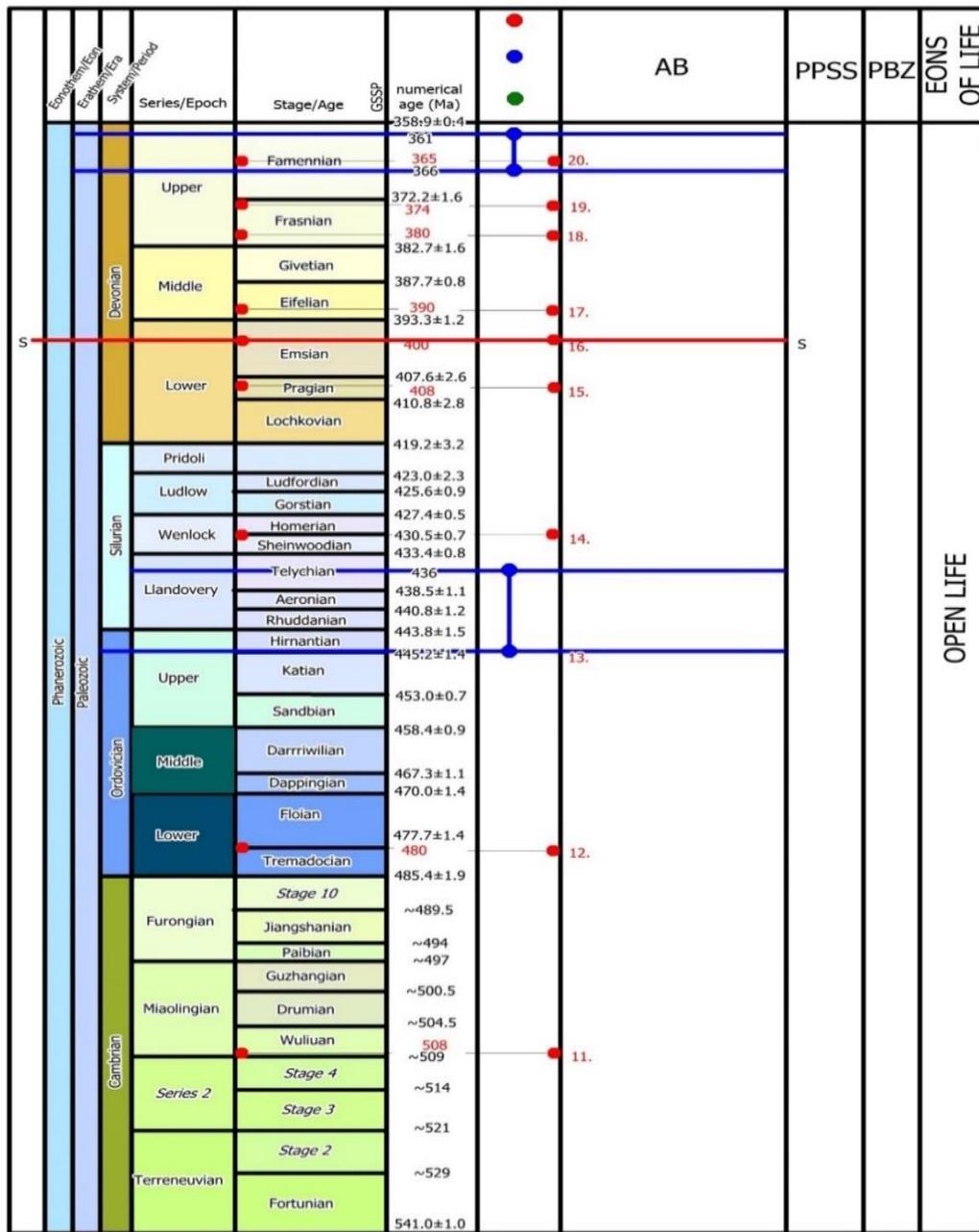


Рисунок 5. Шкала рубежей геовремениоосферной инженерной геологии и катастрофоведения, уточненная и усовершенствованная космо-механизмом ударного столкновения небесных тел с Землей [1-9]

НИГ шкала геовремени позволяет уточнить датировки возрастов, определить природу: а. океанизации, б. оледенений, в. всемирных потопов, г. металлогении, д. магнетизма, е. гранитизации, и. базальтизации, ж. горообразования, з. экзогенного механизма тектоники, к. нефте-газо-руд, л. истории жизни на Земле, м. изначальной гидридности планет земной группы.

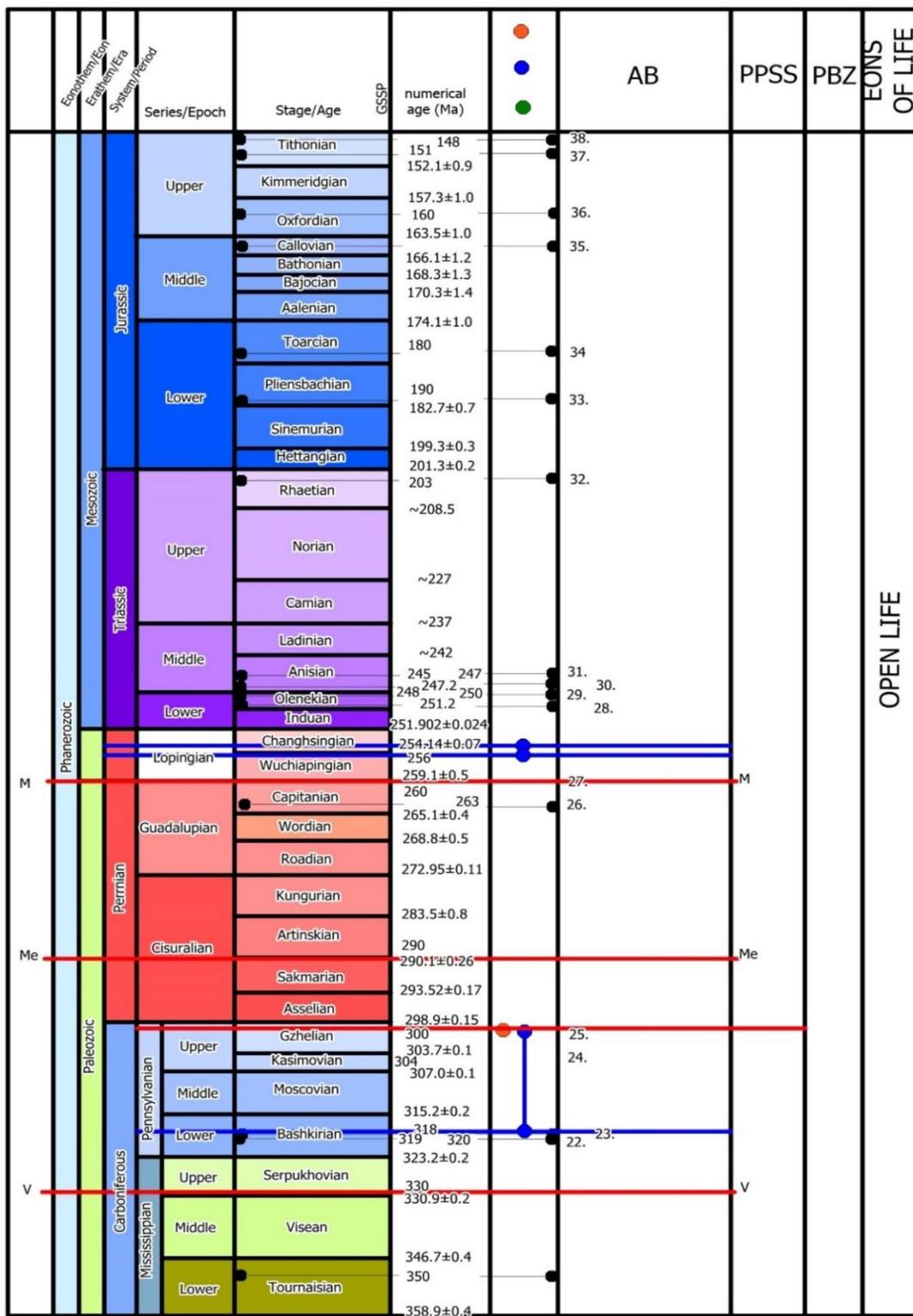


Рисунок 6. Шкала рубежей геовремениноосферной инженерной геологии и катастрофоведения, уточненная и усовершенствованная космо-механизмом ударного столкновения небесных тел с Землей [1-9]

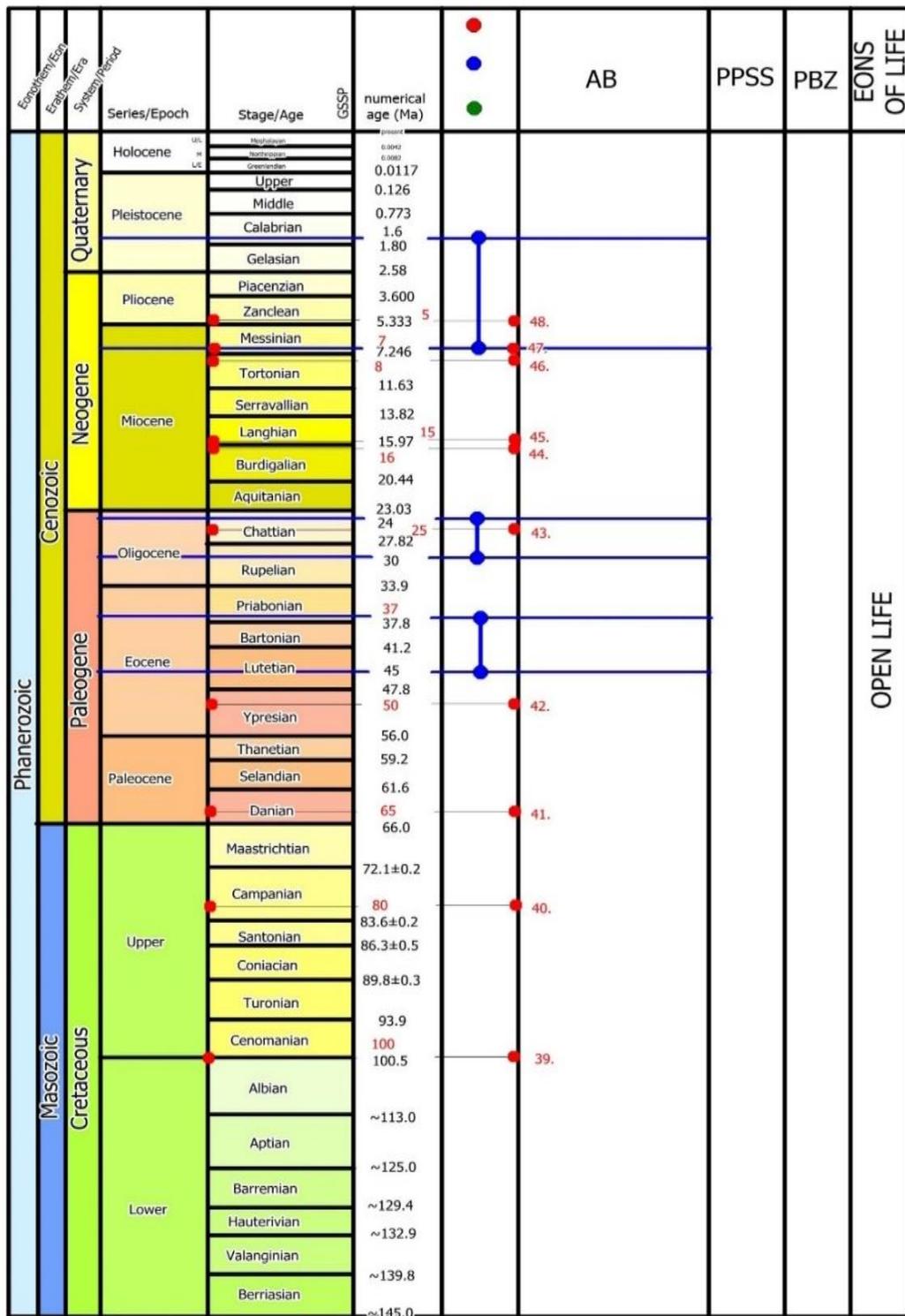


Рисунок 7. Шкала рубежей геовремениоосферной инженерной геонтии и катастрофоведения, уточненная и усовершенствованная космо-мехнизмом ударного столкновения небесных тел с Землей [1-9]

На рисунке 8 приведена генерализованная впервые «Единая шкала типизации георисков в зависимости от палеопрочностиполигрунтов их степени тяжести и трансформации», где по абсиссе-горизонталы приводятся характеристики «уязвимости-рисков-опасности-тревоги», взаимосвязанные количественно и качественно по ординате-вертикали с инженерно-геономическойпалеопрочностьюполигрунтов ранжированных на 12 подразделений.

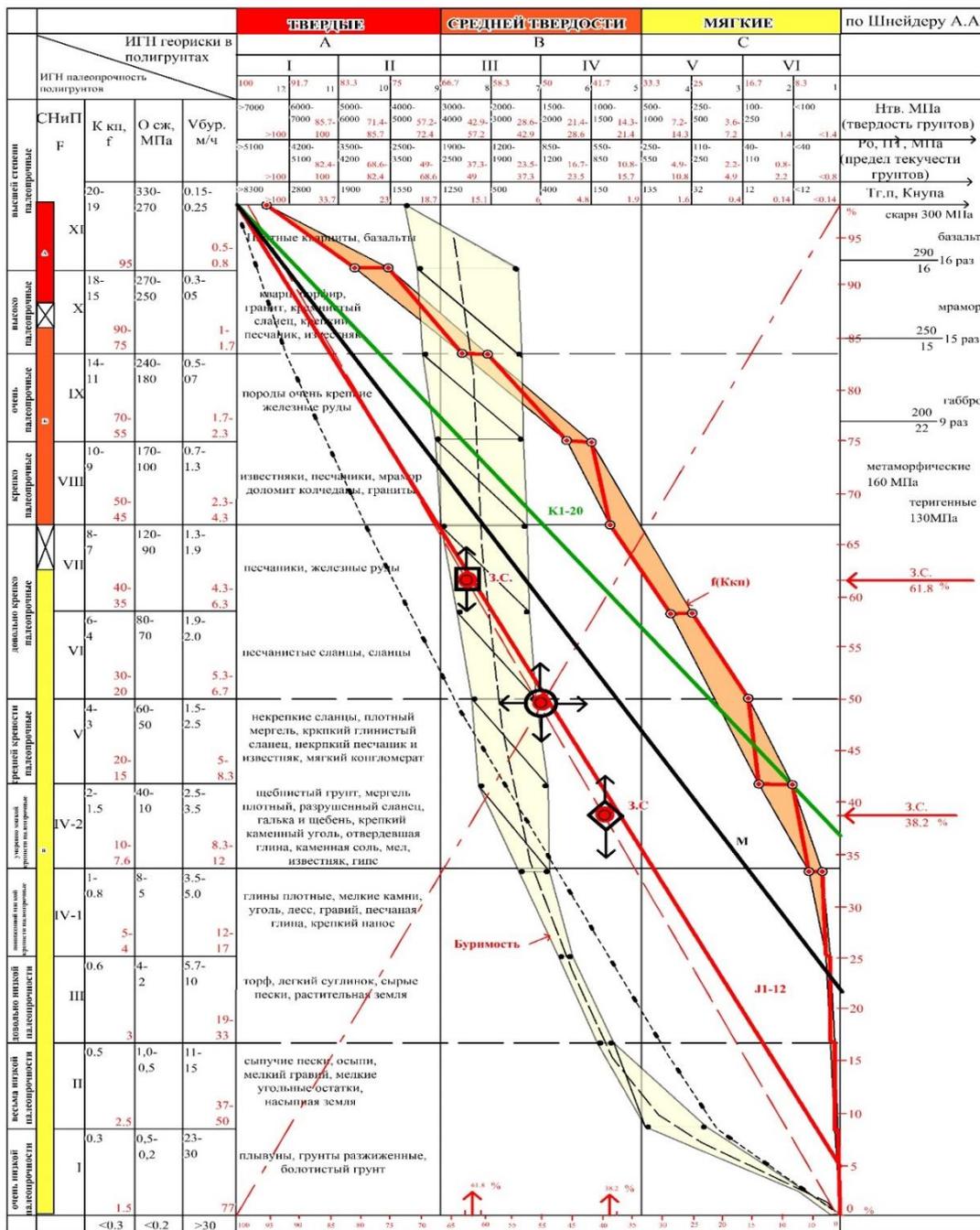


Рисунок. 8. Единая шкала типизации «уязвимости- риска- опасности-тревоги» георисков в зависимости от палеопрочности полигрунтов их степени тяжести и трансформации

Единая шкала типизации георисков с палеопрочностью полигрунтов имеет связь с шкалами оценки землетрясений по К, М, J и позволяет идентифицировать систему сейсмогеологии в типизации «уязвимости- риска- опасности-тревоги» на Земле по степени тяжести и выявлять причинно-следственные характеристики их трансформации во времени.

Выводы.

1. Предлагаемая **Единая теория поля палеопрочности** Мироздания, интегрирует воедино науки о Земле-Воде-Жизни на базе выявленной природы космомеханизма катастроф от ударных столкновений в генезисе Геоида и планет Солнечной системы, по методологии ноосферной инженерной-геономии, где палеосейсмическая атмосфера сопровождала формирование Земли.

2. Впервые доказательно введены в практику и теорию комо-, астрономо-, геонómo-, и геовремени реальные границы их рубежей от столкновения и ударного-генезиса, дешифрированием 5 плането- и 67 астероидоблем, что позволило существенно уточнить Международную геохронологическую шкалу Мира (МШГМ) и ее усовершенствовать, где имеет место планетарные палео–мощные супер-землетрясения, сопряженные с вергентным вулканизмом и мгновенной взрывной сеймотектоникой.

3. Составленная впервые «Единая шкала типизации георисков в зависимости от палеопрочностиполигрунтов, их степени тяжести и трансформации» сопровождается одновременно сравнительными оценками сейсмичности по их К-классу, М- магнитуде, J- интенсивности, что позволяет выявлять закономерности распространения, оценивать, типизировать и прогнозировать геориски природного, техногенного и экологического характера, в т.ч. современные и древние землетрясения. К- чувствительна до крепости грунтов IV-2, М-III, J- наиболее чувствительна и универсальна до крепости I.

4. Столкновения ударные между собой на резонансных орбитах, сблизившихся до противостояния небесных тел, планет, астероидов с Землей в геолого-геономическом времени в поле палеопрочностипланетосфер Геоида, приводили к вулкано-металлогеническим импульсам, трансформации планетосфер, формированию нефте-газород коптогенетического характера.

Литература

1. Вернадский В.И. Философские книги натуралиста. Проблема Времени, Пространства и Симметрии. - М.: Наука, 1988. - С. 210-296. - С. 438-448.

2. Белоусов В.В., Вихерт А.В. (под ред.) Вопросы геонómии (Кора и верхняя мантия). Изд. МГУ, 1972, 240 с.

3. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 368 с.

4. Яншина Ф. Т. О появлении и первоначальном толковании термина «ноосфера» // Вестник РАН. 1994. № 11. С. 1016—1022.

5. Сергеев Е.М., Друянов В.А. Человек и геологическая среда. М.: сов. Россия, 1986. 80 с.

6. Трофимов В.Т. “Экологические функции литосферы” М.:1997, 432 с.

7. Ачкасов П. В., Усупаев Ш. Э. Гипотеза ударного преобразования планет солнечной системы на примере Земли. //Материалы международной конференции: Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе. Бишкек: Изд-во МЧС КР, 2004. С. 138 – 145.

8. Усупаев Ш.Э., Ачкасов П.В. Инженерно-геономическаяпалеокатастрофия образования объемных фигур планет (на примере геоида Земли). Материалы международной конференции по геодезии и геоинформатике по программе Европейской Комиссии ТЕМПУС. КГУСТА, Бишкек, 2007, С. 160 – 163.

9. Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204. URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2015-01.pdf>. International Commission on Stratigraphy www.stratigraphy.org

Фремд А.Г., Гаипова А.Б., Талгарбаева Д.Н.

Институт Сейсмологии, пр.Аль- Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан

СОЗДАНИЕ КАРТ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СЕЙСМООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА ЦМР SRTM (на примере Северо-Тянь-Шаньского региона)

Аннотация. На примере двух сейсмоопасных регионов Северного Тянь-Шаня (Алматинского и Жамбылского) проиллюстрированы особенности распределения и свойства параметров плотности линеаментов с последующим построением карт геодинамической активности. Выполненные построения на основе линеаментного анализа ЦМР SRTM доказали

свою эффективность в решение задач регионального геодинамического районирования.

Summary. On the example of two seismically hazardous regions of the Northern Tien Shan (Almaty and Zhambyl), the distribution features and properties of lineament density parameters are illustrated, followed by the construction of maps of geodynamic activity. The constructions based on the lineament analysis of the DEM SRTM proved their effectiveness in solving the problems of regional geodynamic zoning.

Введение. Линеаментный анализ космических снимков, получивший широкую известность благодаря работам Златопольского А.А. [4], Бондура В.Г. [1], Копылова И.С. [5] и др. может быть успешно использован для целей формализованной оценки и разработки карт геодинамического районирования с ранжированием исследуемой территории на области, различающиеся степенью относительной геодинамической активности. Было установлено [5], что одним из важнейших расчётных показателей геодинамической (неотектонической) активности является плотность разломов, мегатрещин и других линеаментов, выраженная их суммарной протяжённостью на единицу площади. Поэтому параметр «плотность штрихов» взят за основу таксономического разделения исследуемой территории на области по степени тектонической нарушенности земной коры. Сеть линеаментов отражает не только структурно блоковую делимость литосферы, но и её современное напряжённое состояние, проявляющееся в различной ориентации систем разрывов, характеризующих современную геодинамическую активность различных масштабов – от планетарной до локальной. Таким образом, применение линеаментного анализа космических изображений обеспечивает комплексность и системность, как необходимых составляющих решения задач выявления зон геодинамической активизации и, в частности, на территории Тянь-Шаньского сейсмоактивного региона.

Характеристика разломной тектоники Северо-Тянь-Шаньского региона. Территория Северо-Тянь-Шаньского региона - это обширная область современных геодинамических процессов, расположенная в границах $[(67-75)^\circ$ в д. и $(39-43)^\circ$ с.ш.], которая по времени образования относится к палеозою. Считается, что позднекайнозойский орогенез Тянь-Шаня обусловлен коллизией Индостанского континента с Евразией. Кинематика активных разломов и данные GPS свидетельствуют о том, что направление горизонтального сжатия Тянь-Шаньского региона в это время было близко к меридиональному [12]. Разломная тектоника Жамбылской и Алматинской областей исследования охарактеризована роза-диаграммами направленности, построенным по данным ЦМР SRTM и [7]. Сопоставление диаграммы направленности, построенной для 453 разломов, выделенных по ЦМР SRTM в Жамбылском секторе Северо-Тянь-Шаньского региона с диаграммами, приведёнными в работе [9] даёт основание предполагать, что большая их часть может быть отнесена в категорию активных, то-есть таких, подвижки по которым происходили в недавнем прошлом и поэтому возможны в ближайшем будущем [13]. Анализ распределения всех выявленных по ЦМР SRTM разломов (745 шт.) для Алматинского сектора показал, что доминирующим и статистически значимым является субширотное направление простирания порядка 75° . Именно с этим направлением ассоциируется большинство выделенных элементов разломной тектоники, которое совпадает с простиранием современных геодинамически активных разломов и соответствует основному простиранию горных хребтов в этом регионе. Хотелось бы подчеркнуть, что, по мнению авторов работы [15] Северный Тянь-Шань претерпевает интенсивное сжатие в север-северо-западном направлении, что и соответствует субширотному простиранию хребтов, впадин, разломов и других элементов строения. Но вместе с тем он «находится в условиях вертикального расширения, проявляющегося как воздымание земной поверхности» [15]. Такое соотношение сил внешнего воздействия неизбежно порождает неоднородности деформационного поля и

движений земной коры, наталкивающих на вывод о существовании движущихся с разными скоростями блоков земной коры, которые «взаимодействуя между собой, меняют свое положение и деформируются» [15]. Характеристика таких блоков подробно рассмотрена в работе [11]. Для полноты характеристики природы сейсмичности региона отметим, что по результатам комплексных геофизических исследований в строении земной коры Тянь-Шаня выявлена особенность – «существование в ее составе двух частей: верхней — хрупкой, толщиной 16—25 км и нижней — пластичной толщиной 30—35 км» [14]. Наблюдения за гипоцентрией очагов показали, что очаги землетрясений с $M \sim (2.5 - 4.5)$ происходили на глубинах 5—25 км, т.е. практически все землетрясения регистрируются в хрупком слое земной коры [14]. А собственно сама природа сейсмичности объясняется строением верхней мантии – существованием на срезе, глубиной 67 км (пограничная зона кора/мантия) областей разуплотнения, которые и стали главной причиной интенсивного поднятия этих горных систем. По мнению авторов работы [13] плюмы и связанные с ними внутримантийные течения являются источником левосдвиговых смещений по субширотным разломам.

Характеристика направленности и плотности линеаментов на территориях регионов

Цель настоящего исследования – разработка и верификация карт региональной геодинамической активности на основе линеаментного анализа ЦМР SRTM среднего пространственного разрешения территорий Жамбылской и Алматинской областей Северо-Тянь-Шаньского региона.

Методика обработки и построения карт. Преимущество ЦМР по сравнению с оптическими снимками состоит в том, что в анализе участвуют только элементы рельефа и исключены яркостные аномалии, обусловленные другими источниками (растительность, техногенные объекты), а значит, нет ошибок в оценке наличия структур иного направления [5]. С целью выбора варианта, наиболее контрастно подчёркивающего системы известной разломно-блоковой делимости Северо-Тянь-Шаньского региона на карты были наложены известные линии разломов. Для их обработки и построения использовался стандартный набор программ линеаментного анализа: ПК «CATALIST» («GEOMATICA»), ArcGIS, а также авторские программы. Параметры обработки подбирались опытным путём, т.е. субъективно. Это радиус поиска – 5 км и минимальная длина штриха (разлома), – 2 км. Как уже было отмечено выше, для построения карт геодинамической активности использовался параметр плотности линеаментов, который в контексте отождествляется с плотностью разломов, мегатрещин, выраженных в их суммарной протяженности на единицу площади и может быть использован как один из показателей геодинамической активности [5].

Жамбылский регион. В качестве исходных данных использовались материалы радарной топографической съемки (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) первого уровня (Level-1) с разрешением 30 метров, что приблизительно соответствует топооснове масштаба 1:100 000. В результате обработки ЦМР SRTM построены карты распределения линеаментов, которые в дальнейшем были преобразованы в карты плотности с последующим построением розы-диаграммы направленности. Анализ карт показал, что распределение линеаментов по площади можно назвать разнонаправленным и однозначно не характеризующим безусловно и детально раздробленность земной коры. Можно скорее утверждать о различной пространственной организации и картировании структурных особенностей рельефа. Но вместе с тем, интегральная составляющая их распределения и простираемые линии разломов, безусловно, коррелируют между собой. По существу, области высоких значений плотности могут указывать на присутствие регионального разлома или его элементов, а также способствовать выявлению кольцевых структур и

формированию оценки блоковой делимости литосферы и даже ряда других её свойств, связанных с кинематикой и НДС. Поэтому, распределение линеаментов следует рассматривать как набор систем, отражающих внутренние закономерности тектонофизического строения и состояния объекта исследований [6]. Диаграмма направленности свидетельствует, что выявленные линеаменты хотя и отражают доминирующую направленность известных разломов, но вместе с тем, на ней присутствует меридианальный максимум и статистически представительные разнонаправленные элементы, которые в совокупности могут характеризовать раздробленность коры региона. И здесь полезно рассмотреть распределение линеаментов, а точнее показателя их плотности в связи с сейсмичностью, а также их роль в выявлении скрытых разломов, которые не картируются на земной поверхности. Связь между плотностью разломов, их активизацией и расположением очагов землетрясений была ранее рассмотрена в ряде работ для различных регионов [2, 8 и др.]. Показано, что проявления сейсмичности наиболее вероятны там, где имеет место высокая плотность разломов. И даже, более того, - установлена прямая корреляционная зависимость между плотностью разломов и магнитудой. Но вместе с тем, отмечается, что раздробленная среда не в состоянии накапливать значительные напряжения, необходимые для возникновения сильных землетрясений и характеризуется в основном слабыми, но частыми проявлениями сейсмической активности [2].

Территория региона характеризуется многочисленными эпицентрами низкой магнитуды порядка $M=4.0-6.0$, которые покрывают всю площадь, но в большей степени тяготеют к зонам повышенной плотности линеаментов и связанным с ними разломами. Такая энергетика сейсмичности может свидетельствовать о высокой раздробленности коры региона и возможном существовании скрытых мелких блоков, испытывающих разнонаправленные подвижки с последующей разрядкой низких напряжений. Сильные землетрясения возникают на границах крупноблоковых структур и приурочены к зонам средней повышенной плотности [2]. Структуризация (соотношение) зон высокой плотности линеаментов и известных проявлений сейсмичности могут быть более очевидны, если рассмотреть соотношение плотности узлов их пересечения и распределение эпицентров. Установлено, что узлы пересечения линеаментов высокой интенсивности в основном хорошо коррелируют с линиями известных разломов. Но в отдельных случаях это не очевидно и может быть объяснено раздробленностью и разнонаправленностью блоковых смещений. Распределение эпицентров не противоречит этому выводу, но визуально проиллюстрировать прямую зависимость затруднительно из-за их массовости и скупенности. Хотя в целом, можно утверждать, что соотношение эпицентров и узлов пересечения линеаментов свидетельствует, что проявления сейсмичности в известной степени связано с участками умеренной и относительно высокой плотности узлов пересечения. Этот показатель можно считать условно необходимым признаком геодинамической активности как разломов, так и тех структурных элементов, которые попадают в зону их геодинамического влияния. Из сделанных замечаний по распределению плотности следует, что линии региональных разломов находятся в хорошем качественном соответствии с простираем значений аномальной плотности линеаментов и их, в первом приближении, можно использовать в качестве индикатора обнаружения разломов с учётом известных геолого-геофизических данных.

Длина линеаментов, их плотность и связь с землетрясениями. Если говорить о линеаментах, как о разрывах сплошности коры, то следует учитывать, что на магнитуду землетрясения влияет именно длина линеамента [3]. То есть относительная сила землетрясений зависит от степени раздробленности коры (длины разлома) и поэтому представляется необходимым рассмотреть соответствие этого показателя для Северо-Тянь-Шаньского региона. Ведь по существу это картирование разноранговых линеаментов, как

проекции глубинных разломов на земную поверхность в их связи с сейсмичностью. В результате построений выяснилось, что дифференциация линеаментов различной длины по площади отсутствует. но в целом преобладают линеаменты длиной 1-3 км. Их плотность значительно превышает плотности других групп и особенно группы 5-20 км. Хотя последние, фактически, представлены повсеместно. И, следовательно, эпицентры землетрясений и плотностные аномалии сохраняют пространственное подобие. Отсюда следует вывод, что крупные и повсеместно распространённые, но менее представительные по количеству разломы, могут играть значительную роль в проявлениях геодинамической активности региона.

Характеристика карт плотности линеаментов по секторам направленности.

Построение карт плотности для линеаментов разной длины позволило выделить направления, представляющие интерес с точки зрения оценки территориальной зональности возможного проявления сейсмической активности. С учётом доминирующих направлений, проявленных на диаграммах были определены сектора и построены соответствующие карты плотности на основе базовых карт плотности и плотности узлов пересечения для линеаментов длиной от 2 км. Распределения значений плотности линеаментов, полученные для субмеридионального (0-10)⁰ и субширотного (90-100)⁰ направлений показали, что основной вклад в распределение линеаментов по площади при длине линеаментов от 2 км связан с субмеридиональной направленностью. Линеаменты субширотной направленности доминируют в южной части Северного Тянь-Шаня. Если снова обратиться к длине, то нужно отметить, что линеаменты субширотной направленности длиной от 3 км и более не вносят существенного (количественного) вклада в общую картину плотности распределения линеаментов и тем самым снижают сейсмогенный потенциал сильных землетрясений в регионе. Хотя не учитывать их, разумеется, нельзя. Отсюда вытекает, что сейсмическая активность в регионе обусловлена преимущественно линеаментами длиной до 3 км, формирующими основную и, как уже упоминалось выше, мелкую разломно-блоковую структуру.

Алматинский регион. ЦМР SRTM Алматинского региона была обработана для выделения линеаментов и построения карт плотности и плотности узлов пересечения. Анализ распределения всех выявленных по ЦМР SRTM линеаментов (3418 шт.) показал, что доминирующим и статистически значимым является субширотное направление простирания порядка 75⁰. Именно с этим направлением ассоциируется большинство выделенных элементов разломной тектоники которое совпадает с доминирующей направленностью разломов. Но, вместе с тем, достаточно большое количество линеаментов связано с другим, в том числе субмеридиональным простиранием. Так же, как и для Жамбылского региона расчёт карты плотности линеаментов осуществлялся для штрихов, превышающих по длине 2 км. Результаты выполненных расчётов показали что зоны геодинамической активизации связаны с участками наибольшей плотности. Это подтверждается положением эпицентров всех наиболее крупных землетрясений. Как известно [2], высокая плотность линеаментов связана с зонами пересечения разломов, которые в свою очередь отражают геодинамическую активность участков разрывных нарушений. Установлено, что проявления сейсмичности в регионе в известной степени связано с участками умеренной и относительно высокой плотности узлов пересечения. Этот показатель можно считать условно необходимым признаком геодинамической активности как разломов, так и тех структурных элементов, которые попадают в зону их геодинамического влияния. Но, как уже выше упоминалось, энергия землетрясения в определённой степени зависит от длины, связанного с ним разлома, что подтверждается графиками, приведёнными в работе [3]. В ней же утверждается, что «увеличение общей плотности разрывов снижает энергетический класс контролируемых землетрясений» [2]. То есть, относительная сила землетрясений зависит от степени раздробленности коры

(длины разлома) и поэтому представляется необходимым рассмотреть соответствие этого показателя для Алматинской области Северо-Тянь-Шаньского региона. На представленных ниже картах показано распределение плотности при условной длине штриха (разлома) 2, 5, 10 и 15 км (рисунок 1).

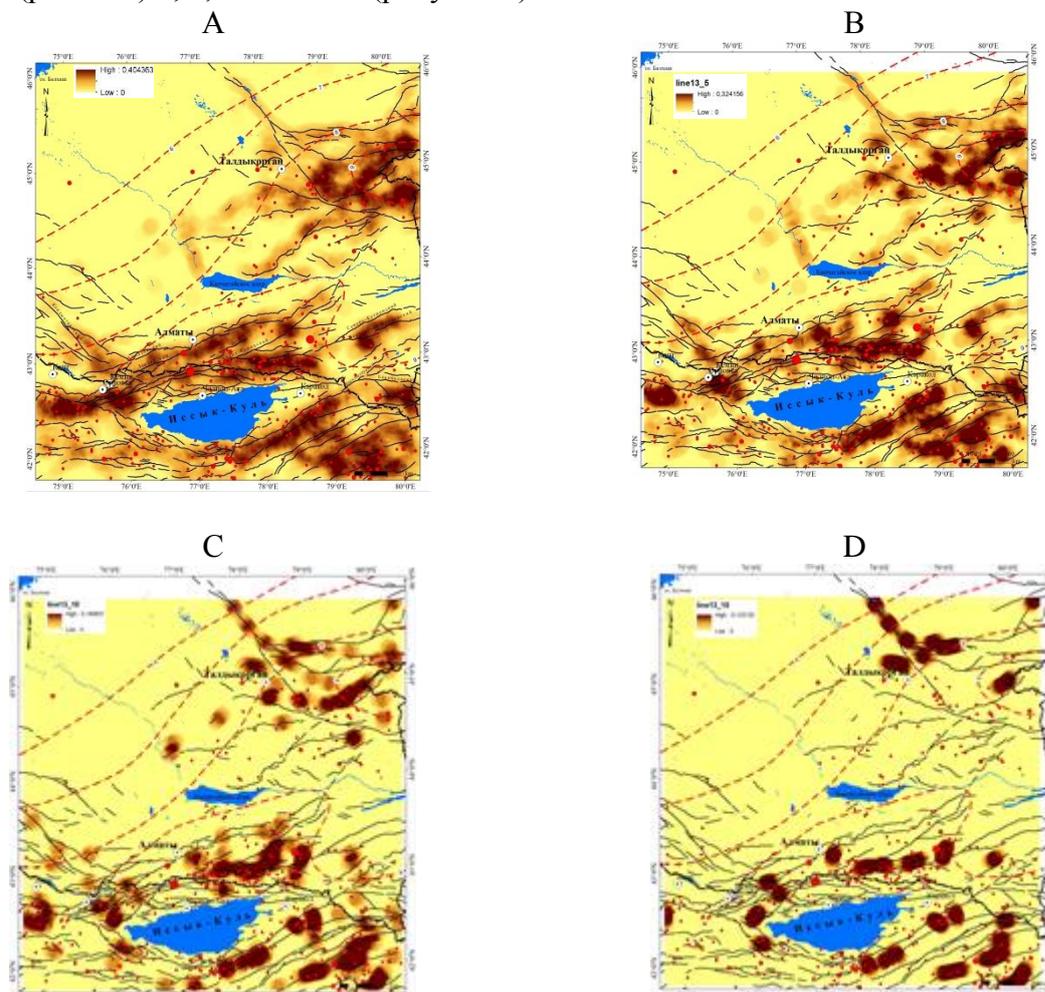


Рисунок 1. Карты распределения значений плотности линеаментов для условных длин разломов (в км): 2- А; 5- В; 10- С; 15- D.

При рассмотрении рисунка 1 необходимо отметить два момента. Первое - это то, что территория Алматинской области, в отличие от Жамбылской, достаточно резко дифференцирована по значениям рассматриваемого параметра, а, следовательно, и по возможной сейсмогенности. И второе – это достаточно убедительное соответствие распределений большего числа эпицентров и зон значений повышенной плотности, связанных с крупными разломами. Вместе с тем нельзя не отметить одну особенность. Эпицентры землетрясений энергетического класса порядка 7, находящиеся вблизи г. Алматы не попадают ни в одну из отмеченных зон (Рисунок 1 С, D). Эта особенность, по-видимому, обусловлена структурно-тектоническим положением этого участка разлома, на котором не происходит разрядки напряжений, связанных с малоамплитудными межблоковыми подвижками, сопровождаемыми слабыми, но частыми землетрясениями [2]. Особенности строения этой зоны, по-видимому, таковы, что здесь происходит накопление напряжений, сопровождаемого неизбежной перегруппировкой блоков и переходом системы в состояние нового геодинамического равновесия [3]. И этому участку территории, по-видимому, следует уделить более пристальное внимание в плане оценки НДС. Таким образом, подтверждается представление о том, что интенсивное дробление геологической среды не способствует накоплению тех напряжений, которые генерируют

сильные землетрясения [2]. Таково общее положение, у которого, безусловно, могут быть свои специфические особенности в проявлении сейсмичности.

Характеристика карт плотности линеаментов по секторам. Задача настоящего раздела - показать возможность районирования по направлениям в связи с сейсмичностью – предварительной оценкой зон геодинамической активизации. Предварительное районирование территории Алматинской области Северо-Тянь-Шаньского региона по степени геодинамической активизации выполнено на основании распределения узлов пересечения линеаментов, которые по существу фиксируют не только области наибольшей плотности разнонаправленных разломов, но и их связь с преобладающими в том или ином секторе направлениями основных тектонических нарушений и эпицентров известных землетрясений. С учётом розы-диаграммы был сформирован набор карт распределения узлов пересечения по секторам, дающий наглядное представление о местонахождении зон геодинамической активизации и связанных с ними активными разломами той или иной направленности. Так в секторе (0-37)^о узлы пересечений формируют криволинейно вытянутую область, проходящую в непосредственной близости к г. Алматы, но характеризующуюся землетрясениями относительно малой магнитуды (4-5). А эпицентры сильных землетрясений находятся как бы в области «сейсмического затишья». Вместе с тем, можно видеть, что эпицентры сильных, близлежащих к г. Алматы землетрясений, связаны с разломами, находящимися в секторе (140-180)^о. Здесь же находится вытянутая в субширотном направлении область, контролирующая землетрясения низкой магнитуды юго-восточного сектора. Вместе с тем, эпицентр сильного, но относительно удалённого от Алматы землетрясения расположен в секторе (0-37)^о. Приведённый пример свидетельствует не только о связи очагов землетрясений с зонами высокой плотности узлов пересечения линеаментов, которые в свою очередь характеризуют сейсмически активные разломы, но и, главное, ретроспективно показывает степень геодинамической опасности разнонаправленных разломов. Это обстоятельство нужно учитывать при расчётах степени сейсмической опасности, связанной с направлением сил внешнего воздействия на те, или иные участки земной коры.

Карты региональной геодинамической активности территории Северо-Тянь-Шаньского региона.

В соответствии с методологией районирования территории по степени геодинамической активности, предложенной А.С Копыловым [5], был выполнен анализ ЦМР SRTM с построением карт линеаментов для Северо-Тянь-Шаньского региона и их последующего ранжирования по показателю плотности, выраженной в их суммарной протяжённостью на единицу площади.

Жамбылский регион. На рисунке 2 представлена карта региональной геодинамической активности для территории Жамбылской области. Согласно предложенной методологии рельеф и линеаменты выступают как форма отображения модели геодинамической активности, поддающейся ранжированию с последующим преобразованием в соответствующие карты – от стабильной до высоко активной (Рисунок 2). При ближайшем рассмотрении выполненных построений можно отметить, что все высокоактивные области находятся в зонах геодинамического влияния региональных разломов. В первую очередь выделяется Таласо-Ферганский разлом и его продолжения в виде отдельных фрагментов, находящихся в южной части Тянь-Шаньского региона. Как правило все высокоактивные и активные зоны подтверждаются расположением эпицентров слабых землетрясений. Например Кендыктасский разлом, находящийся в активной зоне, также отмечен большим количеством эпицентров. Сам город Тараз расположен в зоне умеренной активности на стыке двух активных зон и через него проходит изосейста 8 баллов. Но значительная часть территории по степени

геодинамической активности характеризуется как «стабильная» и «повышенная». Вместе с тем вся южная и фланговые зоны региона – это области характеризующиеся как «активная» и «высоко активная», которые пересекаются многочисленными разломами, разной степени активизации.

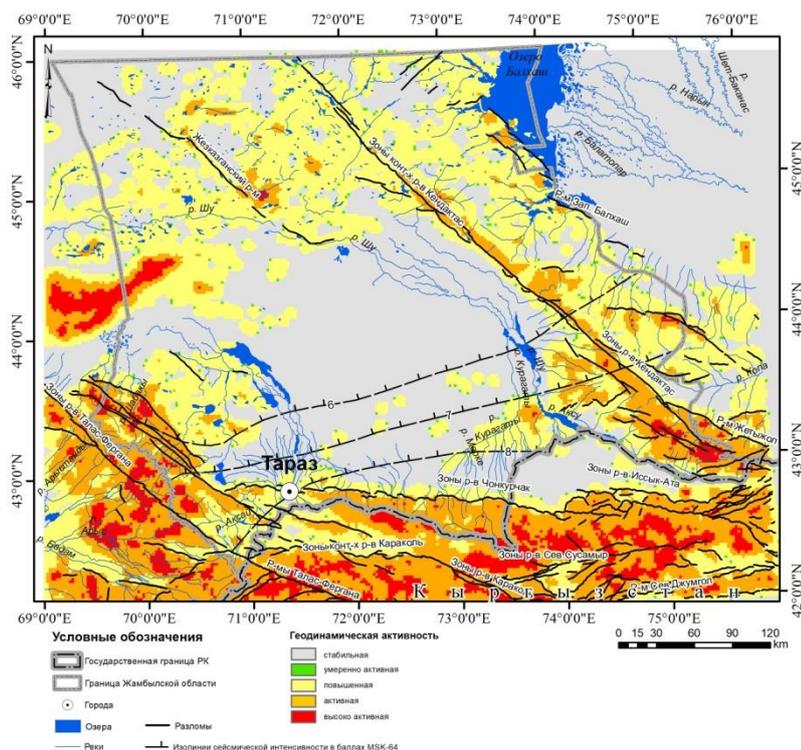


Рисунок 2. Карта региональной геодинамической активности Жамбылского региона

Если опираться на мнение авторов работы [9] и карту распределения эпицентров, то можно предположить, что все новейшие движения связаны с мелкоблоковыми подвижками без образования новых крупных современных разрывов. То-есть геодинамическую активность региона в целом можно назвать умеренной с некоторыми проявлениями активности в зонах скрытых разломов. Верификация построенных карт с картой «Типизации Жамбылской области по морфологическим условиям формирования геодинамических процессов» показало, что фрагменты зон высокой активности соответствуют областям активных контрастных новейших движений и новейших поднятий. Таким образом, если рассматривать линеаменты, как показатель раздробленности коры, то, как было установлено ранее [3, 19], эпицентры землетрясений тяготеют к зонам повышенной плотности разломов. Причём чем выше плотность, тем выше магнитуда. Но здесь нужно принимать во внимание, что раздробленная среда не в состоянии накапливать большие напряжения и их разрядка сопровождается слабыми, но частыми землетрясениями. В рассматриваемом регионе по определению [9] все геодинамические процессы малоактивны и связаны с известными региональными разломами. Но вместе с тем, многочисленные эпицентры малой магнитуды указывают на то, что сейсмичность региона обусловлена мелкоблоковостью и движениями по скрытым, их разделяющим разломам. Таким образом, анализ плотности линеаментов позволил выполнить районирование территории региона по степени геодинамической активности. Полученные карты дают наглядное представление о распределении геодинамически-активных зон (ГАЗ) к которым относятся участки с высокой трещиноватостью, отличающиеся высокой контрастностью относительно фона. Крупные ГАЗ имеют сложное мозаичное строение. Для оценки степени достоверности полученных результатов

выполнена верификация, подтвердившая основные выводы о распределении ГАЗ в Жамбылской области.

Алматинский регион. При рассмотрении выполненных построений (рисунок 3) можно отметить, что все высокоактивные области вблизи г. Алматы находятся в зоне геодинамического влияния Чилик-Кендыктасского разлома.

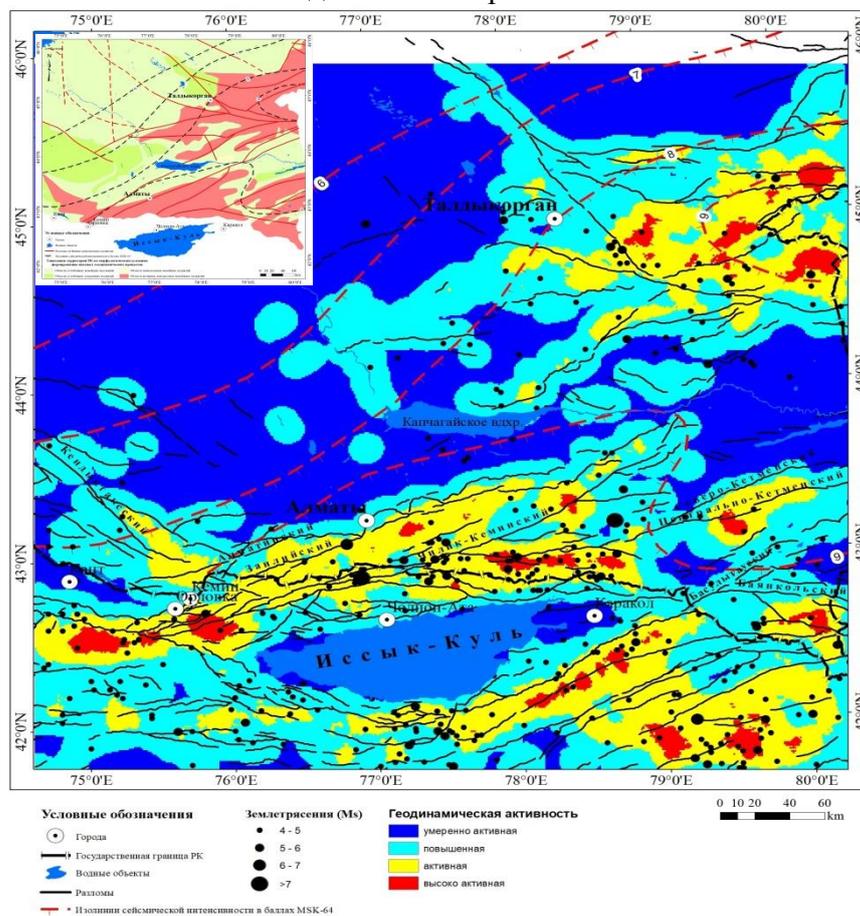


Рисунок 3. Карта геодинамической активности Алматинской области

На рисунке 3 выделяются и другие объекты, которые также требуют пристального изучения проявлений сейсмичности. Для повышения степени достоверности сделанных построений и следующих из них выводов о региональной сейсмичности была привлечена карта «инженерно-геологического районирования Казахстана по условиям формирования опасных геодинамических процессов» (В.П. Бочкарев, С.А. Новицкий и т.д., 2004, М 1:2 000 000) - см. врезку на рисунке 3. Сопоставляя ее с картами геодинамической активности можно сделать вывод, что участки, выделенные как «активные» и «высоко активные» соответствуют областям значительных новейших поднятий. Там же находятся и области наиболее высокой геодинамической активности (рисунок 3). Из вышеизложенного следует, что линеаментный анализ регионального уровня генерализации позволяет установить основные особенности распределения эпицентров в их связи с распределением значений параметра плотности элементов разломно-блоковой делимости в Алматинской области. Выполненное районирование Алматинского региона позволило установить местоположение, как зоны сейсмического затишья, так и зон повышенного сейсмического фона. В целом, всё это даёт основание считать, что линеаментный анализ ЦМР SRTM позволяет проводить объективную оценку сейсмичности территории, достоверность которой подтверждена сейсмологическими и другими данными наземных наблюдений.

Закключение. Линеаментный анализ регионального уровня генерализации позволил установить основные особенности геодинамики регионов - Жамбылской и Алматинской

областей на современном этапе. Выполненное ранжирование и построение карт геодинамической активности регионального уровня генерализации можно считать показательными по двум позициям. В методическом плане опробована технология по использованию спутниковых данных для решения задач регионального геодинамического районирования территорий сейсмоопасных регионов. Причём, предложенные варианты расчётов в целом дают представление и о других методических возможностях использования спутниковых снимков в решении задач сейсмологии. С другой стороны, получены результаты, дающие независимое представление о геодинамике геологической среды с построением соответствующих карт ранжирования территорий по степени потенциальной геодинамической активности. Предложенные варианты районирования и их характеристики не могут и не должны ограничиваться представленными картами. Они являются основой для проведения детального тектонофизического анализа геодинамической обстановки, в том числе с использованием НДС.

Работа выполнена в рамках Программы «Усовершенствование научно-методической технологии прогнозирования сильных землетрясений на сейсмоопасных территориях Республики Казахстан по данным комплексного наземно-космического мониторинга» на 2021-2023 г.г.

Литература

1. *Бондур В.Г., Кузнецова Л.* Космический мониторинг геодинамики сейсмоопасных территорий с использованием метода линеаментного анализа. Proceed. of 31st Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, St. Petersburg, 2005
2. *Шерман С.И., Злогодихова О.Г., Демьянович В.М.,* Плотность разломов, её влияние на сейсмический процесс и флюидную проницаемость литосферы. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. № 5 (31), 2000 – С. 68-77.
3. *Гольдин С.В.* Макро- и мезоструктуры очаговой области землетрясения. Физическая мезомеханика 8 1, 2005, С. 8-14
4. *Златопольский А.А.* WinLESSA Версия 3.3.2: руководство пользователя. –2011.–30с.
5. *Копылов И.С.* Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов
 - i. с применением дистанционных методов: дис. ... док. геолого-минералогических наук:
 - ii. 25.00.36 / Пермский государственный национальный исследовательский университет.
 - iii. – Пермь, 2014. – 351 с.
6. *Твертинова Т.Ю.* Линеаменты как отражение структурного каркаса литосферы (Линеаменты — разломы или фантомы?) Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. Т. 4. Вып. 1 • 2013, Специальный выпуск СИСТЕМА ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ
7. Геологический институт РАН. Лаборатория тектоники и современной геодинамики.
 - i. Описание базы данных активных разломов Евразии
 - ii. http://neotec.ginras.ru/index/database/database_04.html
8. *Ващилов Ю.Я., Калинина Л.Ю.* Глубинные разломы и линеаменты и размещение эпицентров землетрясений на суше северо-востока России. ж. «Вулканология и сейсмология», 2008, № 3, 19-31.
9. *Буртман В.С.* Системы разломов в верхней коре Центрально-Азиатского складчатого пояса Известия высших учебных заведений Геология и разведка 2020;63(1) С. 8-18
10. *Буртман В.С.* Дизъюнктивные дислокации в верхней коре Тянь-Шаня. ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2019, том 484, № 3, с. 316–319
11. *Абдрахматов К.Е., Джанабилова С.О.* Новейшая разломно-блоковая структура северного Тянь-Шаня и сейсмичность. Вестник Института сейсмологии НАН КР №1(7), 2016. С.8-16.
12. *Буртман В.С.* Тянь-Шань и Высокая Азия: геодинамика геодина в кайнозое. М.: Геос,
 - i. 2012. 187 с.
13. *Трифонов В.Г., Зеленин Е. А. и др.* Активная тектоника Центральной Азии. ГЕОТЕКТОНИКА, 2021, № 3, с. 1–18.
14. *Тычков С.А., Кучай О.А. и др.* Природа современных деформаций коры Северного

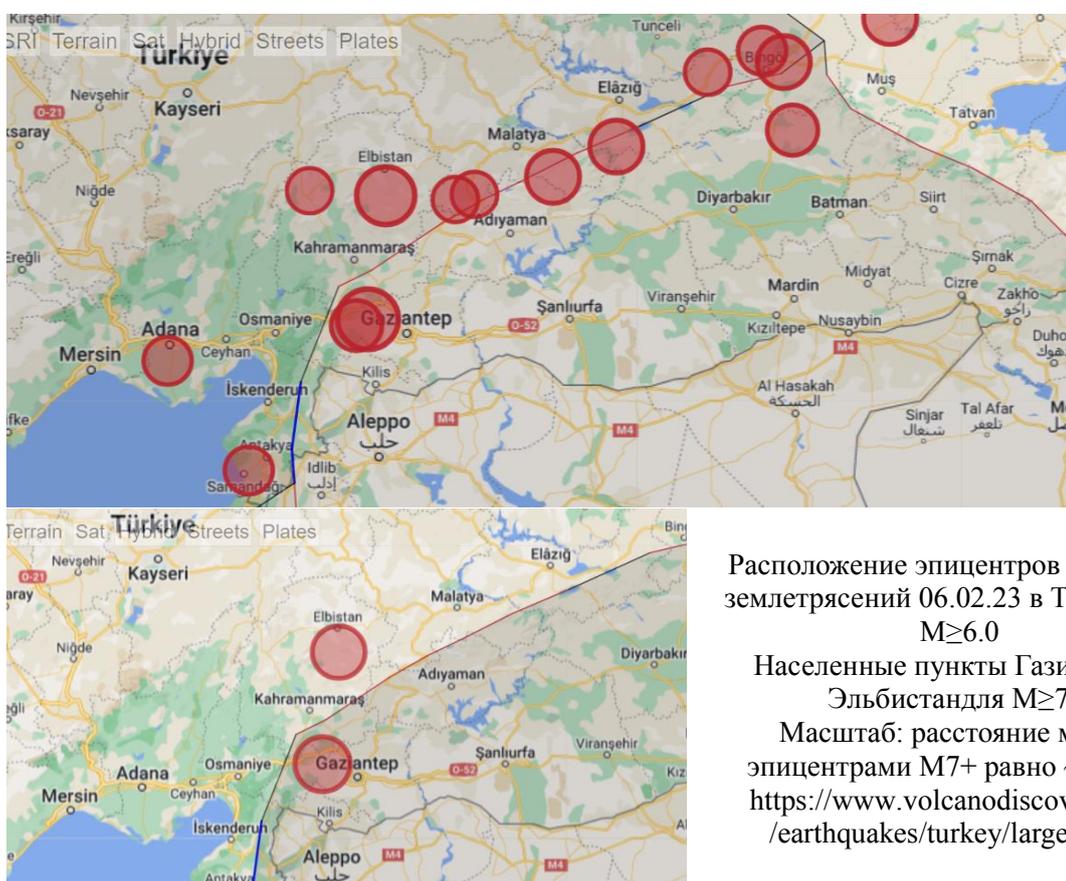
Тянь-Шаня. (геодезические и сейсмологические данные). Геология и геофизика, 2008, т. 49, № 4, с. 367—381

15. Костюк А. Д., Сычева Н. А. и др. Деформация земной коры Северного Тянь-Шаня по данным очагов землетрясений и космической геодезии. ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2010, № 3, с. 52–65

Хайдаров М.С.
ТОО «Казахмониторинг»

ДУПЛЕТ РАЗЛОМОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АНАТОЛИЙСКОЙ ПЛИТЫ

Как известно, 06.02.23. произошло два сильнейших землетрясения $M7.8$ и 7.6 на Анатолийской плите у границы с Арабской плитой с разницей во времени около 9 часов. Это были сильнейшие землетрясения региона за последние 80 лет. «Однако оба землетрясения были сильнее, чем любые ранее зарегистрированные в этом регионе. Землетрясения 1893, 1872, 1822 и 1513 годов, например, достигли оценочной магнитуды $7,0-7,5$ » [1].



Расположение эпицентров основных землетрясений 06.02.23 в Турции для $M \geq 6.0$

Населенные пункты Газиантеп и Эльбистан для $M \geq 7.0$

Масштаб: расстояние между эпицентрами $M7+$ равно ~ 100 км.
<https://www.volcanodiscovery.com/earthquakes/turkey/largest.html>

Рисунок 1. Обзорная карта региона

В практике исследований автора парные землетрясения все же бывали, но чаще с разницей в несколько секунд или меньше. Например, Жаланап-Тюпское 1978 г. с магнитудой 6.6. Возможно, это связано с мгновенной релаксацией напряжений сразу после первого толчка и откликом среды на ближних расстояниях в несколько длин очага – поэтому разница в секундах или даже менее. В этом же случае 9-часовая разница говорит, на наш взгляд, о взаимодействии больших объемов среды. Например, это могут быть взаимодействия больших разломов.

Очевидно, что Восточно-Анатолийский разлом длиной 550 км, где произошло первое основное землетрясение М7.8, является доминирующим на юго-востоке Анатолийской плиты. Второе М7.6 (7.5?) произошло на примыкающем к нему, рангом ниже, разломе. Это широтный разлом Сургу (Эльбистан). И его простирание имеет широтное направление судя по достоверным открытым источникам [2].

Для анализа взаимодействия разломов нам понадобится наша механическая сейсмотектоническая модель для сильных внутриконтинентальных землетрясений [3]. Если в некоем плоскопараллельном слое, рис.2., имитирующем земную кору, наблюдать произвольную, ограниченную щель (разлом) под воздействием дальнего поля напряжений, то в ее середине будет пониженное поле касательных напряжений (выделено красным цветом) ограниченной градиентной зоны – выделено белым цветом. По краям же ее, напротив, будут узкие зоны повышенных и высоких напряжений, так как концы разлома неподвижны (синий цвет). Очевидно, что концы разлома можно рассматривать как некий аналог зон повышенной прочности. Остальные участки — это зоны среднего уровня напряжений (голубой цвет на рис.2.).

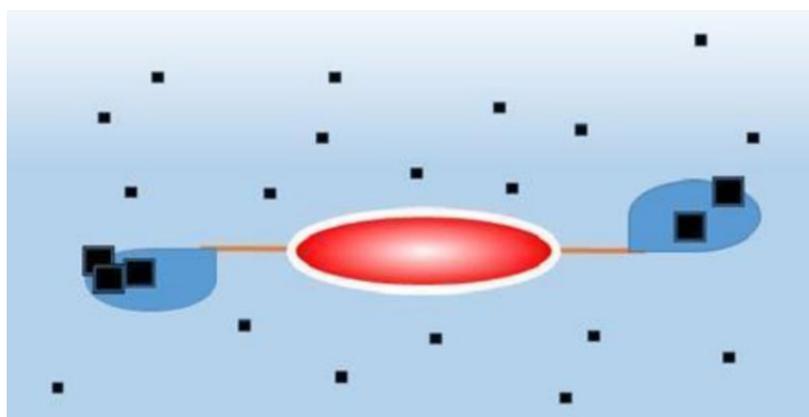


Рисунок 2. Модель распределения поля напряжений вокруг трещины, моделирующей тектонический разлом.

Зоны напряжений: красным цветом – пониженных; синим – повышенных; голубым – средних; белым цветом – градиента поля напряжений. Квадрат малый – фоновое землетрясение; квадрат большой – умеренное землетрясение. Горизонтальная линия – разлом с мало подвижными концами.

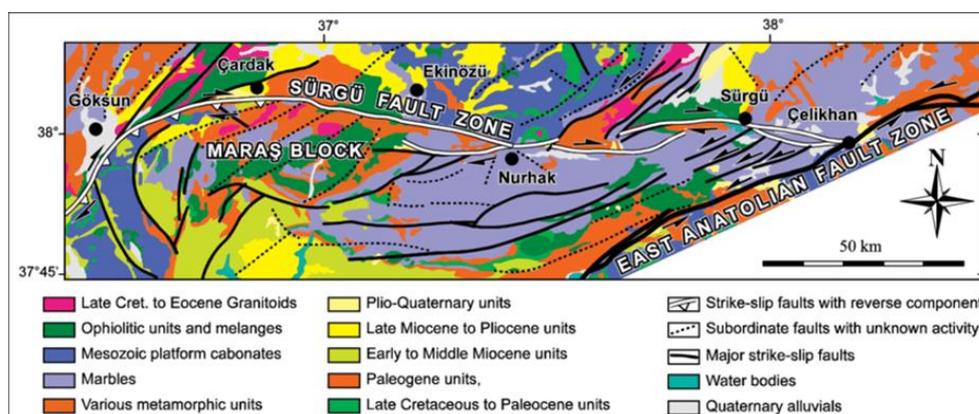


Рисунок 3. Восточно-Анатолийский разлом и разлом Сургу или Эльбистан. Simplified geological map and active faults of the study area (partly modified from 1/500,000 scale geological map of MTA). Halfarrows indicated direction of fault block movements [2].

Итак, Восточно-Анатолийский разлом можно представить как большой сдвиговый

разлом, транслирующий через себя преимущественно горизонтальные подвижки в северо-восточном направлении. Прилегающий к нему меньший или вторичный разлом Сургу (Surgu) примыкает к нему с запада и генерировал, в общем-то, большое для его ранга землетрясение M7.6. По-видимому, этой «повышенной» генерации способствовали дополнительные факторы.

Такой дополнительной причиной, по нашему мнению, явились два обстоятельства.

Это довольно большая разработка месторождения каменного угля. Прямо по середине этого разлома с северной стороны имеет место карьер по добыче бурого угля (легнита). Судя по космическим снимкам, и оценкам автора, это глубокий карьер размером около 8.0 и 2.5 км и глубиной ~ 1 км. Зона механического влияния, надо полагать, примерно этого же порядка, то есть на всю верхнюю часть земной коры. Примерно, совсем рядом с гигантским котлованом существует еще и добыча угля шахтным способом, что является яркой неоднородностью и «приманкой» для тектонических напряжений Хайдаров М.С. [4].

«Добыча достигла пика в 2018 году, превысив 100 миллионов тонн». «Потребление угля, вероятно, достигло максимума в 2022 году. Крупнейшим месторождением угля в Турции является Эльбистан» [5].

Отсюда можно заключить, что к 2023 году добыча и потребление угля в Турции достигло критически больших значений, включая разработку этого месторождения [6]. Возможно, это и послужило триггером к перенапряжению как разлома Сургу (Эльбистан) так и собственно Восточно-Анатолийского. Таким образом, начало 2023 г., по всей видимости, стало стартом для дуплета землетрясений на дуплете связанных больших региональных разломов. Это свидетельствует в пользу техногенной природы второго землетрясения под г. Эльбистан

Ранее [4] автор отмечал, что угольные бассейны подвержены «атакам» тектонических напряжений, что приводит к массовой эмиссии угольного метана и множеству катастрофических аварий на глубоких угольных шахтах. Эльбистан, по нашему мнению, не стал исключением: разработка угля как наземным, так и подземным способами ведет к концентрации тектонических напряжений и разрушению угольных пластов. Последнее вытекает из природы накопления угольного метана в толщах угля [4], хотя, конечно, в рассматриваемом случае выделения метана тут незначительны.

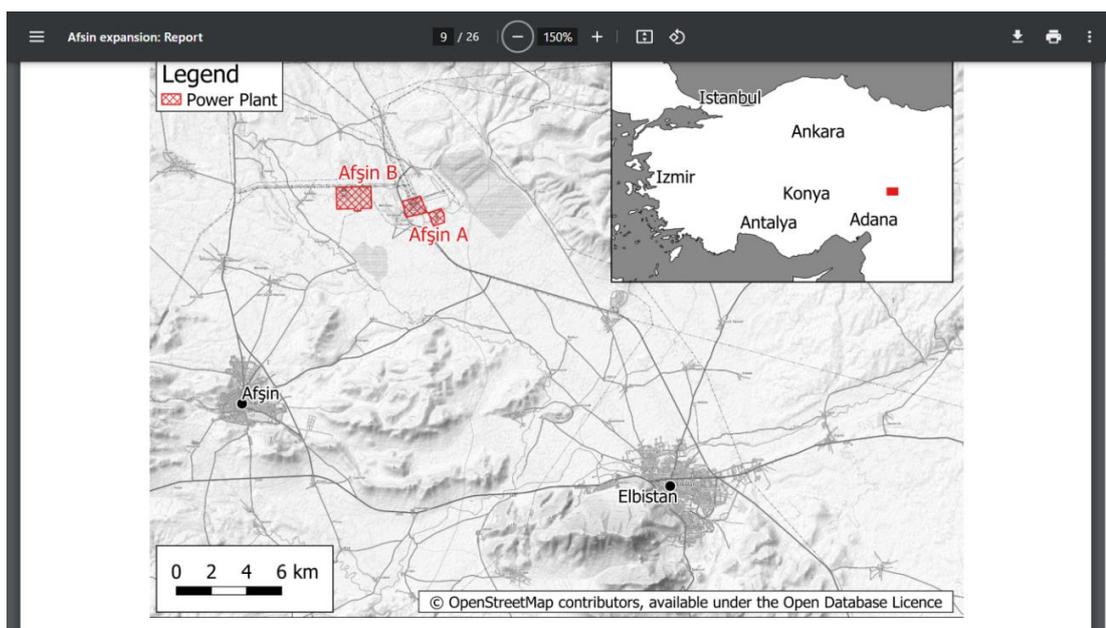


Рисунок 4. Расположение электростанций (красный цвет) и угольного разреза (серый прямоугольник) в окрестности Эльбистана.

Но, для данной работы важно именно наличие глубокого карьера и действующей разработки угольного месторождения в сочетании с шахтным способом добычи угля. Выемка огромного количества материала земной коры ведет к возникновению зоны резкого падения уровня напряжений и зоны высокого градиента напряжений, согласно вышеприведенной модели подготовки тектонического землетрясения. Наличие зоны градиента автоматически ведет к падению напряжения в средней части разлома и повышению уровня напряжений в концевых частях. Последнее может явиться причиной приостановления подвижек в том месте, где разломы стыкуются. Это пересечение разлома Эльбистан-Суру с Восточно-Анатолийским, немного восточнее г. Малатья - на пересечении 38 широты и 38 параллели.



Подтверждение сеймотектонической модели сильных внутриконтинентальных землетрясений для землетрясений. Распределение землетрясений за 1 год до сильнейших землетрясений 06.02.23

Рисунок 5. Распределение землетрясений за 1 год до сильнейших землетрясений.

На рис.5. хорошо видно, что эпицентры умеренных землетрясений $\sim M5$ произошли там, где и было пересечение – юго-восточнее г.Малатья. Это обстоятельство поддерживает наше предположение: наша простая модель не противоречит реальным данным.

Важно отметить, в месте пересечения этих разломов образовались временные барьеры, которые пришлось преодолевать за счет обычных накопленных подвижек берегов Восточно-Анатолийского разлома. Мы предполагаем, что они образовались в результате «упрочнения» восточной оконечности (Эльбистанского) разлома Сургу преобразовавшегося согласно модели подготовки во временную структуру следующего типа – обширная градиентная зона в центре разлома, где и произойдет главная подвижка (главный толчек), рис.2. Оконечности разлома, напротив, ограничены по подвижкам и приобретают «кажущуюся» прочность. Восточная оконечность этого разлома оказывает давление на Восточно-Анатолийский разлом и временно «не пропускает» какое-либо тектоническое движение по большому разлому между Арабской и Анатолийской плитами.

Рано или поздно это временное препятствие преодолевается путем нескольких, или даже целого ряда, умеренных землетрясений за несколько лет. Но за это время накопилось напряжение по всему Восточно-Анатолийскому разлому, и оно происходит в виде первого сильнейшего землетрясения $M7.8$. В итоге Восточно-Анатолийский разлом полностью освобождается и, надо полагать, происходит разблокировка восточной оконечности (Эльбистан) разлома Сургу и происходит второе землетрясение $M7.6$ через 9 часов от первого, а не через секунды как в случае парных землетрясений.

Если наши модельные представления верны, хотя бы в первом приближении, то можно прийти к выводу, что второе землетрясение носит техногенный характер. Возможно также, что в очаге заметную долю составляет взбросовая компонента – одна из причин неожиданной большой магнитуды $M7.6$ (7.5.). Все это привело также к некоторому росту времени подготовки как второго, так и первого землетрясений. Эти

обстоятельства (техногенность, взбросовый механизм) могут объяснить и другие «неожиданности» обеих землетрясений, хотя, конечно, в сейсмологии не всегда все однозначно.

В заключение отметим, наша модель внутриконтинентального процесса подготовки корового землетрясения соответствует реальным процессам геодинамики и сейсмотектоники.

Также заметим, что полевые данные в виде карты эпицентров и время начала максимальной добычи угля в стране подтверждают наши предположения о техногенном характере двух крупнейших землетрясений за последние 60+ лет. Также наличие гигантского открытого карьера в окрестности середины активного разлома в сейсмоактивной зоне способствует возникновению сильнейших землетрясений.

Необходимо расширить экологические требования безопасности до прекращения добычи угля в условиях сейсмоактивных зон как угрозу жизни для огромного количества обитателей городов и сел вдоль активных тектонических разломов на больших территориях.

Литература

1. Luca Dal Zilio & Jean-Paul Ampuero. Earthquake doublet in Turkey and Syria, Communications Earth & Environment volume 4, Article number: 7, 11.02.23.
2. https://www.researchgate.net/figure/Simplified-geological-map-and-active-faults-of-the-study-area-partly-modified-from_fig3_236004081 , 11.02.23.
3. Гарагаш И.А., Хайдаров М.С. Модель развития сейсмотектонического
4. процесса в зоне тектонического разлома перед сильным землетрясением, Результаты исследований по международным геофизическим проектам // Сейсмологические исследования. – 1989. – № 11. – С. 88-97.
5. Хайдаров М.С., Геодинамика газодинамических явлений на примере центра Азии, Вестник НЯЦ РК, вып 3, 2020 г., С. 158-163.]
6. https://www.gem.wiki/Af%C5%9Fin-Elbistan_coal_mines#K.C4.B1.C5.9Flak.C3.B6y_Mine , 11.02.23.
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_in_Turkey , 11.02.23.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В КАЧЕСТВЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. В статье представлен совместный анализ результатов наземных и спутниковых наблюдений переменного электромагнитного поля в момент их поведения непосредственно перед сильным землетрясением. Так перед самим землетрясением наблюдалось несколько магнитометрических аномальных эффектов (своеобразных аномалий), а во время же самого землетрясения существенно изменился характер поведения электромагнитного поля.

Annotation. The article presents a joint analysis of the results of ground-based and satellite observations of an alternating electromagnetic field at the moment of their behavior immediately before a strong earthquake. So before the earthquake itself, several magnetometric anomalous effects (peculiar anomalies) were observed, and during the earthquake itself, the nature of the behavior of electromagnetic fields changed significantly.

Введение. Исследования по самой проблеме прогнозирования землетрясений в мире особенно активизировались со второй половины прошлого века, поскольку наряду с теоретическими исследованиями стало возможным проводить дополнительно еще лабораторные, наземные и спутниковые эксперименты высокого уровня [1-14]. Благодаря именно им, были выявлены различные аномальные изменения геофизических полей как в самой литосфере, а так и в других земных оболочках (в атмосфере и ионосфере) в период подготовки самих землетрясений. Вариации геофизических полей, связанные с подготовкой и возникновением землетрясений, можно условно разделить на факторы, вызывающие землетрясения [15-16], индикаторы землетрясений [17-18] и предвестники землетрясений [19].

Проблема выявления геомагнитных индикаторов сейсмических тектонических процессов давно привлекает внимание геофизиков всего мира. Некоторые ученые полагают, что эта проблема может быть решена, и существует каталог геомагнитных сигнатур, связанных с десятками предсказанных землетрясений (Абдуллабеков и Максудов 1975, Садовский 1981, Огата и др. 1996, Висс 1997, Гаффет и др. 2003). Противоположное мнение заключается в том, что до сих пор не существует точного способа прогнозирования землетрясений (Солоненко 1987, Геллер и др. 1997). Таким образом, проблема прогнозирования землетрясений далека от своего окончательного решения. Основная проблема заключается в том, что аномальные геодинамические эффекты осложняются ещё широким спектром физико-геологических процессов, не связанных с напряжениями в земной коре [20-21].

Несмотря на многочисленные попытки - идентифицировать аномальные геомагнитные вариации, связанные с геодинамическими процессами и землетрясениями (например, Мур 1964, Абдуллабеков, Максудов 1975, 1987, Джонстон 1978, Финкельштейн 1983, Шапиро, Абдуллабеков, 1982, Финкельштейн, Маслацов 1984, Акишев и др. 1986, Фрейзер-Смит 1990, Хаякава 1993, Эппельбаум, Финкельштейн 1998, Хаттори 2002, Гаффет и др. 2003, Гохберг и Шалимов 2008, Собисевич и Собисевич 2010, Московская 2011, Ямадзаки 2011) лишь немногие добились успеха. Это обстоятельство связано с неясной природой аномальных изменений геомагнитных вариаций и недостаточно разработанной методологией выявления аномалий, обусловленных геодинамикой, относительно других несвязанных факторов. В исследовании (Финкельштейн и Маслацов 1984) был предложен метод исключения из суммарной функции краткосрочного аномального геомагнитного поля.

В данном случае здесь мы предлагаем обсудить поведение аномальных

геомагнитных вариаций за более длительные периоды (от нескольких дней до нескольких месяцев) и их онлайн-использование для мониторинга геодинамических процессов. Хорошо известно, что аномальные геомагнитные вариации - это сложная функция различных факторов. Анализ литературы (Wait 1951, Jacobs et al. 1964, Пудовкин и др. 1973, Безуглая и Ахвердян 1973, Ваньян и др. 1967, Фиттерман 1978, 1979, Форбригер и др. 2010, Саломатин и Тихонов 2011) и личный опыт наблюдений позволили нам сделать вывод, что наблюдаемая общая геомагнитная вариация может быть представлена, как сумма многих (многочисленных) факторов. Каждый фактор имеет отдельное происхождение и может создавать широкий спектр магнитных аномалий (Финкельштейн 1987) [21].

Методика и обсуждение. Многие достижения в области изучения земной коры стали возможными только благодаря развитию экспериментальной техники и методов анализа полученных результатов. К выдающимся достижениям в области экспериментальной техники относится создание автоматической стандартной магнитной обсерватории с телеметрическими устройствами, разработка высокочувствительных магнитометров, создание интегрирующих вычислительных систем для работы в сочетании с разработкой вычислительных методов анализа магнитных данных. Большими потенциальными возможностями обладает недавно разработанный метод измерения вертикального градиента магнитного поля, успешному развитию этого метода способствует резкое увеличение чувствительности магнитометров, с помощью которых производятся магнитные съемки. Эта система значительно увеличивает разрешающую способность, исключает временные поправки и с помощью уравнений Лапласа и Эйлера позволяет различать источники аномалий, находящихся внутри основания и на более близких расстояниях от поверхности земли. Включая начало использования магнитометрических методов для прогнозирования землетрясений. В настоящее время более 200 магнитных обсерваторий по всему миру проводят магнитные наблюдения.



Рисунок 1. Схема стационарных станций от INTERMAGNET.

Одной из главных задач магнитных обсерваторий является предоставление однородных и высокоточных (в абсолютном смысле) данных о магнитном поле Земли за

максимально продолжительный интервал времени. Традиционная схема проведения магнитных наблюдений – это непрерывная регистрация изменений поля с помощью вариометров и периодические абсолютные измерения (Паркинсон, 1986; Jankowski & Sucksdorff, 1996). Эта же схема принята в качестве стандарта для сети магнитных обсерваторий Интермагнет (INTERMAGNET Manual, 1999). Абсолютные измерения занимают особое место и их роль становится все более значимой [22-23].

Разработана методика обнаружения геомагнитных вариаций, вызванных опасными геодинамическими процессами на глубине. Эта методология была протестирована с использованием данных трех японских обсерваторий в сети международного проекта "ИНТЕРМАГНЕТ" (www.intermagnet.org 2011). Аномальное поведение геомагнитного поля было обнаружено в период сильнейшего землетрясения Тохоку-Оки 11 марта 2011 года. Была рассмотрена теоретическая оценка возможных механизмов этих аномальных геомагнитных вариаций. В Японии продемонстрирована возможность возникновения аномальных геомагнитных вариации вблизи эпицентра землетрясения и их быстрого мониторинга (онлайн или с задержкой в один день). Основным инструментом разработанной методологии является определение геодинамического магнитного эффекта с использованием дифференциальной функции [21]. Однако в ранних исследованиях (Пудовкин 1973, Абдуллабеков и Максutow 1975) дни магнитных бурь, наблюдавшихся перед сильными землетрясениями, ошибочно принимались за предвестники землетрясений. Поскольку в большинстве этих работ метод устранения вышеупомянутых факторов (шума) игнорируется, результаты были получены без правильной постановки задачи, и поэтому было трудно достичь поставленной цели и поверить их оценку.

Геомагнитные вариации. Понятие «Фоновое» уровня геомагнитных вариаций является ключевым понятием в постановке вышеупомянутых проблем. Поэтому важно определить, что мы подразумеваем под этим. Исходя из опыта измерений геомагнитных вариаций в средних широтах, охватывающих площадь около $(9-16) \times 10^4$ км², мы можем считать, что нормальные поля существуют, если во время тихой ночи вблизи двух разделенных точек наблюдения данные согласуются с определенной точностью в течение нескольких месяцев (Jacobs et al., 1964, Finkelstein 1983). Это означает, что дифференциальная функция вариаций между точками наблюдения будет представлять собой почти постоянную горизонтальную линию.

На рис. 2, 3 для этого события можно заметить наличие самых высоких вейвлет-коэффициентов для первых трех уровней разложения в связи с геомагнитной бурей. Резкие изменения вертикальной составляющей геомагнитного поля подчеркиваются самыми высокими амплитудами вейвлет-коэффициентов. С другой стороны, плавные колебания, обусловленные магнитосферой в спокойных условиях, представляют собой очень малую амплитуду вейвлет-коэффициентов. В работе Мендеса и др. (2005), было обнаружено, что «когда геомагнитная буря находится в стадии развития (периоды возмущения), коэффициенты вейвлета значительно велики» особенно во время начальной и основной фазы. Начальная фаза и максимальная высота цунами вблизи ММВ произошли после основной фазы [24].

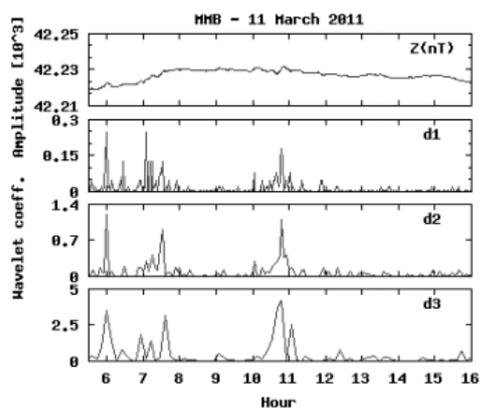


Рисунок 2. Набор данных о геомагнитном поле для станции Меманбецу (ММВ). Панели показывают сверху вниз Z-компоненту геомагнитного поля и амплитуды вейвлет-коэффициентов на уровнях 1, 2 и 3 за 11 марта 2011 года [24].

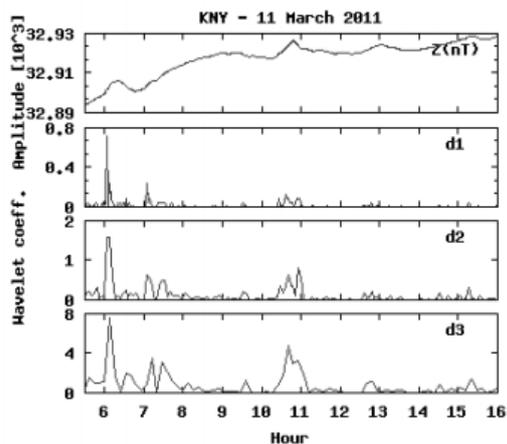


Рисунок 3. Набор данных о геомагнитном поле для станции Каноя (KNY). Панели показывают сверху вниз Z-компоненту геомагнитного поля и амплитуды вейвлет-коэффициентов на уровнях 1, 2 и 3 за 11 марта 2011 года [24].

Полученные результаты обнадеживают. На следующем этапе мы представим дальнейшее исследование с использованием большего количества событий и числа станций для проведения полного анализа. Первая стадия интерпретациями результатов предполагает, что дискретное вейвлет-преобразование может быть использовано для характеристики эффектов Цунами на геомагнитное поле, но нуждается в дальнейшем своем изучении.

В настоящее время публикуются довольно разнообразные и интересные статьи на основе наземных и спутниковых данных о земных и электромагнитных излучениях, наблюдаемых в период подготовки к землетрясению. Эти явления можно обнаружить как в лабораторном, так и в геологическом масштабе. В настоящее время в некоторых сейсмоактивных странах мира организована сеть для сбора большого числа данных электромагнитных излучений, генерируемых в процессе подготовки к землетрясению. Постоянный мониторинг частотного спектра электромагнитных излучений земли может оказаться очень полезным с точки зрения прогнозирования крупных землетрясений $M \geq 5$ внутри страны [25].

Здесь мы рассмотрели несколько аномалий, аномальных эффектов, когда электромагнитные поля изменились во время землетрясения. Вот несколько примеров предсказанных землетрясений в мире:

Китай. Успешное предсказание землетрясения было сделано в 1975 г. в г. Хайчэн, провинция Ляонин, на Северо-Востоке Китая. Район вокруг Хайчэна в течение нескольких лет перед 1975 г. находился под пристальным вниманием сейсмологов, поскольку некоторые признаки указывали на то, что в близком будущем здесь может произойти сильное землетрясение. Были установлены приборы для регистрации наклонов земной поверхности, флуктуации магнитного поля и изменений электросопротивления грунтов. Инструментальные наблюдения ясно указывали на изменения, происходящие в недрах Земли. В 1976 г. в Китае были предсказаны три землетрясения: 29 мая в провинции Юньнань, 16 августа в провинции Сычуань, 7 ноября на границе этих двух провинций

Сычуань и Юньнань. За много месяцев перед каждым землетрясением сейсмологи выдавали долгосрочный прогноз, основанный на изучении сейсмичности, повторных нивелировках и магнитных аномалиях. Оперативный прогноз по этим трем землетрясениям был сделан в срок от нескольких часов до нескольких дней до землетрясения, главным образом на основе данных об увеличении числа слабых толчков. Были приняты меры безопасности, а в одном случае проведена массовая эвакуация населения за четыре дня до землетрясения.

США. В США успешно было предсказано землетрясение, которое состоялось в 1974 г. в Калифорнии вблизи Холлистера, в том месте, где разлом Калаверас смыкается с разломом Сан-Андреас. Этот район - одна из наиболее насыщенных приборами и наиболее изученных сейсмичных зон в мире. Данные магнитометров выявили изменение земного магнитного поля, а наклонометры показали, что поверхность Земли смещается. Через день после установленных изменений и произошло землетрясение с магнитудой 5,2.

Япония. Комплексные исследования по прогнозу землетрясений в Японии ведутся с 1964 г. В Японии разрушительные землетрясения происходят практически ежегодно, и возможность успешных прогнозов представляет огромный общественный интерес. Выявление ряда объективно инструментально фиксируемых предвестников землетрясения, сделано несколько успешных оперативных прогнозов, позволивших вывести людей из зданий, которые в скором времени были разрушены землетрясениями. Любой параметр геофизического поля, который изменяется перед землетрясением, что по нему можно предсказать возможность проявления землетрясения при тщательном изучении характера его изменений физического или химического полей, называется предвестником события. В последнее время в мире все больше внимания уделяется геофизическим, геомагнитным, геоэлектрическим и электромагнитным предвестникам. Выявлен ряд геомагнитных данных трех станций, полученных через ИНТЕРМАГНЕТ, находящихся на расстоянии менее 500 км до землетрясения в Японии 5 сентября. Затем методом характеристических кривых устраняют влияние суточного хода геомагнитного поля. После этого путем изучения аномалий, которые становятся более отчетливыми после реализации метода, все случаи сопоставляются с сейсмической активностью региона. Среди различных магнитных составляющих геомагнитного поля Земли горизонтальные составляющие более других подходят для предсказания предлагаемого процесса, в основном из-за больших вариаций геомагнитного поля в вертикальном направлении, и из-за наличия геомагнитного градиента.

Узбекистан. До настоящего время для прогноза возможных землетрясений проводили повторные маршрутные и площадные съемки магнитного поля на Ташкентском, Ферганском, Кызылкумском полигонах, сети стационарных магнитометрических станций, повторных съемок на техногенных объектах (Чарвак, Полторацкое подземное газохранилище, площади газонефтяных месторождений), эпицентральных съемок в эпицентрах произошедших сильных землетрясений (Газлийские 1976 и 1984 годов, Исфара-Баткенского 1977 года, Таваксайского 1977г, Назарбекского 1980 года, Чимионского 1982г, Папского 1984 года и другие.

Например, аномальные изменения магнитного поля, связанные с Таваксайским землетрясением 6 декабря 1977 года с магнитудой $M=5.2$ по Секущему и Восточному маршрутам Ташкентского полигона. Так на стационарной станции Чимион выявлено также аномальное изменение, т.е. отношения бухтообразных вариаций на станции Чимион относительно станции Янгибазар. По данным повторных маршрутных наблюдений на Ташкентском, Ферганском и Кызылкумсом полигонах выделены долгосрочные аномальные изменения магнитного поля, связанные с Абайбазарским 9 февраля 1971 г с магнитудой $M=4.2$, Халкабадским 9 января 1971 года ($M=3.7$, $H=5$ км). Исфара-

Баткенским 31 января 1977 года ($M=5.75$), Алайским землетрясением 2 ноября 1978 г с $M=6.8$ и другими.

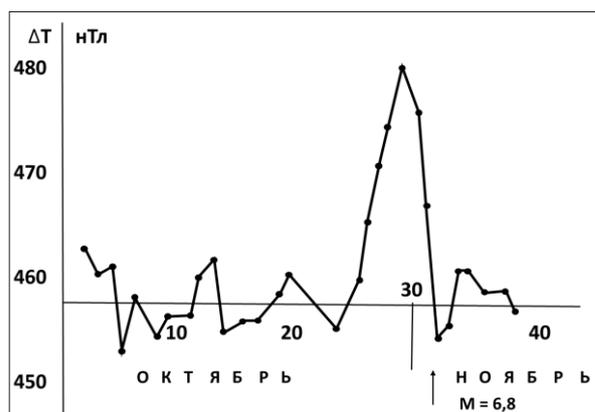


Рисунок 4- Аномальные изменения магнитного поля на стационарной станции «Андижан», связанные с Алайским землетрясением 2 ноября 1978 года с магнитудой $M=6.8$, произошедшего на расстоянии 130 км от станции [27]

На основании анализа обширных литературных данных, полученных учеными ведущих стран мира (Россия, Япония, Китай США и др), каталогов предвестников землетрясений по геомагнетизму, современным движениям земной коры, импульсного электромагнитного излучения земной коры и других геосфер выделены долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные предвестники сейсмической опасности, связанные с различными этапами подготовки землетрясений;

Переобработаны, переинтерпретированы и обобщены результаты повторных маршрутных и площадных съемок магнитного поля на Ташкентском, Ферганском, Кызылкумском полигонах, на сети стационарных магнитометрических станций, результаты повторных съемок на техногенных объектах (Восточная Фергана, Чарвак, Полторацкое подземное газохранилище, площади газонефтяных месторождений), эпицентральных съемок в эпицентрах произошедших сильных землетрясений (Газлийских 1976 и 1984 годов, Исфара - Баткенского 1977 года, Таваксайского 1977г, Назарбекского 1980 года, Чимионского 1982г, Папского 1984 года и других), а также векового хода геомагнитного поля мировой сети геомагнитных обсерваторий за более чем столетний период.

Вывод. За последнее десятилетие исследования по прогнозированию землетрясений снова оживились, и в настоящее время во всем мире проводятся эксперименты по их прогнозированию. При рассмотрении данных этих экспериментов важное значение имеет ряд вопросов, связанных с оценкой прогноза: подробная спецификация эксперимента, используемая мера успеха и выбор подходящей эталонной модели.

Здесь же мы рассмотрели каждый из них, уделяя особое внимание при этом анализу перспективных прогнозов землетрясений.

Анализ материалов показал, что предвестники имеют различные формы, конфигурации и знаки амплитуд кривых изучаемых полей. Единая форма предвестника отсутствует. Многие кривые имеют бухтообразные формы положительного и отрицательного знаков. Имеются (Наблюдаются) ступенчатые, волнообразно-колебательные и другие формы аномальных кривых регистрируемого поля. Многообразие форм проявления в первую очередь зависят от геолого-тектонического строения регионов и многообразия различных процессов в земной коре.

В настоящее время проводится большое число регулярных сейсмических наблюдений. Эти станции отслеживают координаты эпицентра, магнитуду землетрясения и регистрирует приход сейсмических волн. Это всё наблюдается после возникновения самого землетрясения. В настоящее время производится наблюдения вариаций электромагнитных полей более 200 магнитными обсерваториями по всему миру, которые

проводят только магнитные наблюдения. Стационарных магнитных наблюдений очень мало по сравнению с чисто сейсмическими регистрациями, примерно в 1000 раз. При увеличении числа магнитометрических стационарных станций и улучшения качества их работы, то мы увеличиваем вероятность предсказания (прогноз) возможных землетрясений на изучаемой территории.

Надежное предсказания возможных землетрясений на сейсмоактивной территории возможно в результате комплексной интерпретации всех видов геофизических, геохимических, гидрогеологических, геологических полей, на основе изучения критериев их поведения в течении длительного отрезка временного интервала Истории Земли, как космического тела и влияния также факторов внеземного происхождения. Землетрясение 9 мая 1966г. (силой в 7 баллов) было предсказано Ю.С.Шманенко по очень близкому нахождению Луны относительно очага Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966г.

Литература

1. Biagi, P.F. (1999) Seismic Effects on LF Radiowaves. In: Hayakawa, M., Ed., At mospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes, TERRAPUB, Tokyo, 535-542.
2. Biagi, P.F., Magippinto, T., Schiavulli, L., Ligonzo, T. and Ermini, A. (2013) European Network for Collecting VLF/LF Radio Signals (D5.1a). DPC-INGV-S3 Project. Short Term Earthquake Prediction and Preparation.
3. Hayakawa, M., Molchanov, O.A., Ondoh, T. and Kawai, E. (1996) The Precursory Signature Effect of the Kobe Earthquake on Subionospheric VLF Signals. Journal of Communications Research Laboratory, 43, 169-180. <https://doi.org/10.1109/ELMAGC.1997.617080>
4. Hayakawa, M., Ohta, K., Maekawa, S., Yamauchi, T., Ida, Y., Gotoh, T., Yonaiguchi, N., Sasaki, H. and Nakamura, T. (2006) Electromagnetic Precursors to the 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake. Physics and Chemistry of the Earth, 31, 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.023>
5. Hayakawa, M. (2018) Earthquake Precursor Studies in Japan. In: Ouzounov, D., Pulnests, S., Hattori, K. and Taylor, P., Eds., Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies, Geophysical Monograph 234, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 7-18. <https://doi.org/10.1002/9781119156949.ch2>
6. Hattori, K., Takahashi, I., Yoshino, C., Isezaki, N., Iwasaki, H., Harada, M., Kawabata, K., Kopytenko, E., Kopytenko, Y., Maltsev, P., Korepanov, V., Molchanov, O., Hayakawa, M., Noda, Y., Nagao, T. and Uyeda, S. (2004) ULF Geomagnetic Field Measurements in Japan and Some Recent Results Associated with Iwateken Nairiku Hokubu Earthquake in 1998. Physics and Chemistry of the Earth, 29, 481-494. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.09.019>
7. Freund, F.T., Takeuchi, A. and Lau, B.W.S. (2006) Electric Currents Streaming Out of Stressed Igneous Rocks—A Step towards Understanding Pre-Earthquake Low Frequency EM Emissions. Physics and Chemistry of the Earth, 31, 389-396. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.027>
8. Parrot, M. (2006) First Results of the Demeter Micro-Satellite. Planetary and Space Science, 54, 411-557. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2005.10.012>
9. Varotsos, P., Sarlis, N., Skordas, E. and Lazaridou, M. (2006) Additional Evidence on Some Relationship between Seismic Electric Signals (SES) and Earthquake Focal Mechanism. Tectonophysics, 412, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.10.037>
10. Bleier, T., Dunson, C., Maniscalco, M., Bryant, N., Bambery, R. and Freund, F. (2009) Investigation of ULF Magnetic Pulsations, Air Conductivity Changes, and Infrared Signatures Associated with the 30 October Alum Rock M5.4 Earthquake. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 585-603. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-585-2009>
11. Eftaxias, K., Athanasopoulou, L., Balasis, G., Kalimeri, M., Nikolopoulos, S., Contoyiannis, Y., Kopanas, J., Antonopoulos, G. and Nomicos, C. (2009) Unfolding the Procedure of Characterizing Recorded Ultralow Frequency, kHz and MHz Electromagnetic Anomalies Prior to the L'Aquila Earthquake as Pre-Seismic Ones-Part1. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1953-1971. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1953-2009> <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1953/2009>
12. Contadakis, M.E., Biagi, P.F. and Hayakawa, M. (Eds.) (2009) Ground and Satellite Based Observations during the Time of the Abruzzo Earthquake. Natural Hazards and Earth System Sciences, No. 102, 151. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/specialissue102.html>

13. Ouzounov, D., Pulinets, S., Romanov, A., Romanov, A., Tsybulya, K., Davidenko, D., Kafatos, M. and Taylor, P. (2011) Atmosphere-Ionosphere Response to the M9Tohoku Earthquake Revealed by Multi-Instrument Space-Borne and Ground Observations: Preliminary Results. *Earthquake Science*, 24, 557-564. <https://doi.org/10.1007/s11589-011-0817-z>
14. Tramutoli, V., Aliano, C., Corrado, R., Filizzola, C., Genzano, N., Lisi, M., Martinelli, G. and Pergola, N. (2013) On the Possible Origin of Thermal Infrared Radiation (TIR) Anomalies in Earthquake-Prone Areas Observed Using Robust Satellite Techniques (RST). *Chemical Geology*, 339, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.10.042>
15. Kiladze, R., Kachakhidze, N., Kereselidze, Z., Kachakhidze, M., Ramishvili, G. and Kukhianidze, V. (2005) Atmospheric Pressure as an Earthquake Initiative Factor on the Example of Five Earthquakes in the Georgia. *Bulletin of Georgian Academy*, 171, 278-281.
16. Kachakhidze, M., Kiladze, R., Kachakhidze, N., Ramishvili, G. and Kukhianidze, V. (2010) Connection of Large Earthquakes Occurring Moment with the Movement of the Sun and the Moon and with the Earth Crust Tectonic Stress Character. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1629-1633. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1629-2010> <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/1629/2010>
17. Kachakhidze, M., Kachakhidze, N., Kiladze, R., Kukhianidze, V. and Ramishvili, G. (2003) Relatively Small Earthquakes of Javakheti Highland as the Precursors of Large Earthquakes Occurring in the Caucasus. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 165-170. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-165-2003>
18. Kachakhidze, N., Kachakhidze, M., Kereselidze, Z. and Ramishvili, G. (2009) Specific Variations of the Atmospheric Electric Field Potential Gradient as a Possible Precursor of Caucasus Earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1221-1226. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1221-2009>
19. Kachakhidze, M.K., Kachakhidze, N.K. and Kaladze, T.D. (2015) A Model of the Generation of Electromagnetic Emissions Detected Prior to Earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 85-86, 78-81. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.010>
20. Mjachkin, V.I. (1978) *Earthquake Preparation Processes*. Nauka, Moscow, 230.
21. M Finkelstein, C Price and L Eppelbaum. Is the geodynamic process in preparation of strong earthquakes reflected in the geomagnetic field? 2012 *Journal of Geophysics and Engineering* 9 (2012) 585–594 DOI: 10.1088/1742-2132/9/5/585
22. Jankowski J., Sucksdorff C. IAGA Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warsaw, 1996, 235 p.3.
23. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986, 527 с.
24. Virginia Klausner, Odim Mendes, Margarete O. Domingues. Japanese tsunami 2011 effects on the geomagnetic field: Preliminary results. Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011. pp.2-5
25. Kachakhidze, M., Kachakhidze-Murphy, N., Khvitia, B. and Ramishvili, G. (2019) Large Earthquake Prediction Methods. *Open Journal of Earthquake Research*, 8, 239-254. <https://doi.org/10.4236/ojer.2019.84014>
26. Xiaocan Liu, Katsumi Hattori, Peng Han, Huaran Chen, Yoshino Chie, and Xudong Zhao. Possible Anomalous Changes in Solar Quiet Daily Geomagnetic Variation (Sq) Related to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) *Pure Appl. Geophys.* 177 (2020), 333–346
27. K.N. Abdullabekov, Yusupov V.R. Models (form) of long-, medium- and short-term earthquake precursors *Geodesy and Geodynamics* 13 2022 <https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.07.002> pp. 609-618

ACTIVE FAULT SYSTEMS AND EARTHQUAKE EPICENTERS

Abstract. We analyse the fractal dimensionality of active fault systems in comparison to the fractal dimensionality of earthquake epicentres in the Greater Caucasus, Altai-Sayan, Baikal, and Kamchatka regions. Calculated regional values of box (D_0), dilation (D), and correlation (D_2) dimensions obtained from the Active Faults of Eurasia Database are compared to regional distributions of the C-coefficient of Unified Scaling Law for Earthquakes (USLE). Comparison of fractal dimensions between active fault systems and earthquake epicentres revealed higher dimensionality of the regional active fault systems.

Аннотация. Для четырех сейсмоактивных регионов Российской Федерации - Большого Кавказа, Алтай-Саяны, Прибайкалье, Камчатки и ее окружения - выполнено сравнение значений фрактальной размерности систем активных разломов и фрактальной размерности эпицентров землетрясений. Рассчитанные для региональных значений из базы данных "Активные разломы Евразии", региональные фрактальные размерности D_0 , D и D_2 сопоставляются с региональными распределениями коэффициента C Общего Закона Подобия для Землетрясений, соответствующего фрактальной размерности множества сейсмических эпицентров. Сравнение выявило более высокие значения фрактальной размерности для региональных систем активных разломов по сравнению со значениями полученными для эпицентров.

Introduction. Fractal theory is a broad research area with powerful tools for describing complex, self-similar objects and processes [Mandelbrot, 1982]. This approach approximates complex objects using a mathematical language and combines quantitative attributes to convey self-similarity. Since the pioneering works of Keilis-Borok [1990], Sadovsky & Pisarenko [1991], and Turcotte [1997], the self-similar hierarchy of the Earth's block-and-faults has got enough attention in the recent studies of tectonic and seismic phenomena. Owing to the hierarchical structure of the lithosphere, the frequency of earthquakes within a region scales with their magnitude. This scaling is governed by the classical Gutenberg-Richter relationship, established for global seismicity [Gutenberg and Richter, 1944, 1954], as well as its subsequent generalizations [Kossobokov & Mazhkenov, 1988, Bak et al., 2002]. Clearly, it is reasonable to hypothesize a connection between the spatial arrangement of fault networks and the associated earthquake epicentres and subsequently compare their fractal dimensions. It is possible that «the hierarchical structure of the blocks of a geological environment and the spatial structure of the distribution of earthquake hypocentres obey (within an error) equal self-similarity relationships» [Zakharov, 2012]. Similar findings were reported by Sherman [1998]. However, the analysis we have presented raises doubts regarding these conclusions.

Methods. We used the Vuidelet et al. [2021] software for the mono-fractal analysis to obtain the box counting D_0 , dilation, D and correlation D_2 dimensions. If the l_i is the size of the counting window and N_i is the number of counted elements then the series of points (l_i, N_i) forms a sample on a log-log plot. The estimation of its linear regression provides an estimate of fractal dimension D as the slope of the resulting straight line – $\log N = \log l^D = D \log l$.

Specifically.

- *the box counting dimension:* D_0 is obtained for the pattern under analysis covered by a quadratic grid. The size of the grid cells l_i increases from one iteration step to the next one. Considering each grid cell size r_i , the number of cells N_i containing at least one point;

- *the dilation dimension:* D is obtained from $N_i \approx A(l_i)/l_i^2$, where $A(l_i)$ is the total area of squares covered at each stage i .

- the correlation dimension: D_2 is obtained when N_i is the mean number of points per window size l .

To obtain mono-fractal estimates we approximate each active fault with n points situated at about 10 km distance from each other. The determination of the mono-fractal dimension necessitates a number of iterations, which correspond to a simple doubling of the distance l_i .

The Unified Scaling Law for Earthquakes (USLE) [Bak et al., 2002; Nekrasova&Kossobokov, 2003; Kossobokov, 2021] states that the logarithm of expected annual number of earthquakes of magnitude M or larger in an area of linear dimension L follows within the magnitude range $[M-, M+]$ the relationship $\log N(M, L) = A + B \times (5 - M) + C \times \log L$, where A , B and C are constants. Naturally, A and B are analogous to the a - and b -values of the classical Gutenberg-Richter relationship, while C compliments to it with an estimate of local fractal dimension of earthquake epicentres.

Data. We analyse the fractal dimension of active fault systems within the Greater Caucasus, Altai-Sayan, Lake Baikal, Kamchatka and surroundings regions, utilizing data from the Active Faults of Eurasia Database [Bachmanov et al., 2017]. We have selected active faults associated with earthquakes with the magnitudes surpassing the regional magnitude completeness level. Figure 1 illustrates the active fault systems under study within these regions. The data enable us to discern the fractal dimensions of the entire regional active fault systems, as well as their respective subsystems based on the nature of the faulting. Specifically, we derive fractal dimensions for active faults exhibiting vertical displacement (depicted as black lines in Figure 1) and lateral displacement (red lines in Figure 1). The available data on faults with extensional motion (green lines in Figure 1) are limited and have not been subject to analysis.

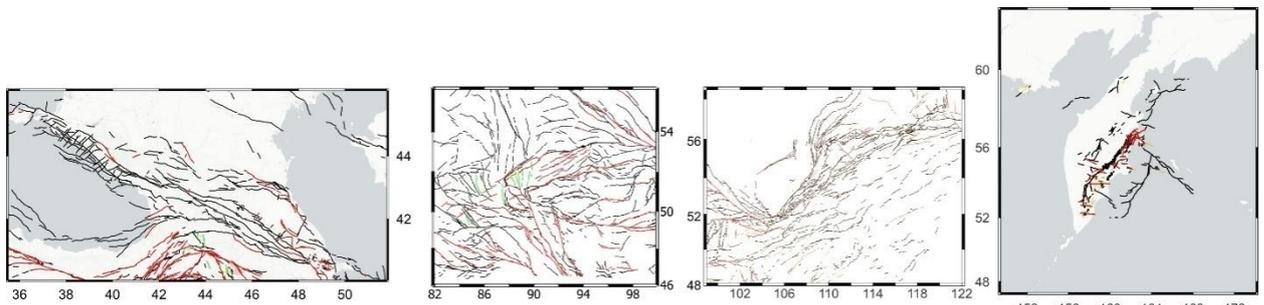
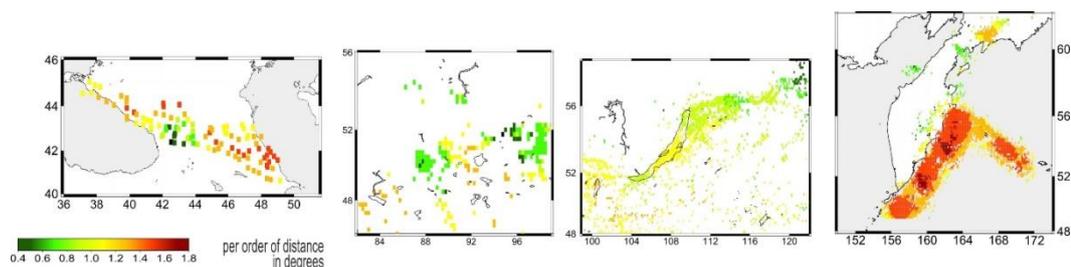


Figure 1. The regional active fault system of Greater Caucasus, Altai-Sayan, Lake Baikal, Kamchatka and surroundings according to [Bachmanov et al., 2017]. Black lines – vertical motion, red lines – lateral motion, green lines – extension motion.

We employ the previously estimated regional estimates of C -coefficient of the USLE [Kossobokov&Nekrasova 2018a, 2018b; Nekrasova&Kossobokov 2023a, 2023b] to assess the fractal dimension at locations of seismic epicenters across the area of interest. The spatial distributions of the C -coefficient in the selected four regions are shown on top panels of Figure 2, while the bottom panels demonstrate the probability density distributions of the regional C -coefficient.



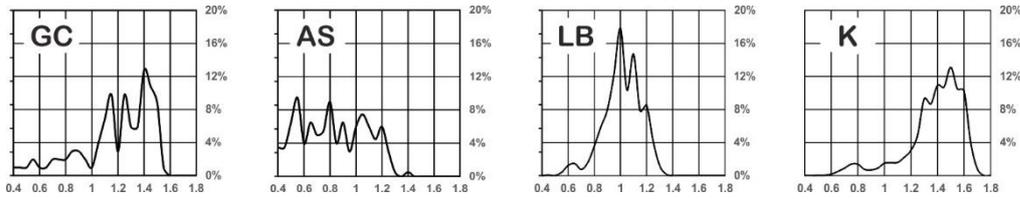


Figure 2. Regional spatial distributions (top) and probability density distribution functions, pddf's, of the C-coefficient (bottom).

Results.

Figure 3 plots the two diagrams comparing the mono-fractal dimensions D (left panel) and D_2 (right panel) to D_0 obtained for the same samples of the regional active faults. It can be seen that D_0 and D estimates are relatively close to each other, while those of D_2 are slightly larger than D_0 .

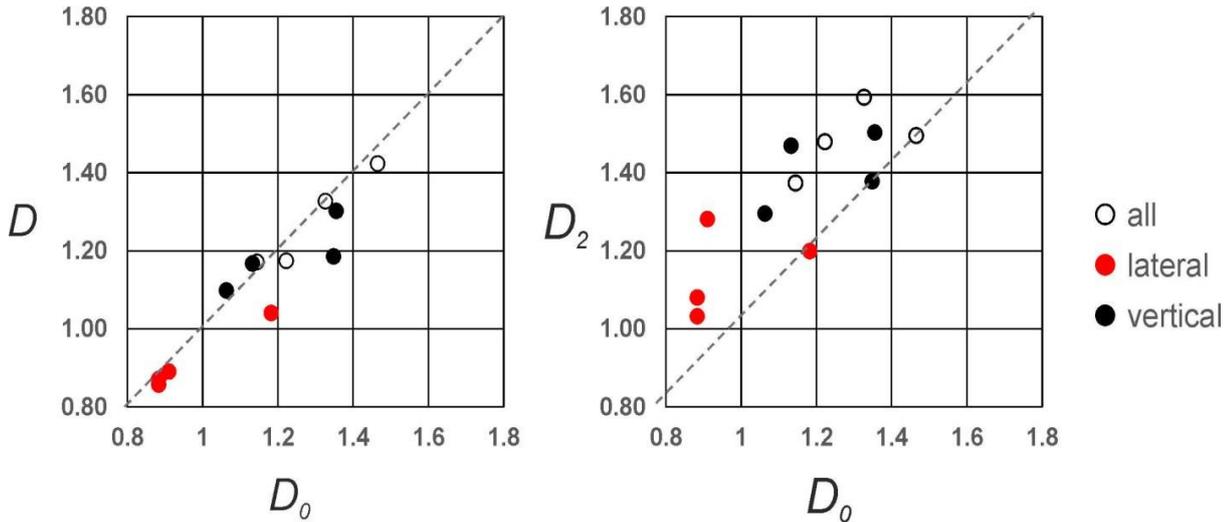


Figure 3. Diagrams comparing the fractal dimensions D (left panel) and D_2 (right panel) to D_0 obtained for the same samples of the regional active faults. The color code marks the values for different type of faulting.

Table 1 lists the values of three mono-fractal regional analysis for all, vertical, and lateral active fault samples associated with reported earthquake loci. In addition of the region frames Table 1 lists the minimum and maximum of mono-fractal window size. The same total numbers of a sample approximation data points for different types of faulting are given in the column D_0 (n_{points}) only.

Table 2 presents the 95% confidence intervals and the values of the USLE C-coefficient at the pddf's maximum for the four regions considered. The information in Table 2 corresponds to the data presented in Figure 2 (bottom).

TABLE 1. Mono-fractal dimension estimates D_0 , D , and D_2 of the four regional active fault systems with reported earthquake loci.

	φ , °N	λ , °E	max l , °	min l , °	D_0 (n_{points})			D			D_2		
					all	lat.	vert	all	lat.	vert	all	lat.	vert
Greater Caucasus	40 – 46	36 – 51.5	2	1/8	1.33 (1353)	0.88 (167)	1.36 (1023)	1.33	0.86	1.30	1.59	1.03	1.50
Altai-Sayan	48 – 56	82 – 100	4	1/8	1.47 (2947)	1.18 (1062)	1.35 (1682)	1.42	1.04	1.19	1.50	1.20	1.38

Lake Baikal	48–58	99–122	2	1/8	1.22 (2144)	0.88 (308)	1.13 (1688)	1.18	0.87	1.17	1.48	1.08	1.47
Kamchatka	46–58	150–174	2	1/8	1.14 (1282)	0.91 (176)	1.06 (896)	1.17	0.89	1.10	1.37	1.28	1.30

TABLE 2. The regional C-coefficients of USLE.

Regional fault system	$\varphi, ^\circ\text{N}$	$\lambda, ^\circ\text{E}$	The hierarchy USLE		C-coefficient values			
			max $l, ^\circ$	min $l, ^\circ$	95% int.	conf.	At maximum	pddf's
Greater Caucasus	40 – 46	36 – 51.5	2	1/4	0.70–1.55		1.2	
Altai-Sayan	48 – 56	82 – 100	4	1/4	0.40–1.30		0.8, 1.2	
Lake Baikal	48–58	99–122	2	1/8	0.75–1.25		1.0	
Kamchatka	46–58	150–174	2	1/8	1.15–1.70		1.6	

Figure 4 presents the values of the fractal dimensions D_0 , D , and D_2 of the regional active fault sets associated with reported earthquakes for the Greater Caucasus, Altai-Sayan, Baikal, and Kamchatka regions. An added fourth column in each of the three categories of active faults corresponds to the highest value of the USLE coefficient C . The Altai-Sayan region is characterized by two maxima of the C pddf's. The vertical error bar corresponds to the values within the 95% confidence interval.

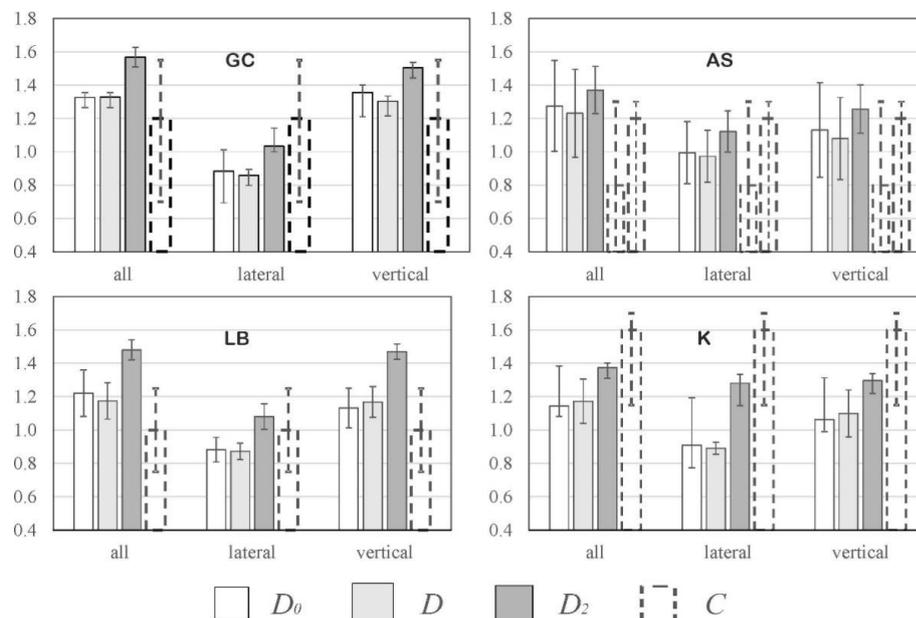


Figure 4. Fractal dimensions of the regional active fault systems compared to the USLE coefficient C . Bars indicate D_0 , D , D_2 , and C estimates (with 95% error bars).

Analysing.

Figure 4 and Tables 1 and 2, we can observe that the values of parameter C and D_0 , D , D_2 diverge across all four regions. In the Greater Caucasus, Altai-Sayan, and Lake Baikal regions, the fractal dimension of active faults demonstrates larger values in comparison to the fractal dimension of earthquake epicentres. Conversely, for the Kamchatka region and its environs, the fractal dimension of earthquake epicentres surpasses the D_0 , D , D_2 estimates for AF systems.

Conclusion.

The analysis of active fault systems in four seismically active regions of the Russian Federation allows us to draw the following preliminary conclusions, which require further discussion and interpretation:

From a seismological viewpoint, regional active fault systems marked by actual seismic activity reflect the apparent tectonic fragmentation of the lithosphere with a significant redundancy.

The heightened values of fractal dimensionality within regional active fault systems, in contrast to the fractal dimensionality of earthquake epicentre locations, suggest dominance of locked, dormant, and inactive faults.

It is extremely important to emphasize that the regional estimates of the USLE coefficient C and (mono-) fractal dimension of an active fault system show no discernible correlation.

These conclusions collectively offer valuable perspectives into the intricate nature of tectonic active fault systems and their interrelation in seismic dynamics.

Acknowledgment

Our thanks to Gilles Vuidel for making available the computer code for the fractal analysis. The study is carried on in the framework of the Russian State Task of Scientific Research Works of IEPT RAS (0143-2019-0006).

References

1. Bachmanov DM, Kozhurin AI, Trifonov VG, 2017, The Active Faults of Eurasia Database. *Geodynamics and Tectonophysics* 8 (4): 711–736. DOI 10.5800/GT-2017-8-4-0314
2. Bak P, Christensen K, Danon L, Scanlon T, 2002, Unified scaling law for earthquakes. *Phys Rev Lett* 88:178501–178504
3. Gutenberg B, Richter CF, 1944, Frequency of earthquakes in California. *Bull Seismol Soc Am* 34:185–188
4. Gutenberg B, Richter CF, 1954, *Seismicity of the earth and associated phenomena*, 2nd edn. Princeton University Press, Princeton, 310 pp
5. Keilis-Borok V I, 1990, The lithosphere of the Earth as a nonlinear system with implications for earthquake prediction. *Rev. Geophys.* 28 (1), 19–34. <https://doi.org/10.1029/RG028i001p00019>
6. Kossobokov V, 2021, Unified Scaling Law for Earthquakes that Generalizes the Fundamental Gutenberg-Richter Relationship. In: Gupta H.K. (eds) *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham, p.1893-1896. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58631-7_257
7. Kossobokov V, Mazhenov S, 1988, Spatial characteristics of similarity for earthquake sequences: fractality of seismicity. *Lecture notes of the workshop on global geophysical informatics with applications to research in earthquake prediction and reduction of seismic risk (15 Nov. 16 Dec., 1988)*, ICTP, Trieste, 15 pp
8. Kossobokov V, Nekrasova A, 2018a, Earthquake Hazard and Risk Assessment based on Unified Scaling Law for Earthquakes: Greater Caucasus and Crimea. *Journal of Seismology* 22:1157–1169, <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9759-4>
9. Kossobokov V, Nekrasova A, 2018b Earthquake Hazard and Risk Assessment based on Unified Scaling Law for Earthquakes: Altai-Sayan Region. *Natural Hazards*. 93(3):1435-1449, <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3359-z>
10. Mandelbrot B, 1982, *The Fractal Geometry of Nature*, New York: W. H. Freeman and Co.
11. Nekrasova A, Kossobokov V, 2003, Generalized Gutenberg-Richter recurrence law: Global map of parameters. *Geophysical Research Abstracts*, 5, 2003. Abstracts of the Contributions of the EGS-AGU-EGU Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April, (CD-ROM): EAE03-A-03801
12. Nekrasova, A, Kossobokov V, 2023a Seismic risk assessment for the infrastructure in the regions adjacent to the Russian Federation Baikal–Amur Mainline based on the Unified Scaling Law for Earthquakes. *Nat Hazards* 116(2):1995–2010, <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05750-9>
13. Nekrasova A, Kossobokov V, 2023b, The observed variability of seismic dynamics in the Pacific Northwest, XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics

(IUGG) (Berlin 2023), <https://doi.org/10.57757/IUGG23-0382>

14. Sadovskii MA., Pisarenko V F, 1991, Seismic Process in Fragmented Medium, Moscow: Nauka
15. Sherman SI, 1998, Fractal Analysis in Fault Tectonics, in Tectonics and Geodynamics: General and Regional Aspects, Moscow: GEOS, vol. 2, pp. 274–276
16. Turcotte D L, 1997, Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge: Cambridge Univ. Press
17. Vuidel G, Tannier C, Frankhauser P, 2021, Fractalyse 3.0 (Fracgis) source code (Version 3.0-0.9.1)
18. Zakharov V, 2012, Analysis of the characteristics of self-similarity of seismicity and the active fault network of Eurasia. Moscow University Geology Bulletin.66. <https://doi.org/10.3103/S0145875211060123>.

Жетписбай А.Н., Шманов А.А., Ыдырышев Д.К.
ТОО «СОМЭ», г.Алматы

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. Модернизация является неотъемлемой частью производственного цикла, включая производство такого особого продукта как результаты мониторинга сейсмической активности. Авторы статьи попытались контурно описать модернизацию с технической и технологической сторон и указать на некоторые возможности улучшения сейсмического мониторинга РК через регулирование отношения между организациями, имеющими в распоряжении данные для решения задач сейсмологии. Приведена краткая история развития сети сейсмических наблюдений в Казахстане и некоторые модернизированные системы сейсмического мониторинга, которые были введены в эксплуатацию в последнее время. Приводятся краткие сведения по аппаратуре, оборудовании связи и системе питания. Рассматривается вопрос о дальнейших перспективах и трудностях модернизации системы сейсмического мониторинга на территории РК.

Annotation. Modernization is an integral part of the production cycle, including the production of such a special product as the results of seismic activity monitoring. The authors of the article tried to outline the modernization from the technical and technological sides and point out some opportunities for improving the seismic monitoring of the Republic of Kazakhstan through the regulation of relations between organizations that have data at their disposal to solve seismological problems. A brief history of the development of the seismic observation network in Kazakhstan and some modernized seismic monitoring systems that have been put into operation recently are given. Brief information on the equipment, communication equipment and power supply system is given. The issue of further prospects and difficulties of modernization of the seismic monitoring system on the territory of the Republic of Kazakhstan is considered.

Введение. Сейсмический мониторинг – неотъемлемая часть жизнеобеспечения населения регионов с выраженной сейсмической активностью и систем обеспечения безопасности ответственных сооружений. Сейсмический мониторинг - составная часть технологии уменьшения риска опасных природных явлений. Мониторинг включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную обработки и интерпретацию сейсмологических данных с выходом на прогнозные оценки. Информация о сейсмической активности является более достоверной в случае использования наиболее современных методов и технологии сбора, обработки и интерпретации. Применение и внедрение стандартов во всем цикле сейсмического наблюдения отвечающих современным требованиям является обязательным, т.к. эти исследования представляют не только научный интерес в изучении процессов на Земле, но и практический – обладание более широкой картины действительности позволяет выбрать в кризисных ситуациях наиболее

приемлемы сценарии поведения.

В период стагнации экономики страны в 90-е годы был потерян паритет в области сейсмологических исследований с ведущими странами мира. Несмотря на объективно негативные факторы, СОМЭ смогло отчасти модернизировать часть сети сейсмических наблюдений в этот период. В основном через различные программы иностранных исследовательских организации. Оптимизация части процессов и общая коллективная цель специалистов - сейсмологов – сохранение сейсмологии как науки, с ее практическими исследованиями, позволила перейти время нестабильности с наименьшими потерями. Без модернизации оборудования, методик и процессов производства проводимые сейсмические наблюдения постепенно снижаются в качественных показателях что вызывает сомнения в их достоверности. В результате снижая эффективность планируемых мероприятия по снижению рисков и смягчения негативного воздействия ЧС природного характера.

Сейсмические наблюдения в Казахстане. Территория Казахстана и сопредельных стран сейсмически активна, особенно ее юго-восточная часть. Горные хребты Южного Тянь-Шаня, Северного Тянь-Шаня и Джунгарии были источниками землетрясения с магнитудой более 8. Крупнейшими землетрясениями на территории Казахстана были Чиликское землетрясение 1889 г. с $M_b = 8,3$ и Кеминское землетрясение 1911 г. с $M_b = 8,2$. В прошлом сеть сейсмических станций создавалась преимущественно в сейсмически активной юго-восточной части Казахстана. И лишь отдельные станции действовали на юге и востоке. В других регионах Казахстана (запад, север и центр) почти не было станций. В 1927 году открыта первая станция «Алма-Ата». После этого сейсмические станции были установлены в Чимкенте (1932 г.) и Семипалатинске (1934). В 1950-х годах, начались работы по детальным исследованиям сейсмического режима, одновременно были открыты новые станции и сформирована сеть сейсмического мониторинга в КазССР. Сеть эксплуатировалась Институтом физики Земли (ИФЗ) АН СССР до 1969 г. Данные обрабатывались в г.Талгар комплексной сейсмологической экспедицией (КСЭ) ИФЗ. АС СССР. В 1969 г. станции КСЭ были переданы Институту геологических наук (ИГН) АН Казахской ССР, а затем всозданный Институт сейсмологии (ИС) АН Казахской ССР (1976), где сеть получила развитие за счет открытия новых станций и обсерваторий и дальнейшей модернизации уже существующих станции. В 1979 году была создана Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция (СОМЭ), которая до настоящего времени удовлетворяет требования по сейсмологическому мониторингу наиболее сейсмически активных зон Казахстана. После 1991г. вплоть до начала 2000-х годов сейсмологические исследования в РК оказались в состоянии тяжелого финансового и кадрового кризиса, что не позволило модернизировать имеющиеся сеть в соответствии с последними научно-техническими достижениями в этой сфере. С улучшением экономической ситуации, СОМЭ начала обновлять имеющиеся сейсмическую аппаратуру и оборудования связи на собственные средства или получая в виде безвозмездных поставок от других организации. Но этот темп был крайне недостаточен для модернизации имеющиеся сети, поэтому до сих пор часть станции эксплуатирует аналоговое оборудование. В настоящее время с увеличением количества международных проектов и понимания со стороны государства о необходимости сейсмологического мониторинга, после недавних катастрофических землетрясении в Турции и Сирии, наблюдается увеличение оборота модернизации оборудования и программного обеспечения сейсмического мониторинга. Так же правительством запланировано увеличение на 285 сейсмостанции сети наблюдения, не считая дополнительных 11 биостанции.

Сеть сейсмических станций на территории Республики Казахстан. Сеть сейсмических наблюдений ТОО «СОМЭ» обеспечивает ей роль единственной

организации способной проводить сейсмические наблюдения в стране. ТОО «СОМЭ» обладает наиболее широкой, в плане охвата территории и методов наблюдения, сетью сейсмических наблюдений на территории РК позволяющего проводить сейсмический мониторинг наиболее сейсмически активных зон. Сейсмические наблюдения проводятся на 46 станциях. Сейсмические наблюдения проводятся с целью: создания каталога землетрясений, являющегося основой для всех сейсмологических исследований; получения оперативной информации о «сильных» землетрясениях; изучения различных параметров -предвестников сейсмического режима и сейсмических волн; получения информации о поведении различных типов грунтов при сильных землетрясениях в целях инженерной сейсмологии. Наблюдения проводятся в широком частотном и динамическом диапазонах различными видами аппаратуры. Комплекс аппаратуры сети сейсмического мониторинга включает:

- поколение аппаратуры начала 2000-х годов - цифровые сейсмические станции DM24, Q730, DAS6102 с сейсмометрами с различными периодами регистрации;
- аналоговая сейсмотелеметрическая аппаратура «Вулкан», интегрированная в общую цифровую систему сбора и обработки данных СОМЭ посредством АЦП-DAS6102;
- цифровые установки сильных движений первого поколения ALTUS ETNA, которые предполагают заменить в ближайшей перспективе на ETNA 2.
- современную аппаратуру от различных производителей, полученных в распоряжение ТОО «СОМЭ» при выполнении проектов, которые будут описаны ниже. Применение на цифровых станциях спутникового, мобильного, радиочастотного каналов связи значительно ускорили прием и обработку данных сейсмических событий. Бесперебойную телеметрическую линию связи, исходя из опыта работ, обеспечивает спутниковый и радиочастотные системы. Наиболее перспективным является переход на радиолинию частот в диапазоне от 5160 до 5825 МГц. Использование Wi-Fi 6Е ограничено дальностью сигнала в этом диапазоне и ограничениями по их использованию законодательством. Скорость передачи данных при использовании радиосвязи на Wi-Fi-частотах позволяет не только обеспечить бесперебойную трансляцию сейсмического режима в реальном времени на станции, но и использовать преимущество IoT (интернет-вещей) для удаленной проверки систем питания станции, регистрации климатических параметров, контроля безопасности на территории станции и т.д. Применение подобного рода систем связи удерживаются характеристиками регистрирующего оборудования системы сейсмического мониторинга.

По большей части сеть станции ТОО «СОМЭ» еще требует замены комплекса аппаратуры. В период кризиса финансирования СОМЭ, по собственной инициативе, специалисты восстанавливали, создавали переходные типы аппаратуры, программного обеспечения для сейсмических исследований. Даже применялась и вводилась в эксплуатацию аппаратура частных казахстанских производителей, по характеристикам не уступавшим зарубежным образцам. Долгий период отсутствия стабильного обновления сейсмической аппаратуры, привел к тому, что в единой системе сейсмического мониторинга СОМЭ присутствует как аппаратура последних лет, так и произведенные ранее 1991 года. Замена устаревшего сейсмического оборудования по настоящее время в основном шла за счет передачи их с исполненных проектов, где ТОО «СОМЭ» выполняла работы по рекогносцировке, установке сейсмических станций их обслуживанию, обработке и т.п. Ниже перечисленные проекты позволили частично модернизировать, а некоторые расширить имеющиеся сеть сейсмических наблюдений ТОО «СОМЭ»:

Международный проект «Расширение сейсмической сети на Кавказе и в Центральной Азии» позволил расширить сеть наблюдений СОМЭ на территории РК. Проектом предусматривалось не только установка сейсмических станций, но и строительство сооружений под аппаратуру, скважин под Trillium 120 РН, автономной системы питания на основе мини-СЭС. Цифровая станция по этому проекту состоит из

скважинного сейсмометра Trillium 120 PH, сейсмометра TrilliumCompact, акселерометра Titan, цифровой регистратор CentaurCR-4. Информация по техническим характеристикам оборудовании расположены на официальном сайте производителя - <https://nanometrics.ca/products>. Питание станции осуществляется солнечными мини-электростанциями мощностью 450 Вт. Телеметрическая линия связи работает с помощью GSM-роутеров. Прием и сбор данных налажен в отдельный сервер ЦСО СОМЭ и IRIS (USA).

Сейсмическая сеть Абайской и Восточно-Казахстанской областей является результатом проведения Институтот Сейсмологии работ по изучения сейсмичности территории восточной части Казахстана. Количество станции в данном регионе, не включая установленных ранее или по сторонним проектам, составляет 5 единиц широкополосных станции и 1 пункта сильных движения в г.Усть-Каменогорск на базе акселерографа ETNA 2(<https://kinemetrics.com>). В качестве станции установлен Guralp 6TD - широкополосный трехкомпонентный сейсмометр, имеющий в составе широкополосный велосиметр и регистратор (производства GuralpSystemsLimited, Англия). Характеристики станции можно изучить на официальном сайте компании: <https://www.guralp.com>. Отправка данных в режиме реального времени осуществляется по мобильному каналу связи на отдельный сервер в ЦСО СОМЭ. По итогам 2023 года, так же ожидается передача на баланс около 10 аналогичных станции по другим областям РК.

Отдельно от всех перечисленных стоит проект «Автоматизированной системы раннего оповещения о сильных землетрясениях для г. Алматы» ГУ "Департамент по чрезвычайным ситуациям города Алматы" МЧС РК. Целью создания АСРО является внедрение для г.Алматы с возможностью получения в автоматическом режиме сигнала о приближении разрушительной сейсмической волны к г. Алматы и заблаговременное оповещение населения с помощью мобильного приложения и сиренно-речевых устройств города. АСРО состоит из следующих компонентов: автономные сейсмостанции, оборудованные независимыми бесперебойными источниками питания (солнечные батареи, аккумуляторы); центральный сервер в серверной АО «ЦРА», который обеспечивает сбор, хранение, обработку и анализ данных со станции АСРО; автоматизированные рабочие места операторов с персональными компьютерами; программный продукт с функциями по приему, обработке и передаче данных с сейсмостанции на АРМ и мобильное приложение. В АСРО данного проекта входят 28 станций, которые должны заменит равное количество из имеющиеся сети наблюдения СОМЭ. Оснащены станции широкополосными регистраторами GeoSIG GMSplus (технические характеристики - <https://www.geosig.com>). Особый интерес АСРО вызывает не столько количеством вводимых в эксплуатацию современных станции в систему мониторинга (при том что это больше половины эксплуатируемых сейсмических станции СОМЭ), а тем что при этом в практику вводятся новые технологии автоматизации первичной обработки данных и канал оповещения населения о сейсмическом событии – через мобильное приложение.

Исследования рынка сферы предоставления геофизических услуг – в частности сейсмических наблюдений показывают, что существует возможность модернизации и расширения системы мониторинга сейсмического режима за счет кооперации и коллаборации отдельных организаций. Сейсмические наблюдения в Казахстане проводятся небольшим числом компаний. Но даже это незначительное число могло бы увеличить количественные и качественные возможности исследования в сфере сейсмологии. Однако устанавливаемые ими станции являются временными и демонтируются по окончании исполняемых проектов, что не позволяет использовать их для мониторинга за сейсмической активностью на территории Казахстана для дальнейшей прогнозной оценки. Отличаются так же цели проектов будь то международный мониторинг за ядерными испытаниями, геотехническое исследование объектов и сооружений, экологический мониторинг при добыче недр и т.п. Использование данных,

полученных такими организациями, для решения других задач сейсмологии затруднено по ряду причин: неопределенностью формы собственности этих данных; отсутствием единого центра сбора данных для сейсмологических исследований; «мнимой» конкуренцией за рынок геофизических услуг; слабыми связями между научно-исследовательскими и производственными организациями в целом по геологической отрасли.

Заключение. Созданная уникальная система сейсмического мониторинга для организации сбора, обработки и хранения информации существенно расширила возможности круглосуточного контроля за геодинамической ситуацией обширной части страны. Использование спутниковых, мобильных и различного диапазона радиочастотных каналов связи дало возможность исследовать динамику сейсмических процессов непосредственно при их проявлении и оперативно реагировать на изменение сейсмической обстановки в той или иной части. Дополнительно позволив уменьшить издержки эксплуатации станции применяя технологии интернет-вещей. Модернизация аппаратуры с заменой аналогового оборудования на цифровые привело к повышению чувствительности отдельных станций, не менее чем на 15–20%. Причиной этому послужит возможность повышения отношения сигнал/шум за счёт применения подобранных для каждой станции полосовых фильтров и поляризованного анализа записи. Модернизация наблюдательной сети необходима не только для повышения чувствительности сети, улучшения точности определяемых параметров землетрясений, но и для ускорения процесса получения оценок землетрясений, что чрезвычайно важно для быстрого реагирования служб спасения при уже произошедшем разрушительном землетрясении. Повышение чувствительности сети позволит повысить надежность и объективность результатов анализа напряженного состояния земных недр, что напрямую связано с решением задач прогноза сейсмических событий.

В начале посткризисного периода СОМЭ получила уникальный опыт по внедрению и эксплуатации сейсмического оборудования разработанного и произведенного в Казахстане. Перманентное дефицитное финансирование СОМЭ не позволило развить и закрепить переход на отечественную наукоемкую продукцию, что даже в данный период является лишь дальней перспективой подавляющего большинства иностранных сейсмологических организаций. Годы депрессии в отрасли негативно сказались на количественных и качественных показателях в исследовании и мониторинге сейсмической активности на территории РК, последствия которого еще до конца не преодолены. Предпринимаемые меры и принятые планы правительства РК могут решить основную часть накопленных проблем в модернизации сети сейсмических наблюдений. Хотя остается вопрос что будет в конце цикла эксплуатации поставленного оборудования, может ли наследие стагнации 90-х годов стать перманентным фактором в сейсмологии Казахстана. Понятно, что без сотрудничества с другими организациями занимающиеся сейсмическими исследованиями внутри страны и за ее пределами, правительственной поддержки и разработки стратегического плана невозможно преодолеть тот разрыв в области сейсмологии Казахстана и передовых стран. Иностранные организации – это один из основных доноров модернизации системы наблюдения сейсмической активности в Казахстане. Существуют перспективы разработки и исполнения проектов включающее территорию Казахстана сейсмологическими организациями таких стран как США, Япония и Китай. Включение Казахстана в двусторонние и/или многонациональные проекты, позволят не только расширить и модернизировать техническое оснащение сетей сейсмического наблюдения, но и проводить обмен опытом с зарубежными специалистами.

Модернизация сети сейсмических наблюдений требует не только кризис менеджмента со стороны правительства, но возможно в большей степени разработки и принятия стратегического плана (от 10 лет). Стратегии развития сейсмологии на длительный период, где указан курс на постоянное и стабильное внедрение передовых технологии, средств наблюдения, сопутствующей аппаратуры из мировой практики

сочетается с поставками отказоустойчивых наукоемких производств; планируемые стратегические цели исходят не только от актуальных потребностей, но и перспектив охвата всех сейсмически активных, не в полной мере изученных районов и зон техногенной сейсмичности территории РК.

Литература

1. Khalturin, V. I. Seismicity, Recent Seismic Observations and Seismological Institutes in Post-Soviet Central Asian Republics / V. I. Khalturin, P. G. Richards, W.-Y. Kim // Open report – 2006. – 29 p.
2. Bolt B.A. The revision of earthquake epicenters, focal depth and origin times using a high-speed computer. Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1960, v.3, №4, pp. 433-465.
3. Непейна К.С. Сейсмические наблюдения в Центральной Азии // Вестник НЯЦ РК № 2 – 2018 – 107-108 стр.
4. Диана Матвеева. На улучшение мониторинга землетрясений хотят выделить 72,4 млрд тенге, так как сейсмостанций мало и они устарели. - <https://kz.kursiv.media/2023-07-28/mtww-zemletr/>
5. И. Н. Рыкова, д.э.н. Подходы к определению результативности научно-исследовательской деятельности в России / Financial journal №3 – 2013 – 73-87 стр.

Гашимов Р. А., Шиман Д. В., Ескендиоров Д. А.
Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция,
МЧС РК, г. Алматы, ул. аль-Фараби 75а,

КОМПЛЕКСНЫЕ ПОЛЕВЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация: Введение в сейсмологический мониторинг. Обзор комплексных полевых сейсмологических исследований на территории Республики Казахстан. Перспективы и проблемы развития сейсмологической сети Республики Казахстан.

Annotation: Seismology monitoring introduction. Review of complex seismological field investigations in the territory of Republic of Kazakhstan. Development of Kazakhstan seismological network, its possibilities and problems.

Землетрясение является одним из самых разрушительных геологических явлений на Земле. При землетрясении высвобождается огромное количество энергии. Например, энергия среднего по силе землетрясения эквивалентна энергии примерно 1 миллиона тонн взрывчатки. Катастрофические землетрясения уносят сотни тысяч жизней и приводят к разрушению целых городов. Среднегодовой ущерб последствий катастрофических землетрясений оценивается в сотни миллионов долларов. Индустриализация современного общества и большая плотность населения создают условия для возникновения связанных с землетрясениями технических катастроф, таких как разрушения гидротехнических сооружений, сооружений атомно-энергетического комплекса, которые также влекут за собой тяжелые последствия [1].

С целью снижения последствий и составления прогноза возможных землетрясений на сегодняшний день на территории Республики Казахстан применяется сейсмологический мониторинг, включающий в себя помимо различных сейсмологических методик, также комплексные полевые сейсмологические исследования. Важнейшей задачей сейсмологического мониторинга является быстрое определение параметров наиболее крупных землетрясений, представляющих потенциальную опасность для населения и экономики страны. Результаты такого мониторинга, получаемые практически в реальном времени, используются, в частности, при составлении прогноза

землетрясений. В то же время другой очень важной задачей является наиболее полное изучение всех землетрясений, включая самые слабые. Это необходимо для детального изучения тектонической активности земной коры территории Республики Казахстан и разработки вероятностных моделей сейсмической опасности. На основе результатов сейсмологического мониторинга строятся карты сейсмического районирования и разрабатываются нормы сейсмостойкого строительства.

В самом общем виде наиболее важные проблемы сейсмологического мониторинга это – определение места, силы и повторяемости землетрясений, причем под «местом» в данном случае подразумевается не только локальная эпицентральная зона, а также региональная сейсмогенерирующая структура. Проблема прогноза места возникновения землетрясений достаточно сложная и ее решение возможно в двух направлениях. Первым является инструментальное изучение сейсмичности регионов, с применением комплексных полевых исследований. Возможности его ограничиваются, с одной стороны, трудностями создания достаточно густой сети регистрирующей аппаратуры, а с другой, длительностью наблюдений для накопления статистически достоверных сведений об экстремальных событиях. Второе направление – сеймотектоническое – призвано восполнить недостатки первого путем историко-тектонического анализа геологического строения исследуемой территории. В оптимальном варианте эти два направления дополняют друг друга. Определение места возможного возникновения землетрясений в зависимости от поставленной цели исследования и степени изученности территории может рассматриваться в глобальном, региональном и локальном масштабах [1].

Особого внимания заслуживают комплексные полевые сейсмологические исследования, которые играют не последнюю роль при сборе и анализе сейсмологических данных, применяемых при составлении прогнозов землетрясений, построении карт сейсмического районирования и разработке норм сейсмостойкого строительства.

Комплексные полевые сейсмологические исследования представляют собой систематические, непрерывные наблюдения за параметрами естественных полей земной коры, проводимые с целью регистрации её колебаний и поисков предвестниковых эффектов сильных землетрясений. Наблюдения комплексных полевых исследований, включают проведение высокоточных измерений сейсмических данных, геофизических полей, гидрогеологических параметров, наблюдений за современными движениями земной коры и поведением биологических объектов в регионах повышенной тектонической активности [2].

Комплексные полевые сейсмологические исследования осуществляются посредством сети сейсмологических станций с применением на них различных сейсмологических методов, в комплексе либо по отдельности, в зависимости от геологических условий местности где расположена сейсмологическая станция (наличие тектонических разломов, выход коренных горных пород на земную поверхность, возможность закладывания самоизливающихся водоносных скважин, отсутствие факторов оказывающих негативное влияние на качество сейсмологических данных).

На сегодняшний день с целью реализации комплексных полевых сейсмологических исследований, на сети сейсмологических станций ТОО «СОМЭ» (ТОО «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» организация, проводящая работы по сейсмологическому мониторингу на территории Республики Казахстан), применяются следующие методы сейсмологического мониторинга:

- 1) Сейсмический мониторинг – осуществляется посредством регистрации сейсмических колебаний и сейсмических упругих волн, возникающих в горных породах в результате землетрясений. Сейсмический мониторинг проводится с применением цифровой сейсмической аппаратуры с широким динамическим диапазоном, необходимым для регистрации как слабых, так и сильных землетрясений различной удалённости. Короткопериодная аппаратура (периоды от 0,02 до 10 сек.) с высокой чувствительностью регистрирует землетрясения в ближней зоне. Длиннопериодная аппаратура (периоды от 10

до 360 сек.) позволяет регистрировать землетрясения как в ближней зоне, так и сильные землетрясения на удалении в несколько тысяч километров;

2) Геофизический мониторинг – осуществляется посредством круглосуточной режимной регистрации параметров геомагнитных и геоэлектрических полей с применением различных геофизических методов (магнитометрия, анализ импульсного потока геоэлектрических полей). Основной задачей режимных геофизических работ является получение длительных рядов наблюдений за вариациями геофизических полей для обеспечения материалами наблюдений работ по поиску предвестников сильных землетрясений.

3) Гидрогеологический мониторинг проводится посредством гидрогеологических наблюдений за вариациями гидрогеодинамических, гидро- и газохимических параметров подземных вод и формирования банка гидрогеологических данных с целью поиска предвестниковых эффектов сильных землетрясений в пределах исследуемой территории. Гидрогеологический мониторинг включает в себя анализ химических и физических параметров подземных вод, проводимый в соответствии с технологической схемой производства режимных гидрогеологических наблюдений;

4) Сейсмобиологический мониторинг осуществляется посредством регулярных наблюдений за животными в условиях ограниченной свободы передвижения, при которых появляется возможность выявить и зафиксировать изменения поведения, с целью использования в качестве прогнозного признака, применяемого при прогнозировании землетрясений. При сейсмологическом мониторинге применяются: визуальные наблюдения за животными, автоматическая регистрация активности животных и инструментальные измерения [2].

Все вышеупомянутые методы применяются в комплексе при проведении полевых сейсмологических исследований. Именно комплексирование полевых исследований играет важную роль при сборе и анализе сейсмологических данных с целью выявления предвестниковых эффектов сильных землетрясений. Выявление предвестниковых эффектов сильных землетрясений позволяет получить представление о напряженном состоянии земных недр, в которых протекают процессы подготовки землетрясений, что является одним из основных понятий современной сейсмологии. В основе множества современных публикаций по сейсмологии лежит гипотеза упругой отдачи. Смысл этой гипотезы понятен из следующего рассуждения:

"Невозможно, чтобы горная порода разрушилась, не будучи предварительно подвергнута действию упругих напряжений, больших, чем она может выдержать; единственными мыслимыми способами быстрого приложения этих напряжений является взрыв или быстрое устранение или добавление материала под некоторой частью коры. Как взрыв, так и быстрое течение расплавленных пород связаны с вулканическими землетрясениями, которые здесь не рассматриваются; поскольку происходят землетрясения, не связанные с вулканической деятельностью, мы приходим к заключению, что кора во многих частях Земли медленно перемещается, и разности перемещений в соседних областях создают упругие деформации большие, чем порода может выдержать, затем возникает разрыв, и деформированные породы испытывают отдачу под действием их собственных упругих напряжений, пока эти деформации в значительной степени или почти полностью не будут сняты..." [3].

Большинство научных работ по тематике раннего прогнозирования и изучения процессов принимающих участие в подготовке землетрясений к настоящему времени мало изучены и представляют собой лишь гипотезы и тезисы которые требуют большего внимания, более обширного сбора и изучения сейсмологической и геофизической информации, а также требуют привлечения и подготовки большего количества квалифицированных специалистов в области сейсмологических и геофизических исследований геологических процессов происходящих недрах Земли. Развитие сейсмологии как прикладной науки позволит оказать большое влияние на формирование

базы знаний в области раннего прогнозирования землетрясений, получить более четкое представление о геологических процессах происходящих при подготовке предстоящих землетрясений, а также позволит более досконально изучить аномальные и предвестниковые явления, указывающие на возникновение землетрясений.

На сегодняшний день, одна из важнейших проблем комплексных полевых сейсмологических исследований в Республике Казахстан – это недостаточно широкая сеть сейсмологических станций. В странах дальнего и ближнего зарубежья (США, Южная Корея, Япония, КНР и т. п.) количество пунктов сети регистрации сейсмологической активности достигает, по разным данным, от 1500 до 6000 единиц. Это намного превышает количество сейсмологических станций на территории Республики Казахстан, что очень негативно влияет на полноценность сейсмологических данных. Несомненно, расширение сети комплексных полевых сейсмологических станций – это очень трудоемкий и сложный процесс по организации подготовительно-исследовательских работ, с целью определения пригодности места для размещения объектов, на которых планируется проведение сейсмологических наблюдений, организации монтажно-строительных и работ по вводу в эксплуатацию объектов сейсмологических наблюдений. Все это требует привлечения квалифицированных специалистов в области сейсмологии, которых на сегодняшний день катастрофически не хватает в Республике Казахстан, а также огромных финансовых вложений. Но в тоже время, не вызывает сомнения тот факт, что расширение сети станций комплексных сейсмологических исследований окажет крайне положительное влияние на качество и оперативность при сборе и анализе сейсмологических данных, что в свою очередь отразится на раннем прогнозировании землетрясений и возможности более детального изучения геологических процессов указывающих на возникновение землетрясений.

Литература

1. А. В. Тимуш «Сеймотектоника литосферы Казахстана.» Министерство образования и науки Республики Казахстан; Институт сейсмологии. – Алматы, 2011; стр. 5, 11, 12.
2. Гашимов Р. А., Ведущий гидрогеолог Калинин В.М., начальник отряда СБО Диханбаев А.Н. и др. Годовой научно-технический отчет ТОО «Сейсмологическая Опытно-Методическая Экспедиция» Алматы, 2022; стр. 14, 77, 113, 121, 129.
3. Костров Б.В. «Механика очага тектонического землетрясения.» Москва: Наука, 1975; стр. 29.

Жунусова А.Ж., Гашимов Р.А., Ескендиоров Д.А.

Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция
МЧС РК, г.Алматы, ул. аль-Фараби 75а, aijanjun@mail.ru

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ УСТАНОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Аннотация. В данной статье представлено исследование сейсмического шума на выбранной территории с целью подготовки к установке сейсмических станций. В ходе исследования были выполнены следующие этапы: обоснование актуальности исследования сейсмического шума, определение цели, анализ сейсмического шума и его источников, а также оценка влияния факторов, влияющих на сейсмический шум. Показан хороший уровень фоновых шумов в сравнении с верхнеуровневой и нижнеуровневой модели Петерсона.

Summary. This article presents a study of seismic noise in a selected area in order to prepare for the installation of seismic stations. During the study, the following steps were performed: substantiation of the relevance of seismic noise research, definition of goals, analysis of seismic noise and its sources, as well as assessment of the influence of factors affecting seismic noise. A good level of background noise is

shown in comparison with the high-level and low-level Peterson models.

Сейсмическое исследование территории для установки сейсмических станций является неотъемлемой частью современных сейсмологических исследований. Одним из ключевых факторов, влияющих на успешное функционирование сейсмических станций, является сейсмический шум [1,2]. Сейсмические станции предоставляют возможность анализа сейсмического шума. Понимание особенностей фоновых колебаний на определенной территории помогает определить оптимальные местоположения для установки сейсмических станций. Именно знание сейсмического шума позволяет сейсмологам выбирать места, где воздействие внешних источников шума минимально, обеспечивая более точное и надежное сейсмическое наблюдение. Цель данного исследования заключается в анализе и оценке сейсмического шума на территории, предназначенной для размещения сейсмических станций, а также в выявлении его источников и влияния на качество измерений. Основные источники, влияющие на сейсмический шум:

- антропогенные источники (человеческая деятельность, такая как транспорт, промышленность, строительство, добыча полезных ископаемых, взрывы, технические факторы и энергетические установки и др.);

- природные источники (воздействие ветра на растения и поверхность земли, бегущая вода, океанские волны, грозы, падение атмосферных осадков, вулканическая активность и др.);

- геологические особенности, такие как тип грунта, геологический состав и структура, могут оказывать значительное влияние на характеристики сейсмического шума. Поэтому области с различной геологией могут обладать разными уровнями шума.

Понимание всех этих факторов и их влияния на сейсмический шум подчеркивает сложность его изучения и важность учета при планировании установки сейсмических станций. Ранее в ТОО «Институт сейсмологии» совместно с ТОО «СОМЭ» проведены работы по выбору новых мест размещения сейсмических станций на территории РК с дальнейшим использованием в реализации программ автоматизированной системы раннего оповещения о сильных землетрясениях (СРО). Для проведения анализа сейсмического шума использовались данные со станций ТОО «СОМЭ» (16 станций) и с новых мест размещения сейсмических станций (15 станций) (Рис.1, Таб.1). Для анализа спектральной плотности сейсмического шума использовался полевой комплект оборудования SMG6TD с диапазоном регистрации 30с– 100Гц. В течение проведения полевых работ были записаны сейсмические сигналы со всех полевых пунктов. Эти данные стали основой для дальнейшего анализа.

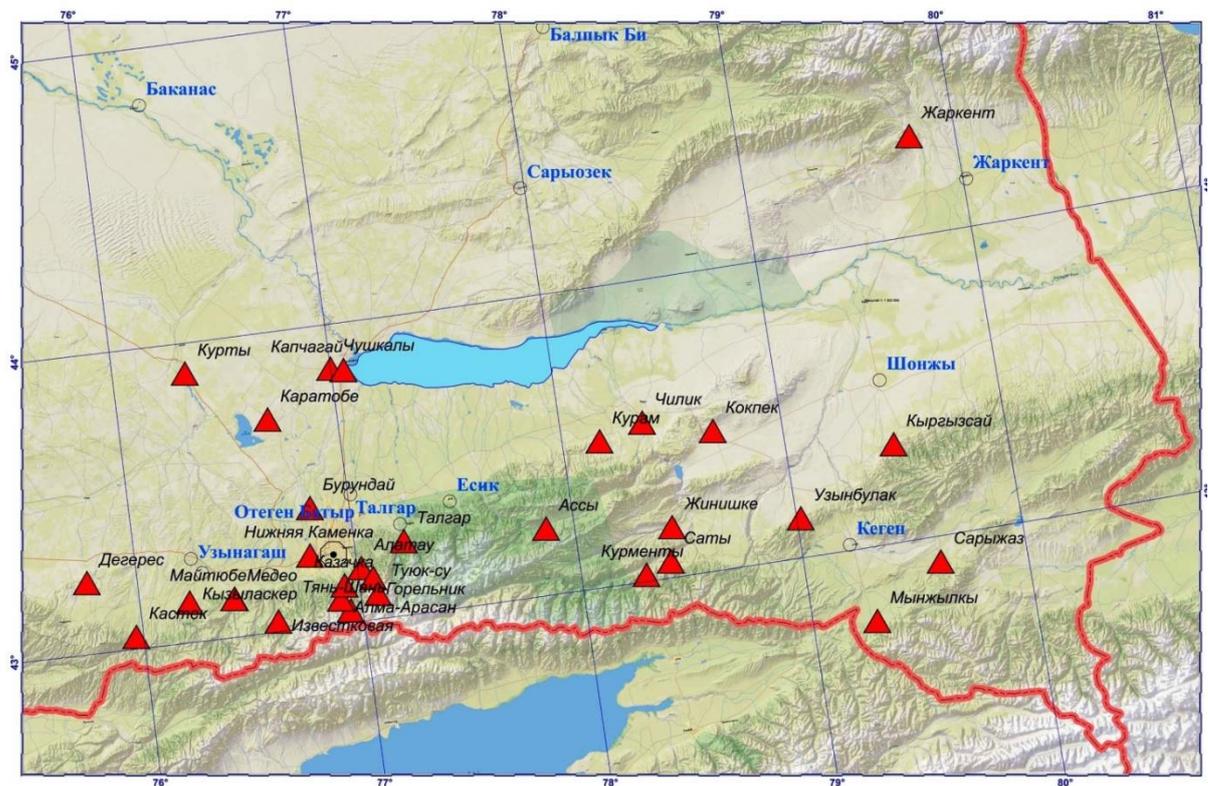


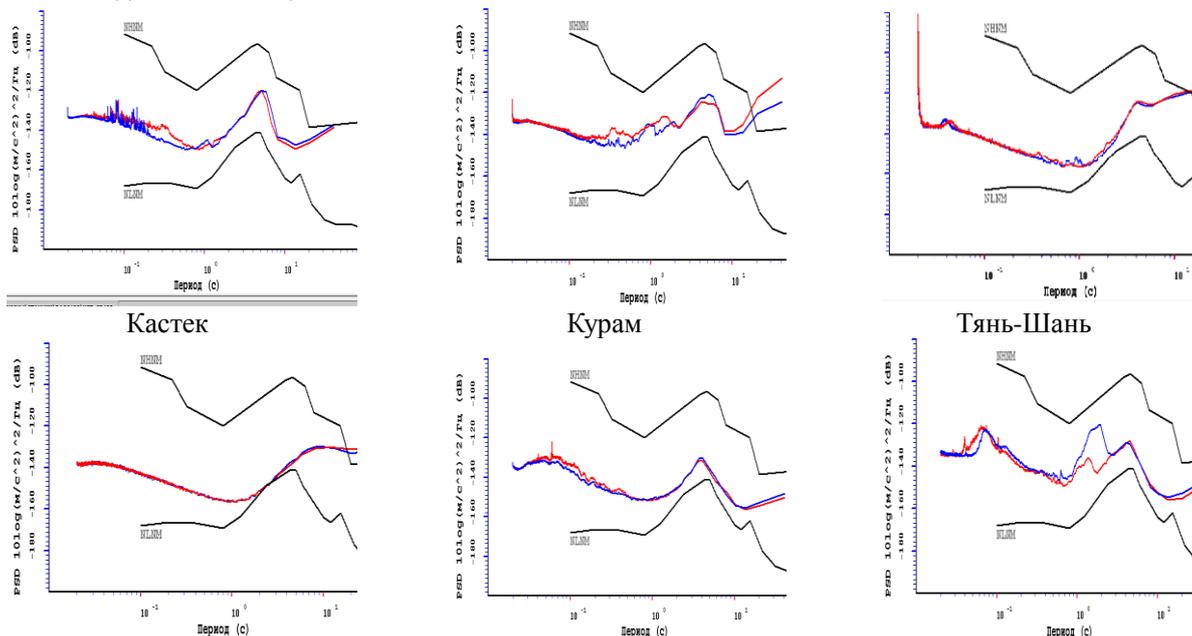
Рисунок 1. Карта расположения исследованных сейсмических станций.

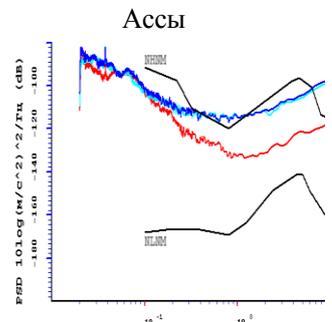
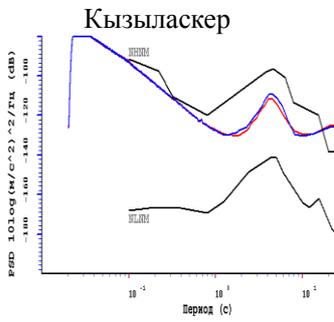
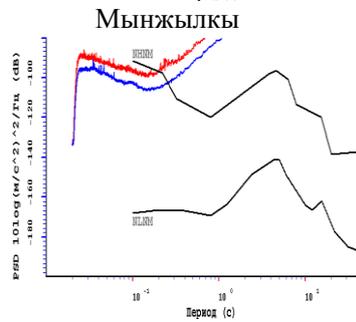
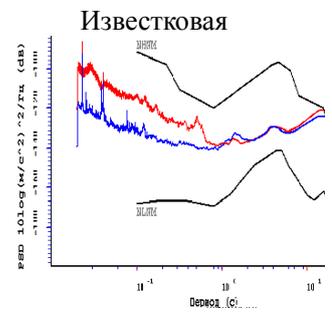
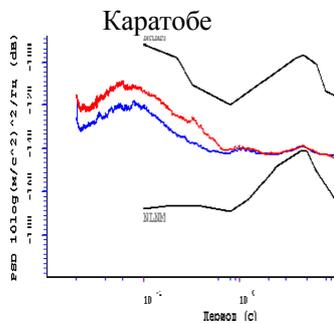
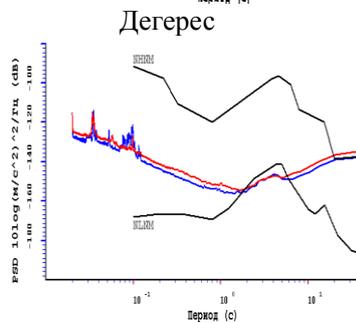
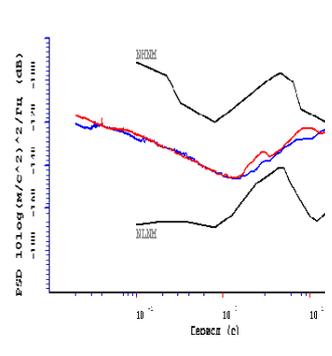
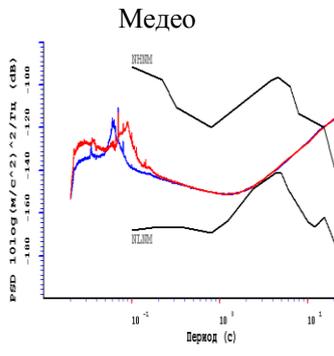
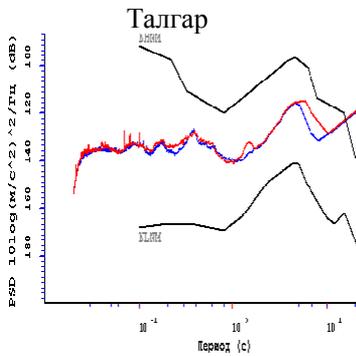
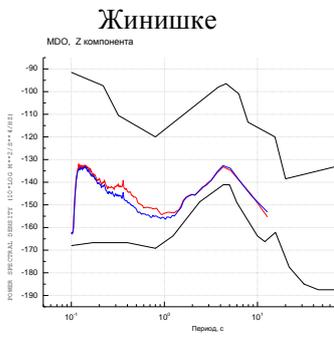
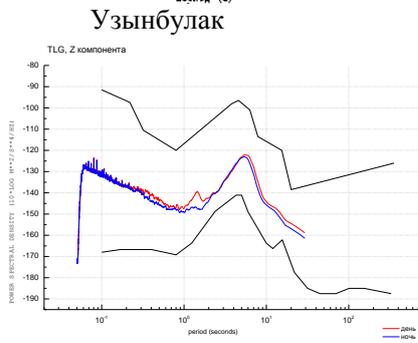
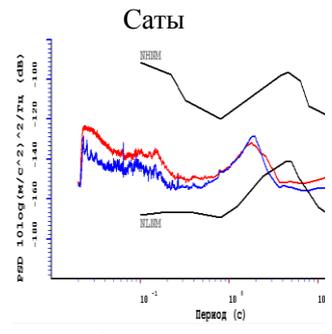
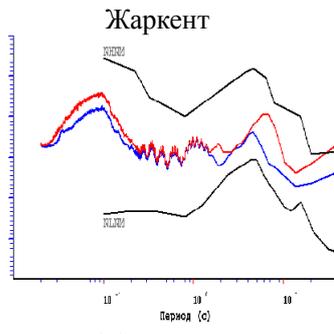
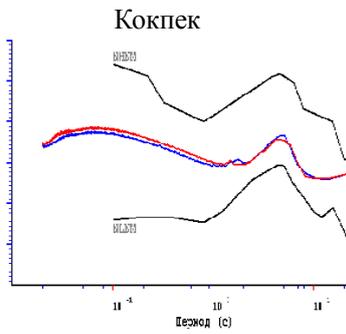
Исследования по анализу сейсмического шума проведены два этапа. Работы первого этапа включают в себя:

1. зарегистрированные сейсмические сигналы преобразованы в формат CSS3.0, проведен первичный контроль качества данных;
2. записи разбиты на интервалы времени (10-15 минутные записи);
3. по каждой станции создавались не менее 20 фрагментов 10-15 минутных записей без сильных региональных и телсейсмических событий;
4. отдельно формировались данные для изучения дневного и ночного шума для выявления вариаций уровня шума в течение дня. Дневным периодом считалось местное время от 7 до 19 часов, ночным – от 19 до 7 часов.

Работы второго этапа:

1. по программе PNP проведены расчеты спектральной плотности сейсмического шума по всем каналам для всех станций.





Чушкалы

Курты

Капчагай

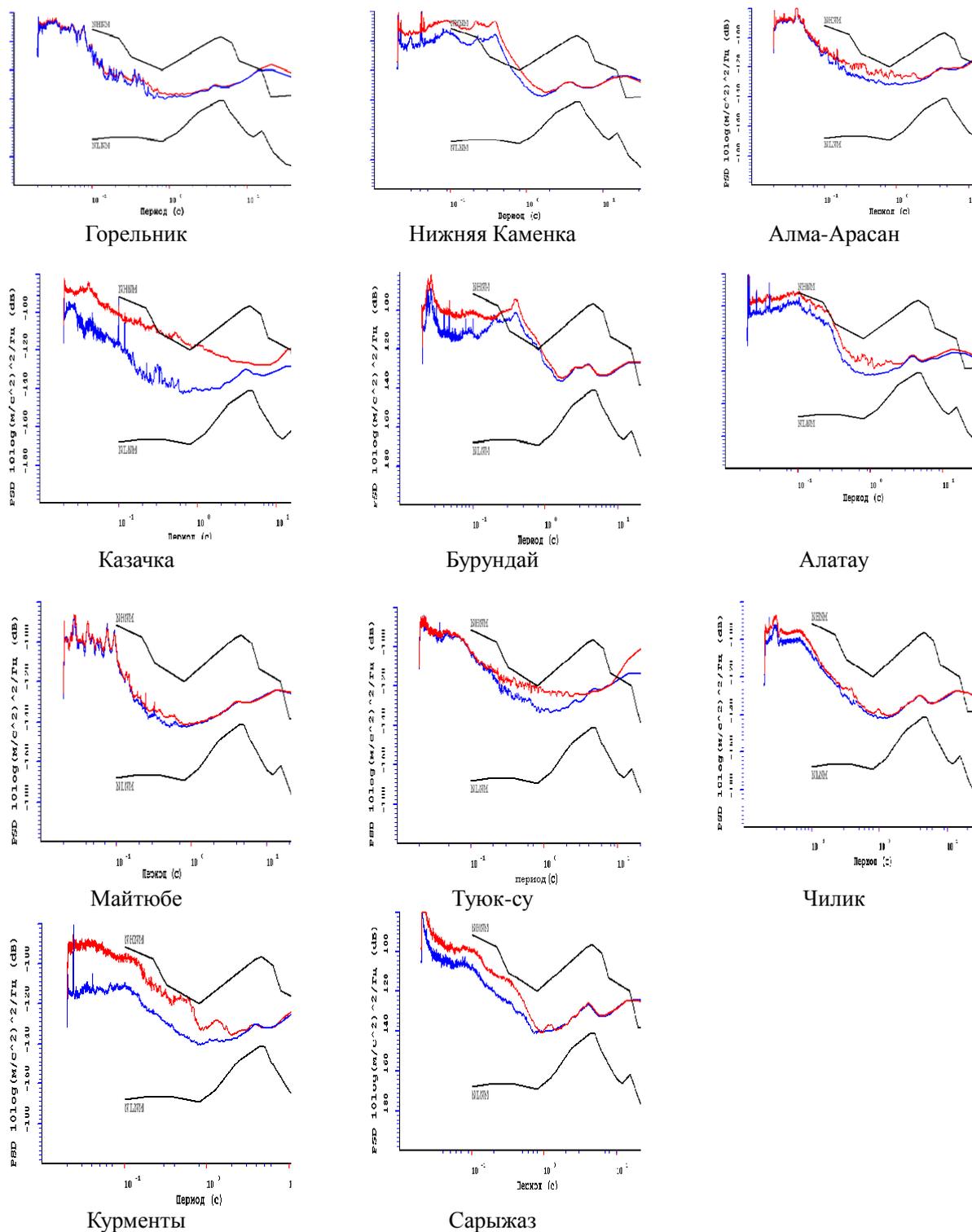


Рисунок 2 Сравнение СПМ шума компоненты Z для дневного и ночного времени суток

Основные выводы исследования

На основе проведенного исследования сейсмического шума и его вариаций на выбранной территории, можно сделать следующие выводы:

-спектральные кривые сейсмического шума станций Тянь-Шаня, Кастек, Курам, Кокпек, Жаркент, Саты, Узунбулак, Жинишке, Кыргызсай, Дегерес, Каратобе, Известковый, Мынжылкы, Кызыласкер, Ассы тяготеют к нижнеуровневой модели сейсмического шума и их можно отнести к категории чувствительных станции. Оценка параметров сейсмического шума свидетельствует о хороших возможностях станций для мониторинга сейсмических событий на локальных и региональных расстояниях.

-станции Чушкалы, Майтубе, Туюк-су, Чилик, Курменты, Сарыжаз, Курты

приближены к верхнему уровню модели сейсмического шума. Обработка слабых локальных и региональных землетрясений затруднена. Но, несмотря на высокий уровень шума кривые СПМ хорошо вписываются в мировую модель.

-станции Капчагай, Горельник, Нижняя Каменка, Алма-Арасан, Казачка, Бурундай, Алатау находятся в окрестности оживленного города и СПМ также приближены к верхнему уровню модели сейсмического шума. Если первые вступления волн от телесейсмических землетрясений с $M > 5$ выделяются достаточно уверенно, то прослеживание вступлений волн при регистрации событий с $M < 3$ часто не представляется возможным.

-анализ вариаций от времени суток показывает, что для практически 60% станций разницы между дневными и ночными уровнями шумов практически мало. Это говорит о том, что станции находятся вдали от антропогенных помех и расположены в тихом месте.

-40% станций подвержены влиянию техногенного шума в дневное время. Основными факторами являются как антропогенные в связи с близостью поселков, городов, дорог, так и природные источники (ветер, горные речки, атмосферные осадки и т.д.). Однако, если применять соответствующие методы для минимизации его воздействия (установка на постаментах, в скважине, использование чувствительных приборов, фильтрация данных), то можно считать, что полученные данные говорят о подходящих условиях для выбора этих мест регистрации.

Обобщая, проведенное исследование предоставило важные научные данные, которые могут быть применены для принятия решений при установке сейсмических станций, понимания природы сейсмического шума и повышения достоверности результатов измерений и анализа

Авторы выражают огромную благодарность сотрудникам Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН за предоставление методики с применением программы расчета спектральной плотности сейсмического шума.

Литература

1. Borman P. (editor). IASPEI New manual of seismological observatory practice // GeoForschungsZentrum. Potsdam.
 2. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. вып.2. С. 19 - 26.
 3. Федоров И.С., Асминг С.В., Гоев А.Г., Волосов С.Г. Расширение сети сейсмических наблюдений на Кольском полуострове // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т.4, No1. – С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.05>
- Jon Peterson, Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp

Калинин В.М

ТОО «Сейсмологическая
опытно-методическая экспедиция»

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА АЛМАТИНСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Аннотация. В статье описываются особенности поведения параметров наблюдаемых вод, характерные для некоторых гидрогеологических пунктов на Алматинской сети наблюдательных станций. Указывается зависимость проявления предвестниковых эффектов от геолого-тектонических условий расположения пункта наблюдения и типа исследуемой воды. Приводятся примеры проявления таких эффектов.

Annotation. The article describes the behavior of the parameters of the studied waters throughout the hydrogeological stations of the Almaty observation network, in the conditions that precede the earthquake. The article analyses the dependence of outlier values of the parameters of studied waters in correlation with geological and tectonic conditions and types of waters. Examples of the appearance of such outlier values of the parameters are provided.

Алматинский прогностический полигон имеет сеть гидрогеологических пунктов наблюдений, состоящую из 12 станций. Наблюдения проводятся в непрерывном режиме более 40 лет. Предметом исследований выбраны азотные термы, распространённые в областях сейсмической активности, имеющие специфический газовый и химический состав. В основном пункты наблюдений базируются на самоизливающихся скважинах в зонах тектонических нарушений в массивах кристаллических горных пород. Согласно представлениям российских учёных тектонические нарушения играют как роль каналов проводящих возмущения из очаговой области в окружающее пространство, так и роль экранов, препятствующих распространению этих возмущений в поперечном направлении [1]. Это подтверждается опытом проявления предвестниковых эффектов в пунктах наблюдения. Сигнал может поступать как с удалённых областей будущего очага (100-200км.), так и не проявляться на относительно близком расстоянии. Существенное влияние оказывают анизотропия пространства и чувствительность отдельных блоков земной коры к процессам подготовки землетрясений. На существование «чувствительных зон», где деформации среды превышают средний уровень, указывает Киссин И.Г. [2]. Выявление таких зон происходит по мере накопления фактического материала. Передача прогностического сигнала может происходить не только по выявленным, но и по скрытым тектоническим разломам на относительно большие расстояния. Такие эффекты нередко проявляются на Алматинском прогностическом полигоне. Как пример можно привести характерное проявление прогностических сигналов на станции Тау-Тургень перед землетрясением произошедшем 17.01.2023 года на расстоянии около 100 км. от пункта наблюдений с энергетическим классом 10.0 и магнитудой 4.6. (Рис.1 и 2). На данной станции наблюдения проводятся на кусте гидрогеологических скважин различной глубины и различными гипсометрическими отметками устья скважин. Транзит воды происходит по зонам трещиноватости гранодиоритов.

Рис.1 График вариаций температуры воды на станции Тау-Тургень

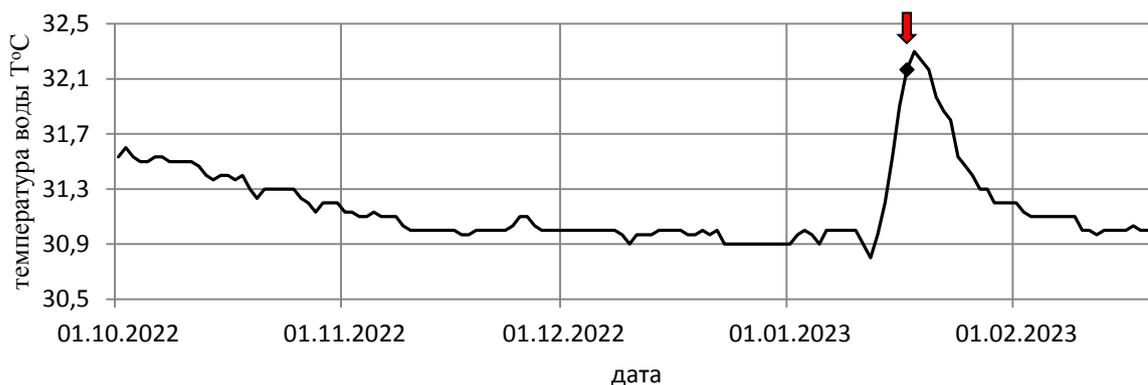
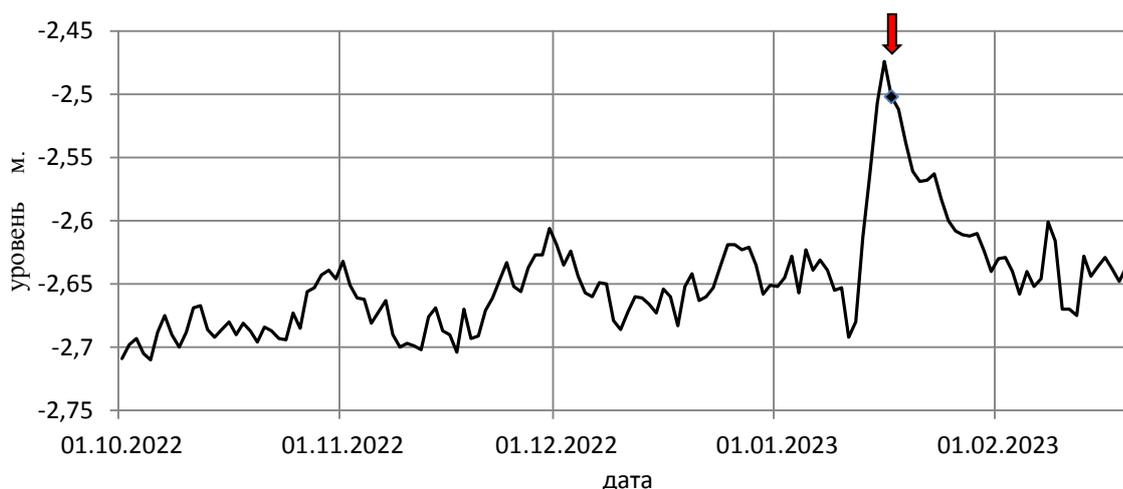
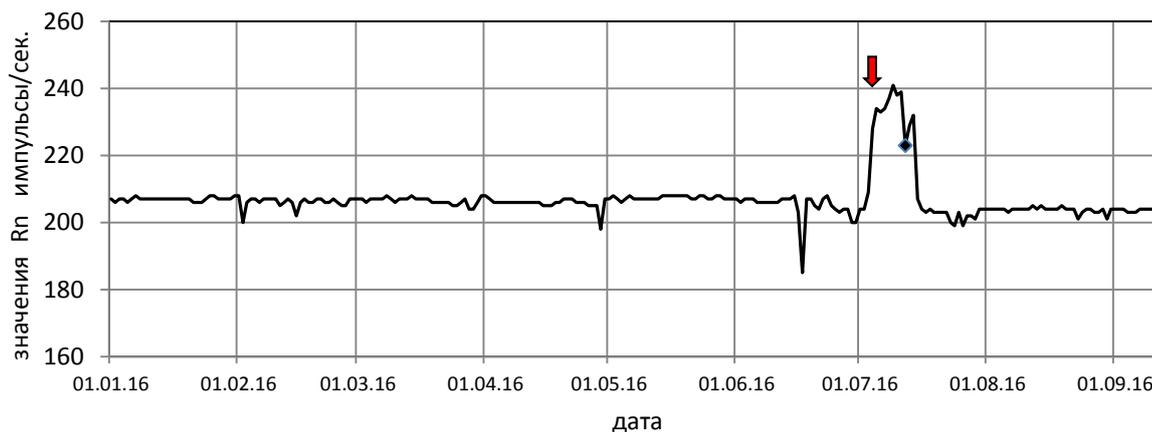


Рис.2 График вариаций уровня подземных вод на станции Тау-Тургень



В приведённом примере изменения происходят в результате увеличения проводимости трещин и большего поступления глубинной составляющей, что ведёт к быстрому росту уровня и температуры воды. После произошедшего события значения возвращаются к фоновому уровню. Отмечаются также изменения химического состава не столь ярко выраженные, но заметно превышающие фоновые значения. В других случаях эффекты проявляются без изменения количественных динамических параметров в хорошо промытых трещинных системах с активным водообменом. Как пример можно привести эффект, проявившийся в вариациях радона R_n на станции Алма-Арасан перед землетрясением, произошедшим 12.07.2016г. на расстоянии 40 км. от станции с энергетическим классом $K=10.6$ и ощущавшимся в г.Алматы с силой 2-3 балла (шкала MSK-64). (Рис.3) Согласно В.И. Уломову в процессе подготовки происходит интенсивное разрушение кристаллических решёток минералов и образование микротрещин, как следствие повышается эманационная способность породы и выделение заключённого в породе газа [3]. На это же указывают и японские сейсмологи [4].

Рис.3 График относительных вариаций содержания радона R_n на станции Алма-Арасан



Набор параметров реагирующих на процесс подготовки сейсмического события может быть различным. Несмотря на «мозаичный» характер их проявления, каждый пункт наблюдений имеет свои, наиболее часто проявляющиеся, чувствительные параметры, что обусловлено химическим составом изучаемых вод, геологическими условиями их существования, местом и силой готовящегося землетрясения. Так для подземных вод зоны замедленного водообмена на станции Нижняя Каменка, имеющих хлоридный кальциево-натриевый состав, таким параметром является содержание ионов

хлора. Для станции Чушкалы является содержание ионов магния, повышенное содержание которого отмечается в данных подземных водах. Для пунктов с высокощелочными водами характерна реакция карбонатной системы. Каждая гидродинамическая система имеет свой гидрогеохимический облик, т.е. гидрогеохимические поля нельзя аппроксимировать упрощенно на все станции полигона. Необходимо индивидуальное изучение всех параметров в конкретной системе. Это же относится и к гидродинамическим параметрам.

Существующая сеть гидрогеологических пунктов наблюдений недостаточна для более полного контроля сейсмической активности исследуемого региона. Планируется развитие сети и открытие новых станций. Описанные особенности учитываются при выборе новых пунктов и корректовке методики проведения наблюдений.

Литература

1. Геохимические методы прогноза землетрясений. В.Л. Барсуков, А.А.Беляев, Ю.А.Бакалдин и др. Российская академия наук Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского Москва «Наука» 1992г.
2. Гидродинамические предвестники землетрясений. Москва «Наука» 1984г.
3. Гидросейсмологические предвестники Узбекистана. Ташкент. Фан. 1983г.
4. Методы прогноза землетрясений Их применение в Японии. Москва «Недра» 1984г.

Lukianova P.

Space Research Institute (IKI RAN), Moscow, Russia

Siykhanova A.

Institute of seismology, Almaty, Kazakhstan

Daurbaeva G.

Institute of seismology, Almaty, Kazakhstan

VARIATIONS IN IONOSPHERIC ELECTRON DENSITY AND TROPOSPHERIC AEROSOL DURING THE NOVEMBER 14, 2014 KADJISAI EARTHQUAKE: CONJUGATED OBSERVATIONS OF THE SWARM AND SUOMI NPP SATELLITES

Abstract. Observations of the low-altitude polar-orbiting satellites SWARM and SUOMI-NPP during the Kadzhisay M5.5 earthquake of 2014 are combined. The first satellite monitors the ionospheric plasma perturbation, while the second one sounds the atmosphere and is capable to detect the occurrence of aerosol layers at the tropospheric heights. The electron density perturbations over the region of earthquake start a day before the shock and last several days. Simultaneously, in the troposphere, a dense, short-lived and also regionally limited aerosol layer is formed. Observational evidence of the concept of an electrodynamic lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling is given.

Аннотация. Объединены наблюдения низковысотных полярно-орбитальных спутников SWARM и SUOMI-NPP во время Каджисайского M5.5 землетрясения 2014г. Первый спутник отслеживает возмущения ионосферной плазмы, а второй зондирует атмосферу и может обнаруживать аэрозольные слои на высотах тропосферы. Возмущения электронной плотности над районом землетрясения начинаются за сутки до толчка и продолжаются несколько дней. Одновременно в тропосфере формируется плотный, недолговечный и к тому же регионально ограниченный аэрозольный слой. Приведены наблюдательные подтверждения концепции электродинамической связи литосфера-атмосфера-ионосфера.

1. Introduction

Anomalous changes in the atmosphere and ionosphere prior to and during large earthquakes are studied in order to identify features for the development of early detection methods. In the past decade a numerous ground based and satellite observations from the Earth surface up to the ionosphere were conducted aiming at detection of possible effects associated

with seismic activity and its precursors [Pulinets and Boyarchuk, 2004; Balasis and Manda, 2007; De Santis et al., 2019; Astafyeva, 2019].

In the ionosphere, the electric field, somehow generated over the fault due to the pre-seismic activity, affects the plasma by means of the electromagnetic drift in the crossed electric (E) and geomagnetic (B) fields. In particular, the eastward component of E moves plasma upwards and thus leads to the increase of the electron density at a certain altitude above the F2-layer maximum. The DEMETER satellite observations showed perturbations of the ionospheric electric field over seismic regions with the magnitude of 10 mV/m in average and the horizontal scales of 100–1000 km [Parrot et al., 2016].

The pre-seismic ionosphere effects are considered as a results of intensification of natural radioactivity near the Earth surface [Akhoondzadeh M., 2015; Namgaladze et al., 2016]. Radioactive gases such as radon, emanating from the Earth crust, provide additional charges accumulating on aerosols near the Earth surface in a relatively thin tropospheric layer. In the dry unpolluted air, ions quickly recombine with each other. If the large heavy molecules, such as soil gases, dust, ash, metal particles and other aerosols are present, free electrons quickly attach to them. Due to the slow recombination rate of the newly formed large charged particles the increase of charges concentrations occurs. Charged aerosols lead to the increased ionization of the air boundary layer, changes of the air electrical conductivity, generation of the electric field perturbation and easier penetration to the ionosphere.

New space missions make it possible to detect atmospheric and ionospheric perturbations directly in space by collecting and coherently analyzing data from different sources, which could be linked to a given earthquake. In this study a combination of simultaneous observations from two satellites, one providing atmospheric aerosol data and the other providing in situ measurements of the ionospheric parameters is analyzed. The case study is the M5.5 Kadzhisay earthquake of 2014.

2. Event

The Kyrgyzstan's North Issyk-Kul seismically active zone is characterized by numerous earthquakes of different energy classes. On November 14, 2014, 01:24 UTC, a moderate earthquake (EQ) of magnitude $M=5.5$ occurred at the south shore of Lake Issyk-Kul. The epicenter was located 13 km east of the town of Kadzhisay (42°N , 77°E). Fig.1 shows the geographical position where the event occurred. The quake was very shallow, at a depth of about 10 km, which would have amplified its effect [Grebennikova et al., 2018].



Fig. 1 - Location of the Kadzhisay epicenter
(<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000sx6t/executive>)

3. Satellites

Two satellites, ESA's SWARM and NASA's SUOMI NPP, were in orbit during the Kajisai earthquake. The Swarm satellite mission is composed of three identical quasi-polar orbiting satellites. Two of them (A and C) fly in a tandem at an altitude of ~ 450 km close to each other at a distance ≤ 150 km with the differential delay in orbit of about ~ 3 s. The third satellite (B) flies in another meridional plane at an altitude of ~ 500 km. The satellites make 14–15 circuits around the Earth per day, occurring in different sectors of local time. Gradually drifting in longitude, the orbits cover all the local time sectors over ~ 130 days. Each satellite is equipped with scalar and vector magnetometers and Langmuir probe (LP) to monitor the ionospheric plasma density (N_e) and temperature. The data used in this work are measured by the LP with a sampling rate of 2 Hz. The product called “2_Hz_Langmuir_Probe_Extended_Dataset” are freely available in the ESA server (swarm-diss.esa.int).

SUOMI NPP is in a polar sun-synchronous orbit at an altitude of 824 km and makes 14 orbits around the Earth per day. The on-board OMPS-LP (Ozone Mapping and Profiler Suite Limb Profile) sensor performs limb sounding. To obtain information about the stratospheric aerosols, OMPS-LP registers solar radiation scattered by the atmosphere. The height range for aerosol profile is 5–40 km and the vertical resolution is about 1 km. The horizontal resolution is about 50 km. Observational data structured by daily files are available on the NASA website (https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_LP_L2_AER_DAILY_2). Each file contains a set of extinction coefficients (Ext) at six wavelengths from 510 to 997 nm (Ext is a measure of attenuation of radiation, the sum of scattering and absorption, i.e. the total effect of the medium on the radiation passing through it).

3. Ionospheric electron density

For mid-November 2014 the trajectories of SWARM A/C were centered in the dawn (ascending orbit) and dusk (descending orbit) sectors of local times (LT). To detect the N_e disturbances above the earthquake epicenter, trajectories were selected that fall into a region of 30° – 50° N, 60° – 90° E. Fig. 2 shows a stacked plot of N_e measured along successive ascending (Fig. 2a) and descending (Fig. 2b) orbits from 11 to 16 of November. Each daily curve is drawn starting from lower latitudes, so going from left to right N_e systematically decreases. On Nov 11 and 12 N_e is quite smooth closely reflecting the latitudinal variation of solar radiation. The most notable feature is the pronounced wave-like disturbances occurred on Nov 13, a day prior EQ. On this day, it can be seen in both ascending and descending orbits. Then, on the dawn side (~ 9 LT, Fig. 2a), the anomaly continues for several days. This is just one could expect, if the ionospheric electric field strengthens and its zonal component moves plasma up- or downward. On the satellite altitude (above the F2-layer peak) this plasma displacement is manifested in an increase or decrease of the measured N_e . On the dusk side (~ 15 LT, Fig. 2b), where the ionospheric electrical conductivity is larger, the electric field is easily removed, and seismogenic disturbances disappear more quickly. It should be noted that on earthquake day and after, the geomagnetic conditions were quiet. Therefore it is likely possible to acknowledge the seismicity nature of the detected N_e anomalies. The meridional distribution of the N_e disturbance was also checked. It turned out that in the neighboring orbits ($\sim 25^\circ$ to the east and west) it considerably saturates and completely disappears at a greater distance.

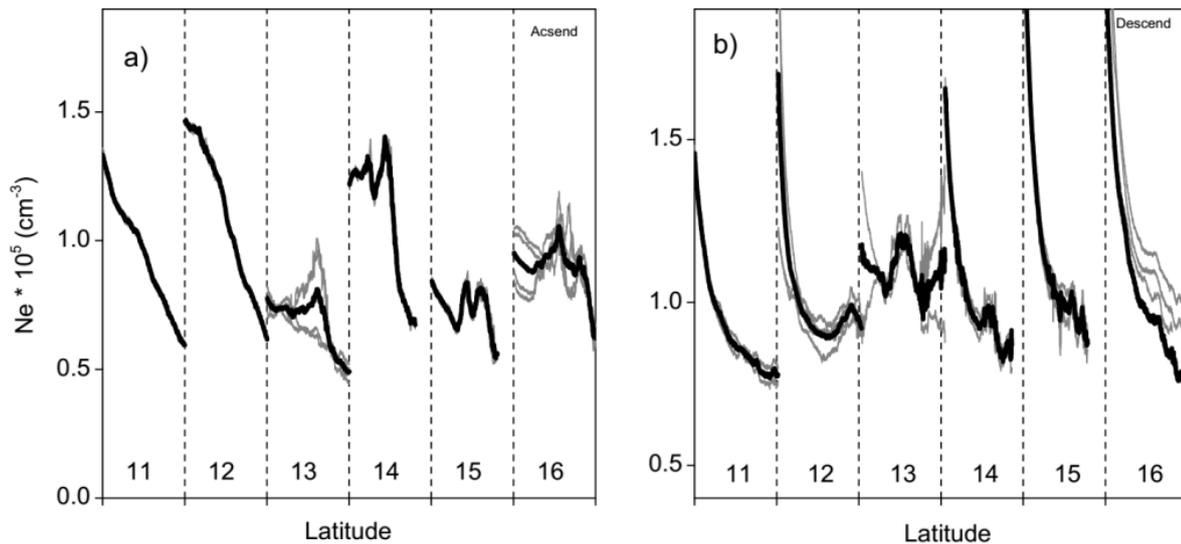


Fig. 2 – Stack plot of Ne measured along successive (a) ascending and (b) descending orbits from 11 to 16 of November. Numbers in the bottom indicate days from Nov, 11. The x-axis represents latitude starting at 30°N for each day

4. Tropospheric aerosol

The SUOMI NPP measurements make it possible to follow the evolution of the regional aerosol load. The boundaries of the region centered at the earthquake epicenter are chosen at the parallels of 35° and 50°N and meridians 60° and 90°E, respectively. The daily vertical profile of Ext is calculated by averaging the individual profiles measured at each point of trajectories passing through the region. To separate the tropospheric and stratospheric aerosol loads, the vertical profile of Ext is divided into two parts: above and below 14 km (an approximate upper level of tropopause altitude) and only the tropospheric part is considered. To obtain a single Ext value per day over the region 35-50°N, 60°-90°E, all points along the vertical profile are averaged.

Fig. 3 shows the time series of tropospheric Ext measured at four wavelengths: 510, 600, 675, 745 nm for the whole period of the satellite operation in 2013-2021. It is seen that the aerosol density varies significantly from day to day and exhibits seasonal variation with a pronounced maximum in summer (an unusual global enhancement in 2019 was related to the wild fires [Lukianova, 2023]). The shorter wavelength Ext is more variable. Dispersion indicates that different fractions are presented in the tropospheric aerosol. Smaller secondary enhancement at all wavelengths is often observed in late autumn.

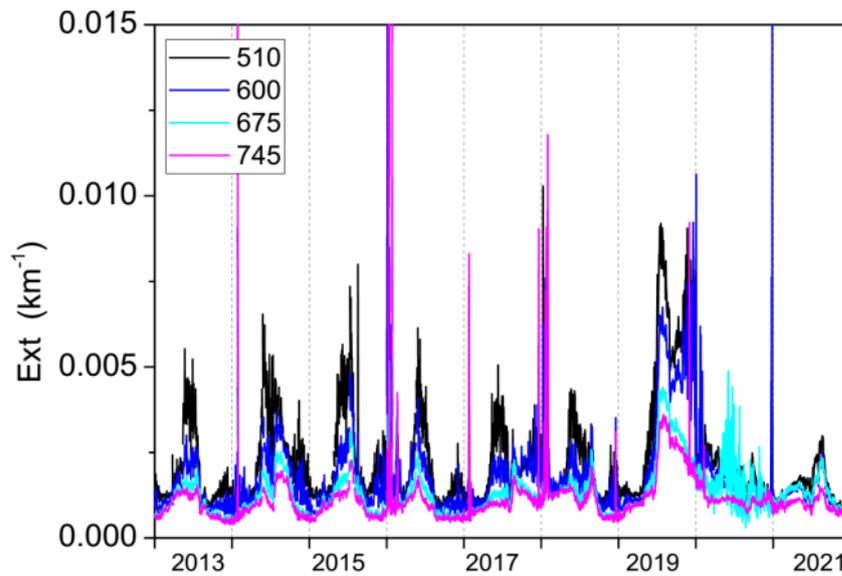


Figure 3 - Daily values of the tropospheric Ext at 510, 600, 675, 745 nm in 2013-2021

In order to track the detailed behavior of Ext at the time of the Kadzhisay earthquake occurrence, in Fig. 4 the period of October-November-December 2014 is shown. It is revealed that in the mid-November the background state of the aerosol concentration is disturbed by the appearance of a dense layer, which reaches its maximum on Nov 13, immediately prior the EQ shock. This short-lived aerosol enhancement is twice larger than the typical seasonal background level. Three days before, on Nov 9, a secondary maximum is observed. These disturbances may be indirectly indicative of the regional increase of radioactive gases such as radon, emanating from the crust just before EQ.

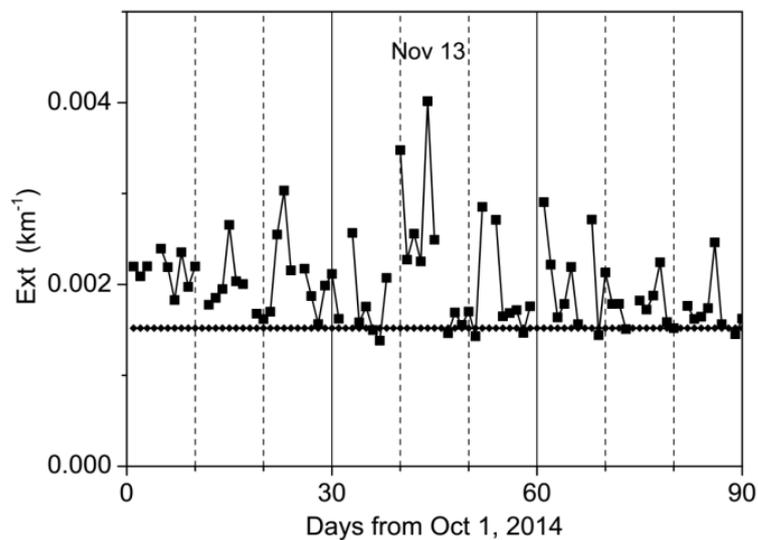


Figure 4 - Daily values of the tropospheric Ext at 510 nm in October-December 2014. The horizontal line shows the background level averaged over these three months in 2013-2021

4. Discussion and conclusion

A series of devoted satellites, such as DEMETER and CSES, gained a lot of information on the earthquake-related electromagnetic phenomena. However, a large modern fleet of various earth observation (EO) satellites, designed for completely different purposes and equipped with quite different instruments, can provide even more opportunities to study the evolution of earthquakes by monitoring a wide range of anomalies in the ionosphere and atmosphere, some of

which may be caused by the lithospheric processes.

This study combines observations of the low-altitude polar-orbiting satellites SWARM and SUOMI-NPP during the Kadzhisay M5.0 earthquake of 2014. The first satellite monitors the regional ionospheric plasma perturbation, while the second one sounds the atmosphere and is capable to detect the occurrence of aerosol layers at the tropospheric heights. The data of these two satellites have not yet been analyzed in conjunction. Inspection of the time series of electron density measured using the LP instrument on board each SWARM satellite, when the orbits are inside Dobrovolsky's area, shows a clear regionally limited anomaly. The Ne perturbations start a day before the EQ and last several days. Simultaneously, according to the SUOMI-NPP observations in the troposphere, a dense, short-lived and also regionally limited aerosol layer is formed.

Observations are in line of the concept of an electrodynamic lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling among the three involved layers of the Earth system. This concept, however, suffers of the uncertainty associated with the impeded penetration of the electric field in the weakly conductive lower atmosphere. The modeling results [Namgaladze et al., 2016; Denisenko et al., 2019] show that the enhanced air conductivity is needed. It was proposed that radioactive gases, in particular, radon, emanating from the crust during the earthquake preparation phase, provide additional charges accumulating on aerosols near the Earth surface. However, observational evidence of these processes is sparse, if any. The results of the Kadzhisay case study indicate that ionospheric and aerosol signatures associated with an earthquake can be observed simultaneously with use a combination of SWARM and SUOMI-NPP.

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19677977).

References

- 1 Akhoondzadeh M. (2015). Ant Colony Optimization detects anomalous aerosol variations associated with the Chile earthquake of 27 February 2010, *Adv. Space Res.*, 55, 1754–1763.
- 2 Astafyeva E. (2019). Ionospheric detection of natural hazards. *Reviews of Geophysics*, 57. [org/10.1029/2019RG000668](https://doi.org/10.1029/2019RG000668).
- 3 Balasis G., Manda M. (2007). Can electromagnetic disturbances related to the recent great earthquakes be detected by satellite magnetometers?, *Tectonophysics*, 431, 173-195.
- 4 De Santis A., et al. (2019). Geosystemics view of earthquakes. *Entropy*, 21, 412. <https://doi.org/10.3390/e21040412>.
- 5 Denisenko V.V., Rycroft M.J., Harrison R.G. (2019). Mathematical Simulation of the Ionospheric Electric Field as a Part of the Global Electric Circuit. *Surveys in Geophysics*, 40:1–35. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9499-6>.
- 6 Grebennikova V.V., Frolova A.G., Bagmanova N.K., Berezina A.V., Pershina E.V., Moldobekova S. (2018). Kadji-Say earthquake (November 14, 2014) with $K_p=13.7$, MPVA=6.2, $I_0=7$ (Kyrgyzstan – Southern Issyk-Kul). *NNC RK Bulletin.*, 2:135-143. (In Russ.) <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-135-143>.
- 7 Lukianova R. (2023). Stratospheric aerosol over the region of Kazakhstan according to Suomi NPP satellite observations. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 20(2), 229–237. (In Russ.) doi: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-229-237.
- 8 Namgaladze A., Karpov M., Knyazeva M. (2018). Aerosols and seismo-ionosphere coupling: A review. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 171, 83–93, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.01.014>.
- 9 Parrot M., Tramutoli V., Liu T.J.Y., Pulinets S., Ouzounov D., Genzano N., Lisi M.,
- 10 Hattori K., Namgaladze A. (2016). Atmospheric and ionospheric coupling phenomena related to large earthquakes. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2016-172>.
- 11 Pulinets S.A., Boyarchuk, K.A. (2004). *Ionospheric Precursors of Earthquakes*, Springer Verlag Publ, Berlin, 288 p.
- 12 Pulinets S.A., Ouzounov D.P., Karelin A.V., Davidenko D.V. (2015). Physical bases of the generation of short-term earthquake precursors: a complex model of ionization induced geophysical processes in the lithosphere-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system. *Geomagn. Aeron.* 55, 521–538, <https://doi.org/10.1134/S0016793215040131>.

Kanatbek Abdrakhmatov
Institute of Seismology, NAS Kyrgyzstan

Christoph Grutzner
University of Jena, Germany

Aidyn Mukambayev
National Nuclear Center, Kazakhstan

Richard Walker
Department of Earth Sciences, Oxford University, UK

Roberta Wilkinson
Department of Earth Sciences, Oxford University, UK

EARTHQUAKE HAZARD AND RISK IN THE ALMATY REGION: USING THE PAST TO INFORM THE FUTURE

Summary. We present an overview of a joint Kazakhstan-Kyrgyzstan-EU-UK-USA program, which is aimed at earthquake rupture styles and fault behaviours within the Tien Shan region, with emphasis on Almaty. We combine field observations, optical satellite image and digital elevation model analysis, and earthquake seismology. Our results have helped us to understand the sources of the 1889 Chilik and 1911 Chon-Kemin earthquakes, and also the prehistory of older earthquakes upon those faults. The historic earthquakes that have affected Almaty all had sources distant from the city, and yet there is a hazard from more local faults along the Zailisky mountain range front. Through detailed mapping we identify fault scarps within urban areas, and their continuations both to east and west. Finding sites for paleoseismic investigation is challenging due to modification of the landscape and due to thick loess deposits, but we have excavated one site where two large Holocene surface ruptures are recorded. We make assessments on the possible magnitudes and amounts of slip based upon fault length, slip amount, and on recurrence intervals estimated from long-term slip-rate. We also draw attention to fault-related folding in northern districts of Almaty, which may also be important sources of hazard. Finally, we assess the possible contributions of these various fault sources to earthquake risk, and provide ideas on where further research and application may be useful for understanding the hazard and for risk reduction.

Introduction

Almaty was strongly affected by the historical 1887, 1889 and 1911 earthquakes, though the source of only the final of those three events was mapped in detail, and there is an important need to determine the sources of these earthquakes and the recurrence intervals. The city is also sited close to a number of active faults for which we have no record of earthquakes, and must rely on detailed geomorphic mapping to identify fault traces, and paleoseismic techniques to reconstruct earthquake records upon them.

1889 and 1911 earthquake ruptures

The 1889 Chilik earthquake struck SE of Almaty, and the 1911 Chon Kemin earthquake struck south of Almaty (Figure 1). The 1911 earthquake was mapped in detail soon after the event [Bogdanovitch et al., 1914] and the ruptures are still clearly visible in the landscape, along with effects such as the formation of footwall ponds due to the blocking of drainage [e.g. Crosby et al., 2017], as shown in Figure 2.

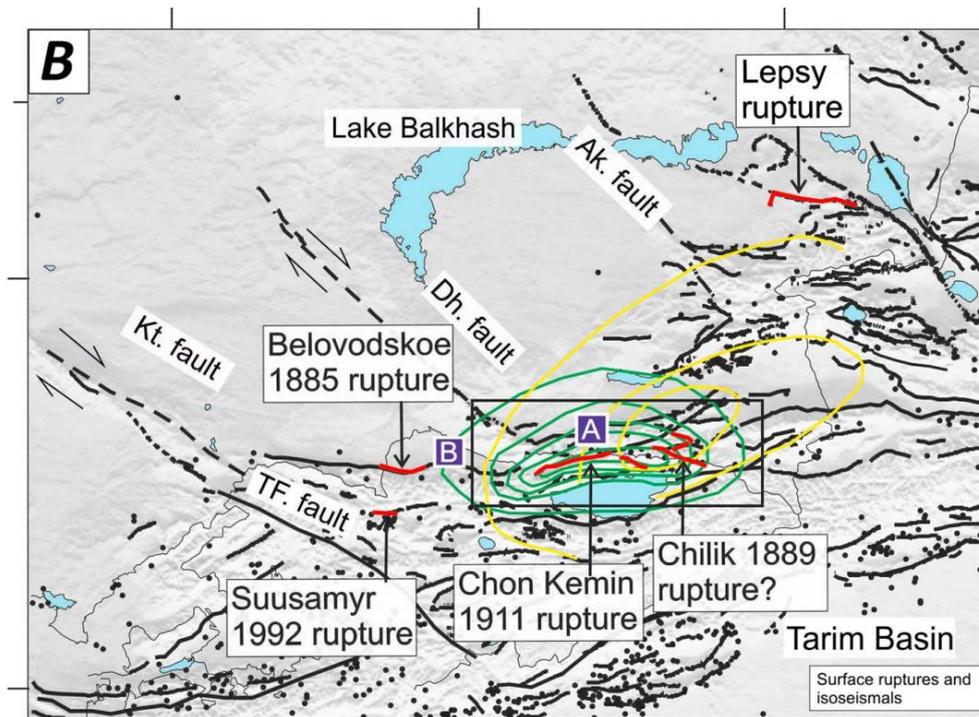


Figure 1. Map from Abdrakhmatov et al., [2016] showing the ruptures and isoseismal contours of the 1889 and 1911 earthquakes. Almaty is marked by the letter 'A' and Bishkek by the letter 'B'

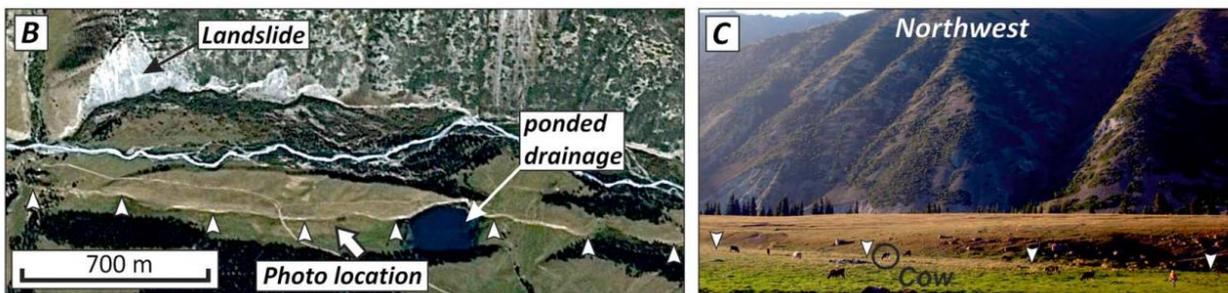


Figure 2. Satellite image (left) and field photograph (right) of the Chon Aksu section of the 1911 earthquake.

Our work of the past few years has consisted of 1) Determining the source of the 1889 earthquake, from its effect on the landscape, and 2) Using paleoseismology to determine the timing of past earthquakes on the 1889 and 1911 ruptures. We have mapped ~175 km extent of ruptures that are likely from the 1889 earthquake, in the region near Saty in Kazakhstan [Abdrakhmatov et al., 2016]. Up to 10 m of displacement are measured across the ruptures, which are complex and involve three main faults with reverse, left-lateral, and right-lateral slip (Figure 3). Trenching of the fault zone reveals at least 5000 years since the penultimate rupture. Combined with very subtle geomorphic evidence for prior rupture we suggest that the 1889 earthquake occurred on very long recurrence intervals faults. The broad isoseismal pattern suggests the rupture may have extended to depths of ~40 km, which is deeper than typical. In 2022 we excavated a number of trenches across the Chon Aksu segment of the 1911 earthquake rupture, in Kyrgyzstan. Through that work we aim to assess whether the complex multi-fault rupture fails systemically in each earthquake cycle.

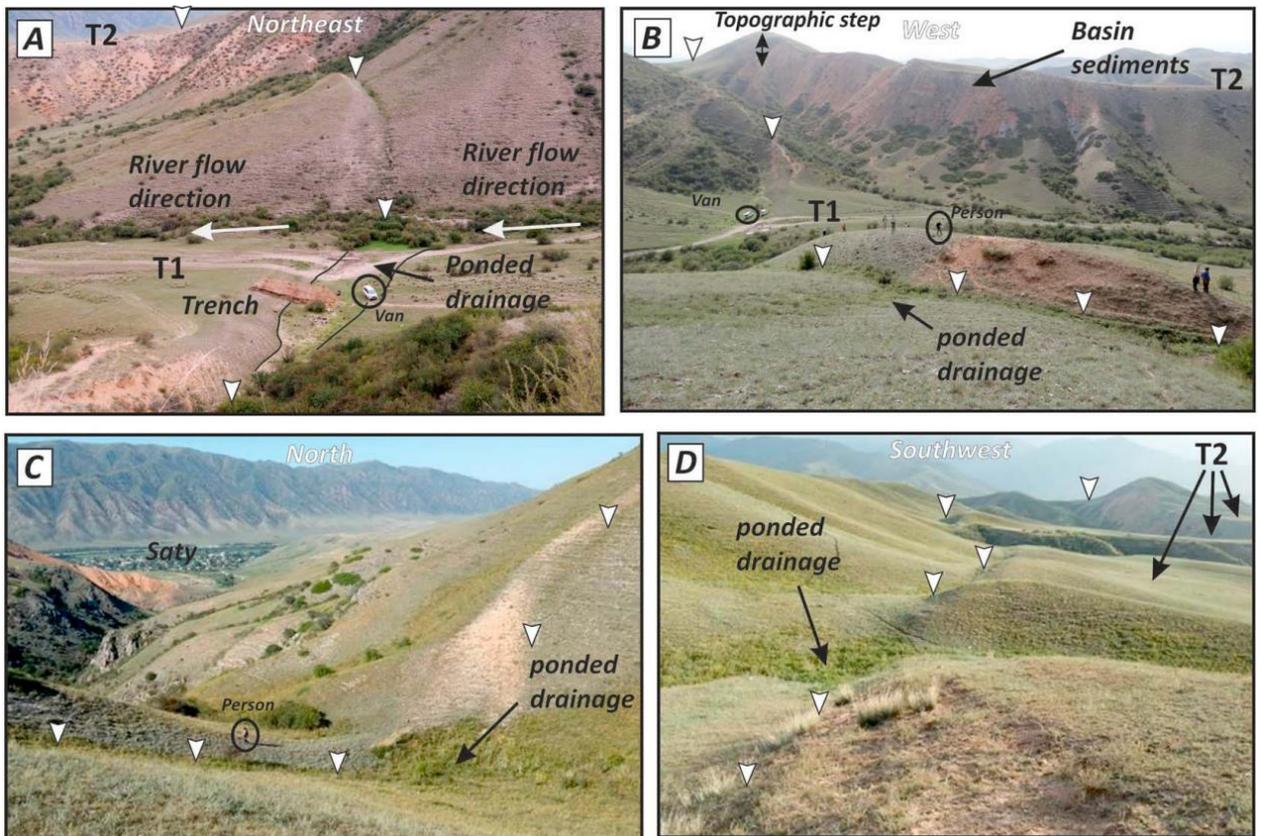


Figure 3. Photographs of the 1889 Chilik earthquake ruptures near Saty, Kazakhstan.

The Zailisky fault

Almaty city is located at the rangefront of the Zailisky mountains, which is a zone of active reverse faulting. The rangefront west of Almaty may have hosted the 1887 Verny earthquake (M7.3) though no ruptures have been found.

There are specific challenges associated with a study of the Zailisky rangefront fault. Widespread urban cover and other human alteration of the landscape makes it difficult to identify fault traces in young geological materials. Also, much of the landscape is blanketed in thick late Quaternary loess cover, which obscures the fluvial and alluvial sediments of the range-front.

In Figure 4 we show a map of potential fault scarps identified from digital elevation models. We also highlight zones of uplift and folding in the northern districts of the city which we interpret to result from a south-dipping splay from the range-front. We have identified sites ~100 km east of Almaty where there is well preserved morphology, and where there is only minimal loess cover [Grutzner et al., 2017b].

River terraces displaced by ~10 m across the fault provide a long term uplift rate of less than 1 mm/yr. A trench excavated across the fault yields evidence for two surface ruptures in the last 10,000 years. It appears from these initial results that the fault ruptures in rare, but large events.

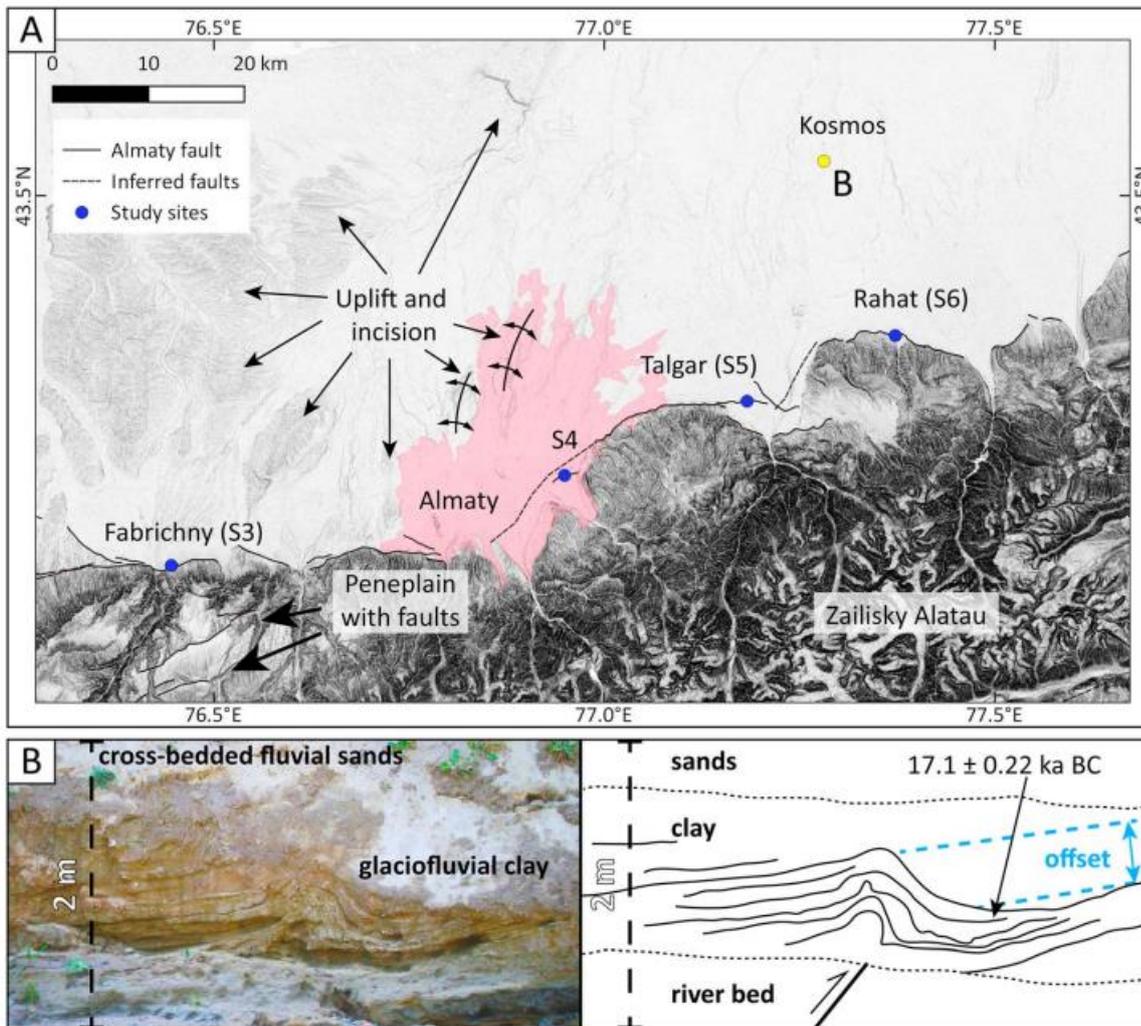


Figure 4. Map of fault scarps and fault-related folding and uplift north of Almaty. Panel B shows possible earthquake deformation observed in a river cut at Kosmos. Images from Grutzner et al., [2017b]

Discussion

We have presented results from faults that have either produced historical earthquakes that have affected Almaty, or which are sited close to the city and could constitute local sources of damaging earthquakes in future. The potentially hazardous faults actually extend much further across southeastern Kazakhstan and surrounding territories, and it is important to assess the earthquake potential regionally. In this respect, we have identified important earthquake sources in the Ili Basin and along the Dzhungarian fault [Campbell et al., 2015; Grutzner et al., 2017a; Grutzner et al., 2019; Mackenzie et al., 2019; Tsai et al., 2022]

The geology (structure, earthquake history) of the active faults around Almaty has a major effect on the hazard. The size and regularity of earthquakes upon the Zailisky fault, for instance, or the potential for earthquakes on splay faulting north of the city make substantial changes to the projected ground accelerations and losses within the city [Mosca et al., 2019; Amey et al., 2021]. Our studies so far give insights into these effects, but further detailed programs are required. In particular, our detailed studies are sited quite far from Almaty itself, and there is a remaining need to map active faulting in detail along the entire range front, and to find further sites suitable for paleoseismic trenching. These are required to assess fault segmentation, and likely earthquake magnitude and recurrence intervals. There is also a need to assess the role of the splay fault close to Almaty, and the subsurface structure and earthquake potential upon it.

There are particular challenges presented by modification of the landscape, and also by

the potential for large earthquakes on faults with very long recurrence intervals. Such faults can be difficult to identify clearly from the landscape, as their expression can be eroded over long time periods [e.g. Grutzner et al., 2017a].

References

1. Abdrakhmatov, K.E., Walker, R.T., Campbell, G.E., Carr, A.S., Elliott, A., Hillemann, C., Hollingsworth, J., Landgraf, A., Mackenzie, D., Mukambayev, A. and Rizza, M., 2016. Multisegment rupture in the 11 July 1889 Chilik earthquake (Mw 8.0–8.3), Kazakh Tien Shan, interpreted from remote sensing, field survey, and paleoseismic trenching. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(6), pp.4615-4640.
2. Amey, R.M., Elliott, J.R., Hussain, E., Walker, R., Pagani, M., Silva, V., Abdrakhmatov, K.E. and Watson, C.S., 2021. Significant seismic risk potential from buried faults beneath Almaty City, Kazakhstan, revealed from high-resolution satellite DEMs. *Earth and Space Science*, 8(9), p.e2021EA001664.
3. Campbell, G.E., Walker, R.T., Abdrakhmatov, K., Jackson, J., Elliott, J.R., Mackenzie, D., Middleton, T. and Schwenninger, J.L., 2015. Great earthquakes in low strain rate continental interiors: An example from SE Kazakhstan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(8), pp.5507-5534.
4. Arrowsmith, J.R., Crosby, C.J., Korzhenkov, A.M., Mamyrov, E., Povolotskaya, I., Guralnik, B. and Landgraf, A., 2017. Surface rupture of the 1911 Kebin (Chon–Kemin) earthquake, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan. *Geological Society, London, Special Publications*, 432(1), pp.233-253.
5. Grützner, C., Carson, E., Walker, R.T., Rhodes, E.J., Mukambayev, A., Mackenzie, D., Elliott, J.R., Campbell, G. and Abdrakhmatov, K., 2017a. Assessing the activity of faults in continental interiors: Palaeoseismic insights from SE Kazakhstan. *Earth and Planetary Science Letters*, 459, pp.93-104.
6. Grützner, C., Walker, R.T., Abdrakhmatov, K.E., Mukambaev, A., Elliott, A.J. and Elliott, J.R., 2017b. Active tectonics around Almaty and along the Zailisky Alatau range front. *Tectonics*, 36(10), pp.2192-2226.
7. Grützner, C., Campbell, G., Walker, R.T., Jackson, J., Mackenzie, D., Abdrakhmatov, K. and Mukambayev, A., 2019. Shortening accommodated by thrust and strike-slip faults in the Ili Basin, northern Tien Shan. *Tectonics*, 38(7), pp.2255-2274.
8. Mackenzie, D., Walker, R., Abdrakhmatov, K., Campbell, G., Carr, A., Gruetzner, C., Mukambayev, A. and Rizza, M., 2018. A creeping intracontinental thrust fault: past and present slip-rates on the northern edge of the Tien Shan, Kazakhstan. *Geophysical Journal International*, 215(2), pp.1148-1170.
9. Mosca, I., Baptie, B., Sargeant, S. and Walker, R.T., 2019. Integrating outcomes from probabilistic and deterministic seismic hazard analysis in the Tien Shan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(2), pp.688-715.
10. Tsai, C.H., Abdrakhmatov, K., Mukambayev, A., Elliott, A.J., Elliott, J.R., Grützner, C., Rhodes, E.J., Ivester, A.H., Walker, R.T. and Wilkinson, R., 2022. Probing the upper end of intracontinental earthquake magnitude: A prehistoric example from the Dzhungarian and Lepsy Faults of Kazakhstan. *Tectonics*, 41(10), p.e2022TC007300.

Акжалов Ж.Б., Аширов Б.М.
ТОО «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» МЧС РК.

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПЯТИ СЕЙМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ КАЗАХСТАНА

Аннотация. Опыт работы систем сбора сейсмической информации в СОМЭ показывает, что наиболее надёжной связью обладает радиотелеметрическая по сравнению со спутниковой связью или с использованием GSM модемов. Места размещения сейсмостанций должны располагаться в сейсмоактивных районах Казахстана согласно карте сейсморайонирования не ниже 7-и баллов. В данной работе приводятся координаты новых выбранных сейсмостанций и

профили для создания прямой видимости между антеннами 2-х станций с использованием специальной компьютерной программы (Radio Mobile), а также технологические особенности при запуске и эксплуатации телеметрических станций.

Abstract. The experience of seismic data acquisition systems in SEMS shows that radiotelemetry has the most reliable communication in comparison with satellite communication or using GSM modems. The locations of the seismic station should be located in seismically active regions of Kazakhstan according to the seismic zoning map of at least 7 points. This paper presents the coordinates of the newly selected seismic stations and profiles for creating direct visibility between the antennas of 2 stations using a special computer program (Radio Mobile), as well as technological features during the launch and operation of telemetry stations.

Выбор места расположения станции. Особую сложность составляет организация радиотрасс с прямой видимостью между антеннами. Для этого использовались компьютерные программы GOOGLE MAPS, Radio Mobile и теоретические основы построения радиорелейных линий. Выбор места расположения станции для пяти областей проводилась в течении пяти лет. Критерий места для размещения станции с сейсмичностью 7 баллов и выше соблюден. Расстояние между сеймостанциями должно быть не ближе 30км.

В восточном Казахстане сеймостанции расположены вдоль по Тарбагатайскому хребту и вблизи реки Иртыш. Количество станций - 10. Одна из них действующая станция Зайсан в которой может быть организована сейсмообработка.

В Жетысуской области станции располагаются в северном окаймлении Джунгарского хребта. Общее количество – 10. Две станции, из них Шыган и Сапак, будут работать в режиме ретранслятора. Действующая станция Талдыкурган имеет радиодоступ к станциям Текели и Сарбастау. Поэтому на станции Талдыкурган можно организовать сейсмообработку.

В Алмагинской области действуют 10 телеметрических станций. Часть станций: Каратобе, Балдыбастау и Кетмень будут использованы в качестве ретрансляторов для шести новых станций.

В Джамбыльской области предусматривается 8 станций, шесть из них - вдоль Киргизского хребта и 2 вдоль Каратауского хребта.

В Туркестанской области запланировано 6 станций вдоль Аксу-Жабаглинского массива и Каржантауского хребта. Действующая станция Шымкент имеет радиодоступ к станции Казгурт. Поэтому на этой станции можно организовать сейсмообработку.

Технические и технологические особенности при запуске и эксплуатации телеметрических сеймостанции. Телеметрическая станция состоит из сейсмических датчиков, регистратора, канала связи и инфраструктуры. Инфраструктура состоит из блоков надёжного электропитания с помещением, сеймопавильоном, кабелей питания связывающие 3 объекта, устройства грозозащиты и охраны. В связи с топографией местности, аппаратура связи может быть установлена в отдельном контейнере на возвышенности.

В качестве канала связи планируется использовать высокопроизводительную и дальнобойную цифровую радиорелейную станцию Airfiber 5X и Airfiber11AF производства США или КНР .

Airfiber11AF как более помехоустойчивая будет использован при пересечении радиотрассы через крупный населённый пункт. В качестве резервной линии планируется использовать спутниковую станцию, оплата за которую производится только за объём кратковременной переданной информации. Переход на спутниковую линию планируется в автоматическом режиме.

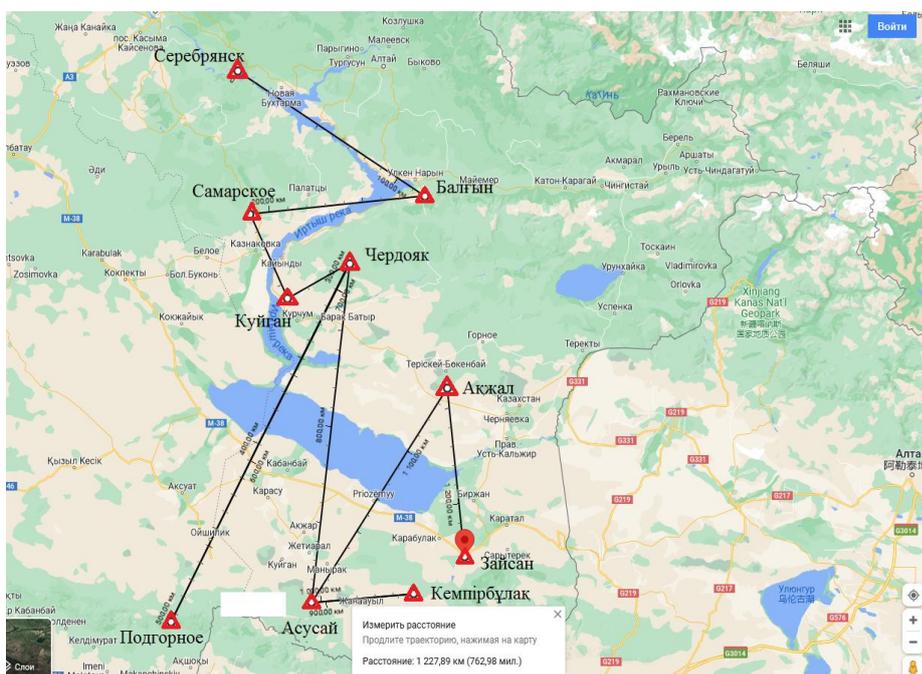
Минимальный поток сейсмической информации с одной станции может составить 25 килобит\сек. В этом случае, общий поток с 20-и станций Восточно-Казахстанской и

Жетысуйской областей, поступающий с одного ствола в Алматы, будет составлять 0.5 мегабит\сек. Планируемая рабочая скорость 5мегабит\сек. Скорость достаточна для передачи с пунктов видеоизображений устройства охраны вместе с сейсмограммами.

В качестве сейсморегистратора можно использовать: Байкал (Россия), CENTAUR (Канада), SMG-6td (Англия) и др. Сейсмометры необходимо использовать с нижней частотой 0.1-0.2Гц.

При использовании широкополосных сейсмометров нижняя частота которых составляет 0.001-0.05Гц, аппаратура регистрирует поверхностные волны **землетрясений со всего мира**, которые смешиваются с местными локальными землетрясениями и затрудняют обработку, особенно в автоматическом режиме.

Телеметрическая сеть в Восточно-Казахстанской области. Ниже приведена Карта расположения и направления радиотрасс станций ВКО, а в таблице указаны их координаты.

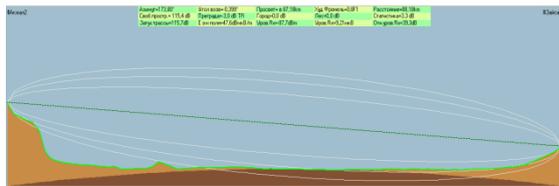


Координаты телеметрических станций ВКО

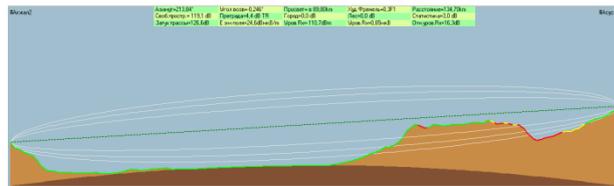
№	Наименование станции	Координаты	Район расположения	С какой станцией связана по радиоканалу
1	Акжал	48.251632 84.739549	Курчумский	Зайсан 89км Асусай 134км
2	Асусай	47.244435 83.747397	Зайсанский	Акжал 134км Кемпирбулак 56км Чердожак 177км
3	Кемпирбулак	47.286102 84.494481	Зайсанский	Асусай 56км
4	Чердожак	48.825848 84.025367	Курчумский	Куйган 38км Асусай 177км Подгорное 210км
5	Куйган	48.665584 83.570532	Курчумский	Самарское 47км Чердожак 38км
6	Самарское	49.055271 83.296781	Кокпектинский	Балгын 94км Куйган 47км
7	Балгын	49.137251 84.573211	Катын-Карагайский	Самарское 94км Серебрянск 117км

8	Серебрянск (телестанция)	49.703138 83.207783	Зыряновский	Балгын 117км
9	Подгорное	47.152251 82.717691	Тарбагатайский	Чердожк210км Сапак200км
	Сапак	45.87523 80.87081	Алакольский	Подгорное 200км
	Зайсан (Действующая станция)	47.46231 84.86541	Зайсанский	Акжал 89км

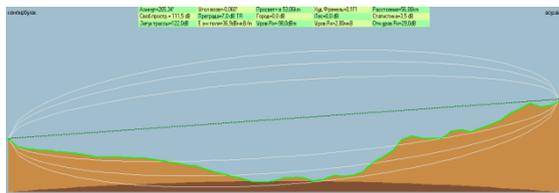
Радиотрассы телеметрической сети Восточно-Казахстанской области.



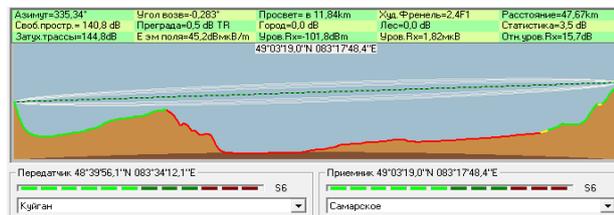
Акжал – Зайсан



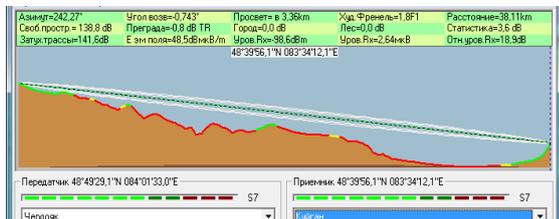
Акжал – Аусай



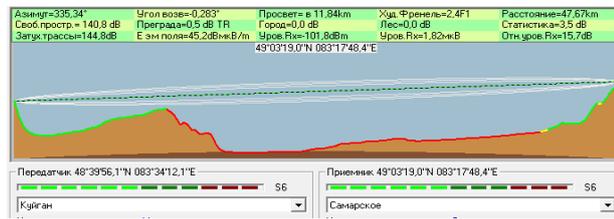
Кемпирбулак – Аусай



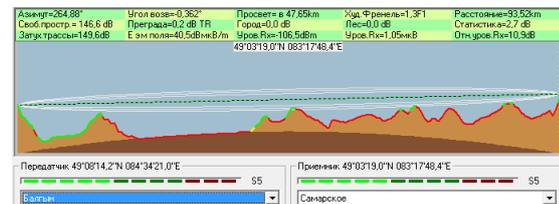
Аусай – Чердожк



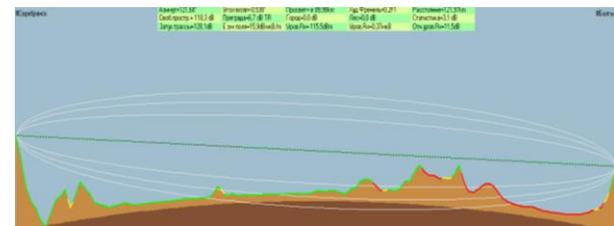
Чердожк-Куйган



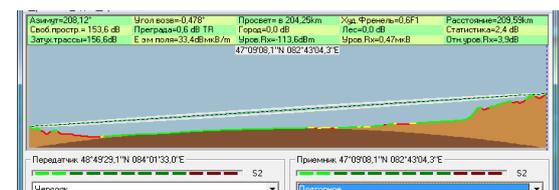
Куйган-Самарское



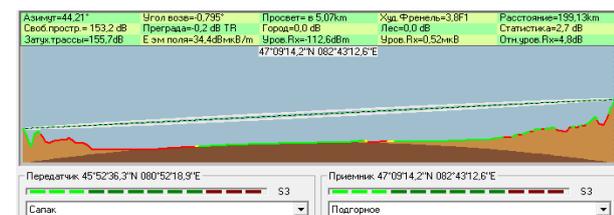
Балгын-Самарское



Серебрянск – Балгын



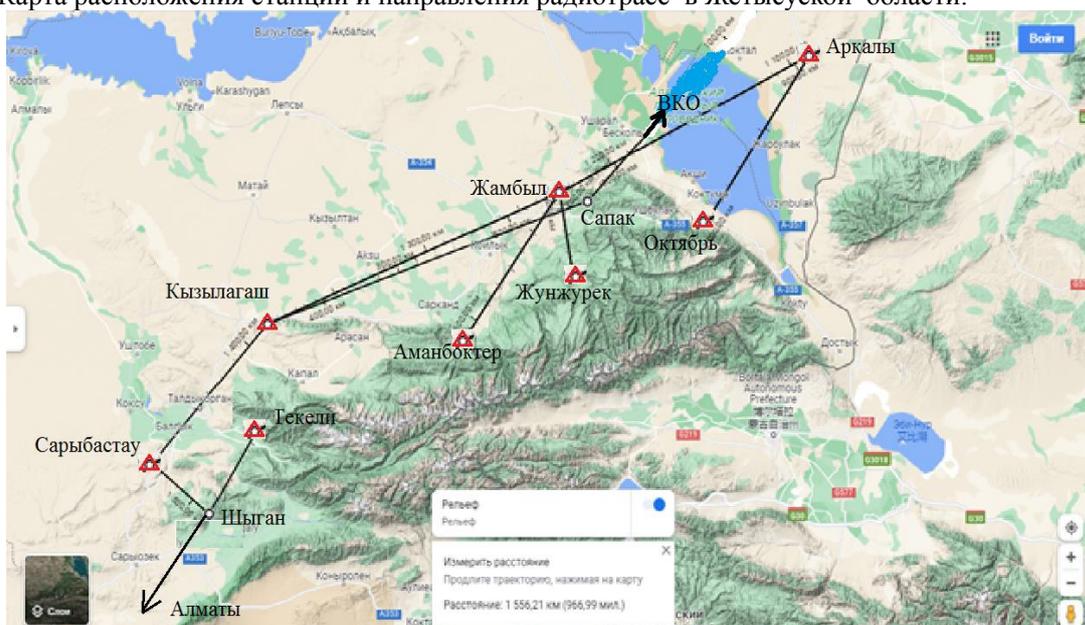
Чердожк-Подгорное



Сапак-Подгорное

Телеметрическая сеть в Жетысуской области.

Карта расположения станции и направления радиотрасс в Жетысуской области.



Координаты телеметрических сеймостанций Жетысуской области

№	Наименование станции	Координаты	Район Расположения	С какой станцией связывается по радиоканалу
1	Аркалы (Эмель) (зимовка) h=600m	46.470542 82.298254	Уржарский район Абайской области	Теректы 138.5км Октябрь 91км
2	Октябрь h=740m	45.792616 81.642411	Алакольский	Аркалы 91км
3	Сапак (Радиоцентр) h=1320m	45.874911 80.872395	Алакольский район	Подгорное 200км Кызылагаш 170км
4	Теректы h=1320m	45.90901 80.691702	Алакольский	Аманбоктер 82.5км Жунжурек 38.4км Аркалы 138.5км Кызылагаш 158км
5	Жунжурек h=1480m	45.568971 80.776298	Алакольский	Теректы 38.4км
6	Аманбоктер (Зимовка) h=1660 m	45.304435 80.078	Саркандский	Теректы 82.5км
7	Кызылагаш h=960m	45.366703 78.814389	Акусский	Сарыбастау 90км Сапак 170км Теректы 158км
8	Сарыбастау h=1060m	44.784617 78.071593	Коксуский	Текели Кызылагаш 90км Шыган
9	Шыган (Радиоцентр) h=2440m	44.573 78.4406	Кербулакский	Алматы 194км Сарыбастау
10	Текели	44.918604 78.741509	Ескельдинский	Шыган 45км
	Подгорное	47.152251 82.717691	Тарбагатайский (ВКО)	Сапак 200км

Телеметрическая сеть в Алматинской области.

Карта расположения и направления радиотрасс в Алматинской области.

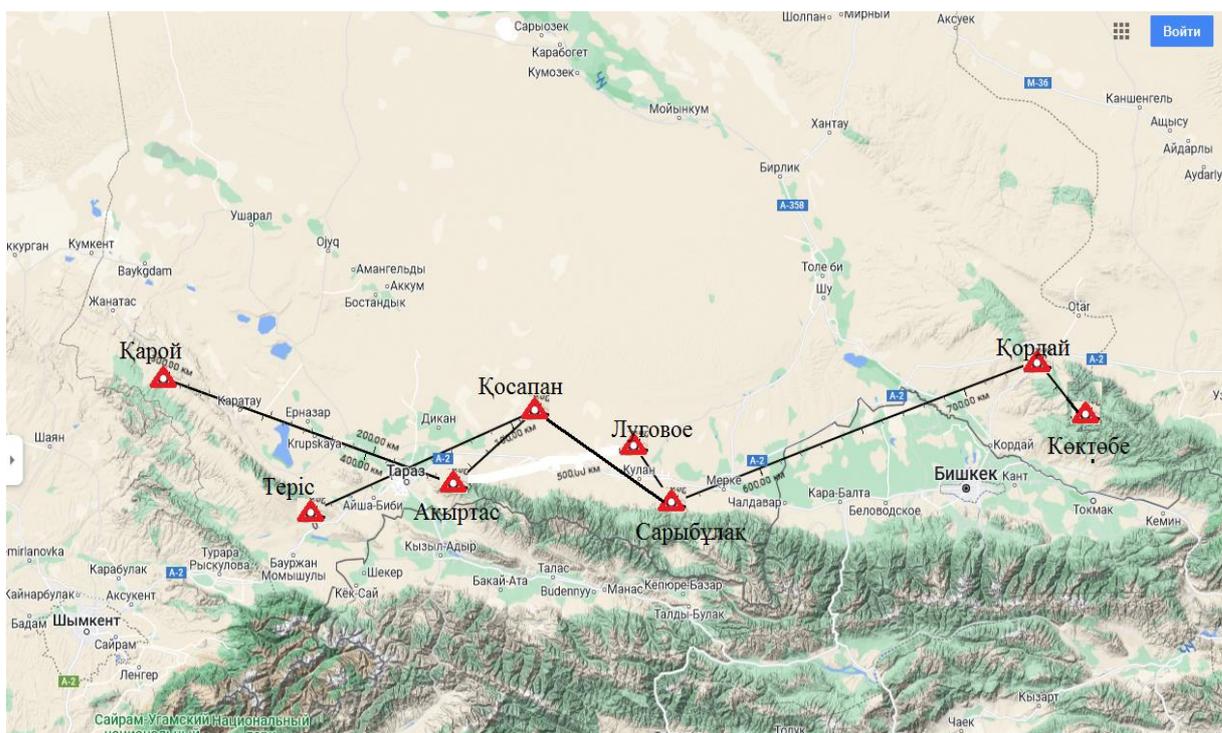


Координаты телеметрической сейсмосети Алматинской области

№	Наименование станции	Координаты	Район расположения	С какой станцией связана по радиоканалу
1	Обсерватория Асы-Турген h=2680m	43.218663 77.872472	Энбекши-казахский	Каратобе 111км
2	Рахат h=870m	43.367196 77.33906	Энбекши-казахский	Каратобе 65км Балдыбастау 122.3км
3	Кызыласкер	43.1198 76.225757	Жамбыльский	Каратобе 90.3км
4	Сарыбель h=1680m	44.468131 80.026937	Панфиловский Жетысуской области	Кетмень 117км
5	Кордай	43.36457 74.9728	Кордайский Жамбыльской области	Каратобе 143км
6	Шыган	44.573 78.4406	Кербулакский Жетысуской области	ЦСО Алматы 192км
	Балдыбастау h=1430m	44.097293 78.476881	Кербулакский Жетысуской обл	Рахат 122,3км

Телеметрическая сеть в Джамбульской области.

Карта расположения и направления радиотрасс в Джамбульской области.

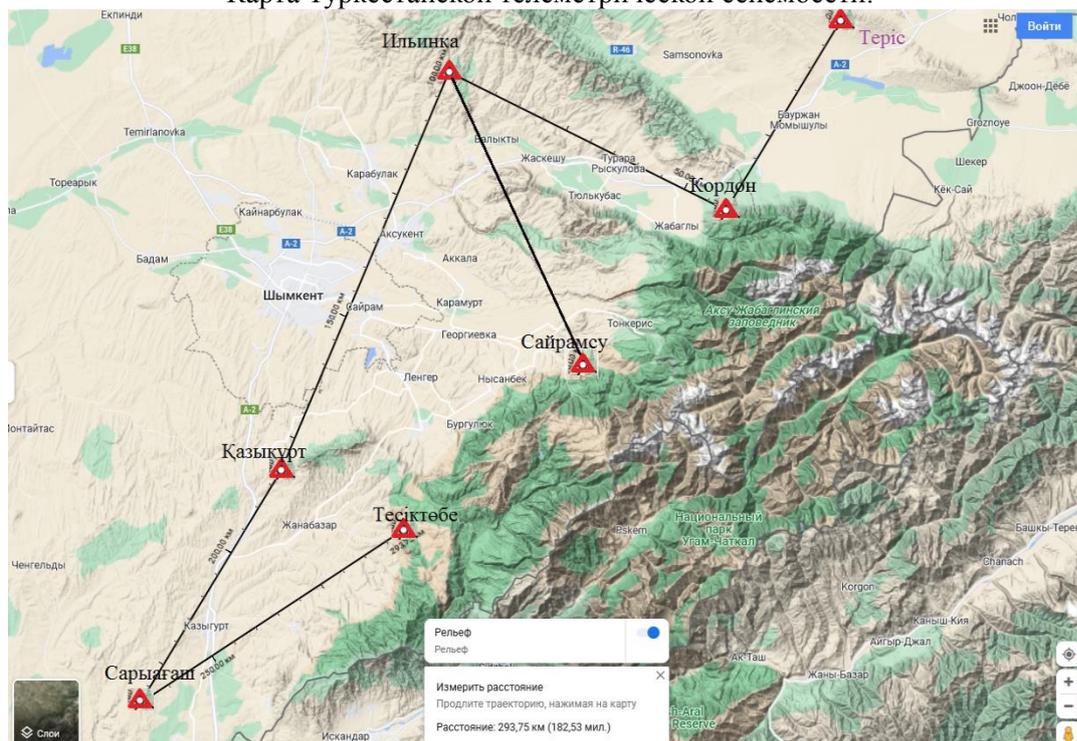


Координаты телеметрических станции Джамбульской области.

	Наименование РТС	Координаты широта	Координаты долгота	Высота м	Район расположения станции	С какой станцией связывается и расстояние км
1	Кордай (радиоцентр)	43.36457	74.9728	1360	Кордайский	Карагобе 126 км (Алматинская область) Сарыбулак 178 км Коктобе 33.4 км
2	Коктобе (зимовка)	43.135255	75.239327	1620	Кордайский	Кордай 33.4 км
3	Сарыбулак (зимовка)	42.819343	72.907465	1060	Рыскуловский	Кордай 178 км Косапан 72 км Сарыбулак 35 км
4	Луговое (зимовка)	43.053374	72.615355	600	Рыскуловский	Сарыбулак 35 км
5	Косапан (посёлок)	43.173	72.1256	585	Рыскуловский	Сарыбулак 72 км Терис 112 км Акыртас 42 км
6	Акыртас (зимовка)	42.890803	71.67032	1200	Жамбыльский	Карой 141 км Косапан 42 км
7	Карой (зимовка)	43.300768	70.0404	1000	Таласский	Акыртас 141 км
8	Терис (зимовка)	42.782806	70.853059	1360	Жамбыльский	Косапан 112 км Кордон 42.3 км (Туркестанская обл.)

Телеметрическая сеть в Туркестанской области.

Карта Туркестанской телеметрической сейсмосети.



Координаты телеметрических станции Туркестанской области.

	Наименование РТС	Координаты широта	Координаты долгота	Высота м	Район расположения станции	С какой станцией связывается по радиоканалу
1	Кордон	42.466025	70.590533	1345	Тюлькубасский	Терис 42.3км (Жамбульская область) Ильинка 58.6км
2	Ильинка (зимовка)	42.699886	69.947975	920	Тюлькубасский	Кордон 58.6км Казгурт 81.4км Сайрамсу 62км
3	Казгурт	42.023359	69.559218	1050	13 Казыгуртский	Ильинка 81.4км Сарыагаш 52км
4	Сарыагаш	41.624417	69.232146	620	14 Сарыагашский	Казгурт 81.4км Тесиктобе 60.2км
5	Тесиктобе	41.919768	69.839038	1280		Сарыагаш 60.2км
6	Сайрамсу	42.188899	70.255704	1540		Ильинка 62км

Литература

1. Акжалов Ж.Б. К вопросу обнаружения сейсмического сигнала на фоне естественных помех при автоматизации наблюдении // Комплексные исследования на Алматинском прогностическом полигоне, Алма-Ата, 1986. С. 53-58
2. Акжалов Ж.Б. Аппаратура и методика наблюдений // Сейсмологический мониторинг на месторождений углеводородов, Алматы, С. 11-19

КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЧНЫХ ТЕРРАС ТЯНЬ-ШАНЯ И ДЖУНГАРСКОГО АЛАТАУ КАК ОСНОВА ДЛЯ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена последовательность формирования речных террас в горных районах Центральной Азии. Показано, изученные и разработанные в пределах Тянь-Шаня схемы формирования террас применимы и в пределах Джунгарского Алатау и, соответственно, могут быть полезны при оценке скорости тектонических движений, сейсмической опасности региона и др.

Annotation. The sequence of formation of river terraces in the mountainous regions of Central Asia is considered. It is shown that the terrace formation schemes studied and developed within the Tien Shan are also applicable within the Dzungarian Alatau and, accordingly, can be useful in assessing the speed of tectonic movements, the seismic hazard of the region, etc.

Изучение речных террас дает большой материал для установки интервалов времени в пределах которых по тому или иному разрыву происходят дифференциальные перемещения, а так же для оценки амплитуды и скоростей этих движений по отдельным эпохам. Для этого, как известно, анализируется разность высот разорванных геоморфологических уровней (террас, денудационных поверхностей) одного и того же возраста. В свою очередь, знание скорости движений крыльев разлома дает возможность оценить скорость накопления деформаций в том или ином районе, и соответственно, частоту повторения сильных землетрясений.

Рассмотрим последовательность формирования речных террас в горных районах Центральной Азии, изучение которой привело к разработке стратиграфии четвертичных отложений этого региона и пониманию последовательности четвертичного осадконакопления. Именно теснейшая связь отложений с рельефом - одна из существенных особенностей, которая в рассматриваемом регионе придает геоморфологическим критериям стратификации первостепенное значение.

В общей схеме геоморфологического районирования гор Средней Азии (Трофимов, 1973) выделяются весьма характерные морфоструктурные области: области устойчивого прогибания, устойчивого поднятия и области с обращенным тектоническим режимом, которые были втянуты в поднятие в ранне-среднечетвертичное время. Последние области обычно рассматриваются как самостоятельные структурные единицы (Григоренко 1970, Трофимов 1973) в то время как некоторые исследователи с определенными оговорками склонны относить их к областям устойчивого прогибания.

Во всех указанных схемах выделяются комплексы отложений, относящиеся к четырем отделам четвертичной системы с присвоением им местных географических названий. Сходство этих схем определяется подобием истории геологического развития основных морфоструктурных областей Центральной Азии, синхронностью и подобием в количественном отношении климатических ритмов. Именно эти критерии и послужили основой для объединения указанных региональных схем стратиграфии в общую схему стратиграфии четвертичных отложений Центральной Азии. Эту геолого-геоморфологическую общность и было предложено отразить в названиях комплексов, поскольку в настоящее время ни один из комплексов в местных схемах стратиграфии, имеющих географическое название, не может считаться наиболее стратотипным для всей Средней Азии (Трофимов, 1973, 1976). Это прирусловый комплекс (отложения русла, поймы, высокой поймы, террасы 1, местами 1а), равнинный комплекс (отложения террас 2, 3, 4) адырный (отложения террас и террасовидных цикловых уровней 5, 6), верхний адырный

(отложения свит, венчающих разрезы неогеновых моласс, кровля которых образует седьмой цикловой уровень 7)

Сопоставление опорных сводных разрезов, так же как и статистический анализ геолого-геоморфологических профилей, составленных в различных районах Средней Азии, показал, что в однотипных морфоструктурных зонах соотношение террасовых комплексов однотипно (Трофимов, 1973). Выдержанное количество цикловых (террасовых и террасовидных) уровней – есть правило, а наличие большого количества локальных уровней - исключение. Высоты террасы по регионам могут меняться незначительно, но в каждой морфоструктурной зоне эти колебания имеют предел. Иными словами, цикловые уровни являются геоморфологическими маркирующими горизонтами, которые можно и необходимо использовать для корреляции местных схем стратиграфии четвертичных отложений внутри региона.

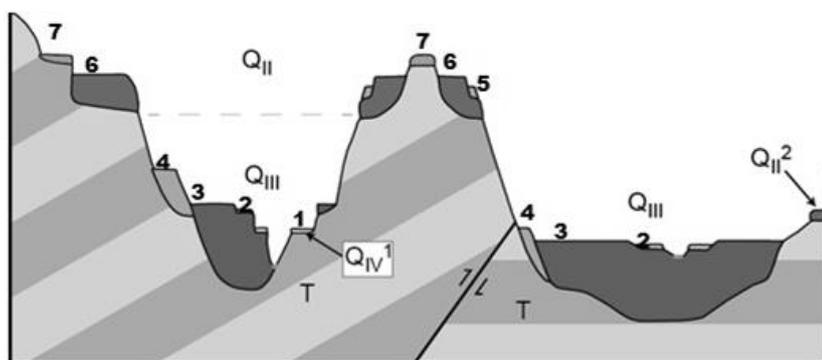


Рисунок 1 - Общая схема формирования речных террас Тянь-Шаня и их соотношение. Разной цветовой заливкой показаны террасы разных геоморфологических комплексов: 1 – терраса прируслового комплекса; 2, 3, 4 – террасы равнинного комплекса; 5, 6, 7 – террасы адырного комплекса. Отметим, что отложения поверхности 7 включаются иногда в верхнюю часть разрезов неогеновых моласс. QII, QIII, QIV – отделы четвертичной системы.

Территория Джунгарского Алатау была вовлечена в процесс орогенеза в начале позднеальпийского (неотектонического) этапа, однако тектонические движения здесь были значительно менее интенсивными, чем на Тянь-Шане. Различия в интенсивности движений выразились, в частности, в меньшей высоте хребтов, в меньшей развитости четвертичного оледенения, меньшей вертикальной расчлененности рельефа, меньшей интенсивности землетрясений и т.д. При этом, если южная часть Джунгарского Алатау в области сочленения с Джунгарской впадиной мало отличается от межгорных и внутригорных впадин Тянь-Шаня, то его северная часть, в области сочленения хребта с равнинами Казахского щита, отличается весьма значительно. Относительная высота речных террас незначительна, морфотипная выраженность цикловых террас, т.е. террас, сформированных в рамках одного и того же естественно-исторического этапа развития рельефа горной системы, в этом районе незначительна. Это мешает установлению основных этапов рельефообразования и их связи с тектоническими движениями этого региона. Для сравнения рассмотрим геоморфологическое положение долины р. Тентек (рисунок 2. северный борт Джунгарского Алатау) и долины р. Усек (рисунок 3. южный борт Джунгарского Алатау)

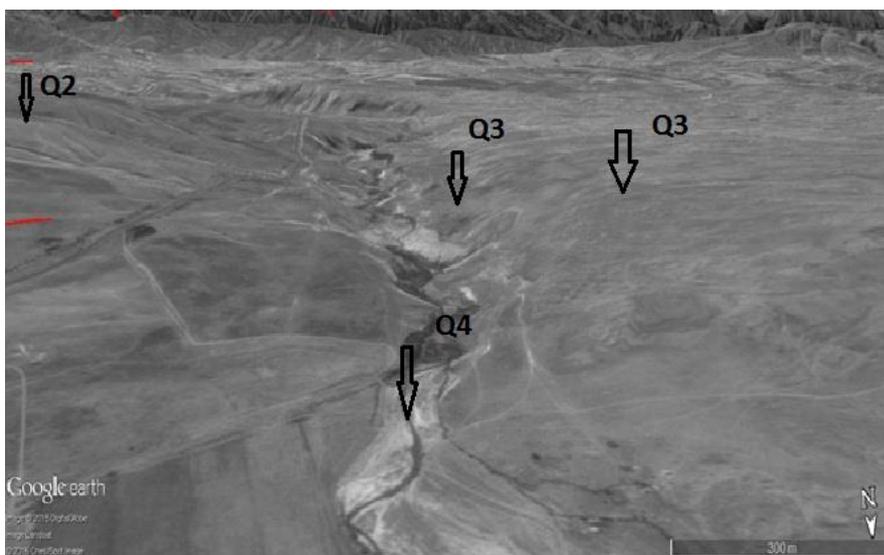


Рисунок 2 - Долина р. Тентек на выходе из предгорий (Северный борт Джунгарского Алатау)

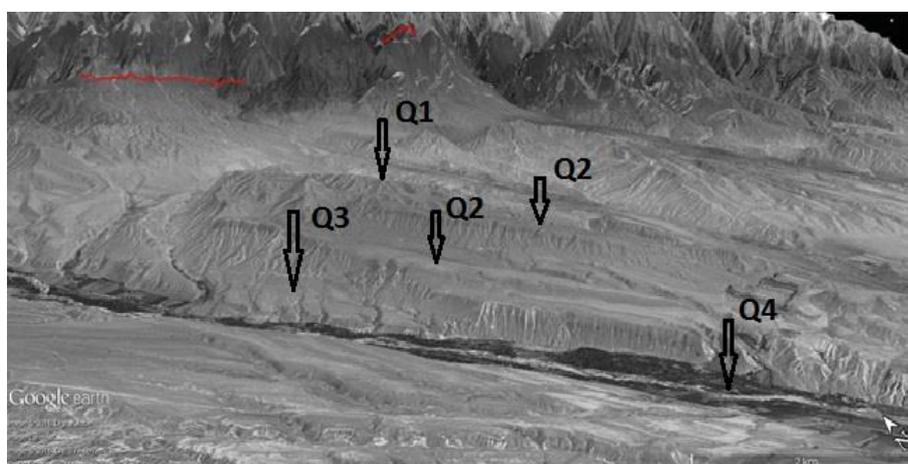


Рисунок 3 - Долина р. Усек (Илийская впадина, Южный борт Джунгарского Алатау)
 Как видно, положение террас южного борта Джунгарского Алатау весьма схоже с геоморфологическим положением речных террас Тянь-Шаня (рис.

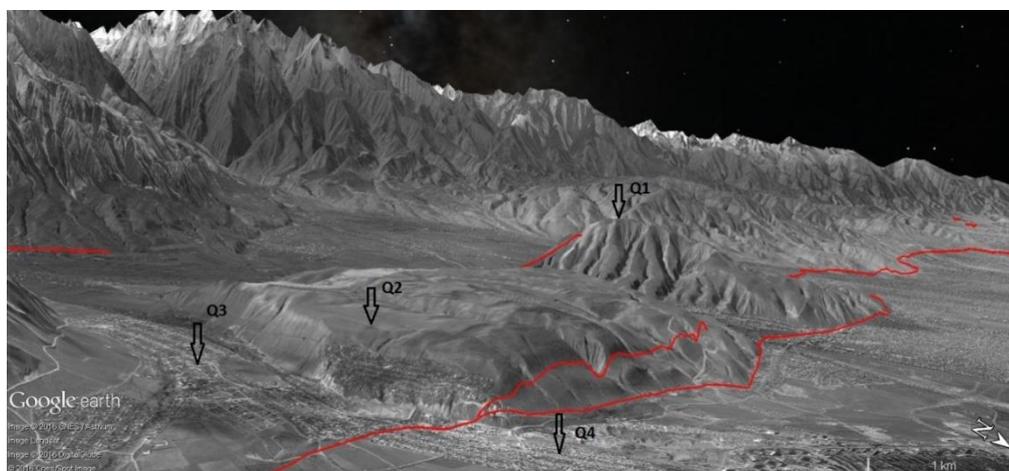


Рисунок 4 - Долина р. Аламедин (Чуйская впадина, Северный Тянь-Шань)



Рисунок 5 - Долина р. Кажыргы (Нарынская впадина, Центральный Тянь-Шань)

Это связано в первую очередь с тем, что указанные районы находятся в схожих геотектонических условиях: это области с обращенным тектоническим режимом, которые были втянуты в поднятие в ранне-среднечетвертичное время. Такие области обычно расположены в районах сочленения крутых крыльев мегантиклиналей-хребтов с прилегающими межгорными впадинами. С противоположной стороны, со стороны пологих крыльев таких мегантиклиналей формирования переходных зон не происходит в связи с безразрывным сочленением хребта и прилегающей впадины. Соответственно, выраженность в рельефе речных террас слабее (рисунки 4, 5).

Однако указанные выше естественно-исторические этапы развития рельефа горной системы должны проявляться в пределах всего хребта, безотносительно тектонического положения крыльев. Соответственно, строение террас и их взаимоотношения и с южной и с северной стороны хребта должны быть одинаковы, возможно, с меньшей выраженностью с северной стороны.

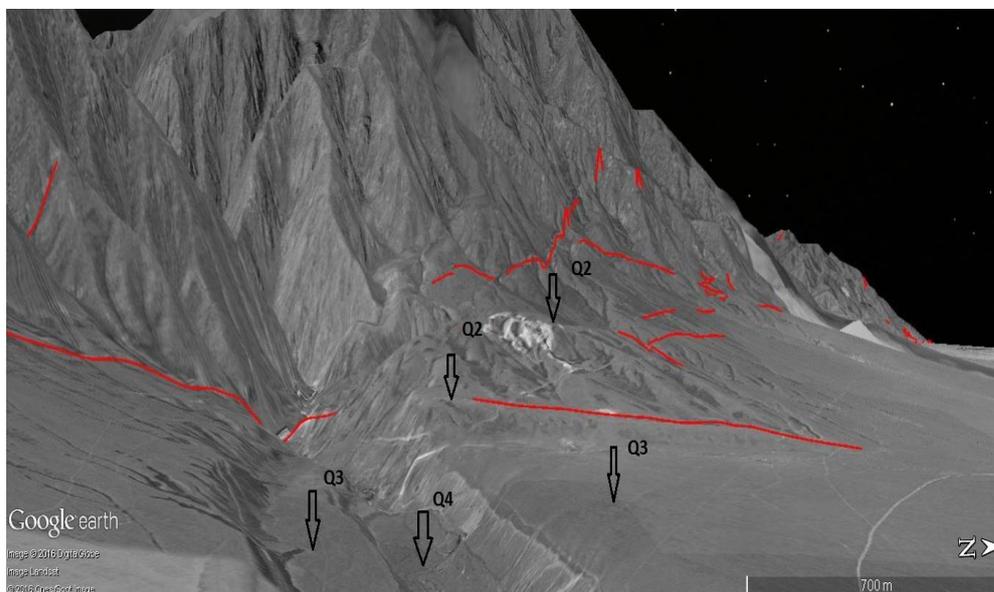


Рисунок 6 - Четвертичные террасы долины р. Ргайты в районе выхода долины в Алакольскую впадину (Джунгария). Хорошо видно, что террасы равнинного комплекса (Q_{III}) отделены значительным врезом от террас адырного комплекса (Q_{II}). В свою очередь, террасы прируслового комплекса отделены глубоким врезом от террас равнинного комплекса (Q_{IV})

Как видно из рисунка 1 формирование террас равнинного комплекса (поздний плейстоцен) началось после длительного периода врезания речных долин. Основным элементом этого комплекса является третья терраса. По периферии некоторых впадин она

перекрывается дельтами и конусами, коррелятными первой террасе. Однако в ряде районов отложения третьей террасы почти полностью погребены под отложениями первой, которая в таком случае должна включаться в равнинный комплекс. Третья и четвертая террасы тесно связаны в геологическом отношении, но четвертая терраса в большей степени адырна, по существу это предадырная терраса, поэтому без сопоставления опорных разрезов и цикловых террас эти отложения в одних районах могут быть отнесены к равнинному комплексу, в других – к адырному.

Таким образом, приведенные выше примеры показывают, что изученные и разработанные в пределах Тянь-Шаня схемы формирования террас применимы и в пределах Джунгарского Алатау и, соответственно, могут быть полезны при оценке скорости тектонических движений, сейсмической опасности региона и др. Исследования, проведенные Р. Бургетте с соавторами (2016) в пределах Тянь-Шаня показали, что идентификация и возраст наиболее крупной аккумулятивной террасы равнинного комплекса Q_{III-II} определяется и коррелируется в межгорных впадинах этого региона правильно. Доказано, что указанная терраса намыта во время и после пика последнего крупного оледенения Тянь-Шаня, который предшествовал последнему глобальному максимуму объема льда. Доказано также (Абдрахматов и др., 2007, Thompson et. al., 2002, Burgette et. al., 2016), что в центральном Кыргызском Тянь-Шане происходило формирование одной главной аккумулятивной террасы во время каждого крупного ледникового периода, и, что глубокое врезание, вероятно, происходит во время крупных ледниково-межледниковых переходов.

Отметим, что современные данные измерения тектонических движений с помощью GPS (Abdrakhmatov et.al., 1996, Зубович и др., 2011) показывают, что современные поднятия горных хребтов Центральной Азии не превышают 1 мм/год.

Литература

1. Курдюков К.В. Современные разломы вдоль подножия Джунгарского Алатау, //Природа, 1953, № 12
2. Никонов А.А. Активные разломы: определение и проблемы выделения //Геоэкология, № 4, 1995, с.16-27
3. Никонов А.А. Закономерности развития речных долин юга Средней Азии в антропогене // ДАН СССР, 1970, т.195, №1, с.166-169
4. Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез, М., Наука, 1983, 224с.

Виляев А.В.

ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК
пр. Аль-Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан
Телефон +77055662000, E-mail: vilayev@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ GPS СТАНЦИЙ НА ОЦЕНКУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Аннотация Большинство временных рядов GPS станций включает сезонный сигнал, амплитуда которого может достигать нескольких миллиметров. Этот сезонный сигнал можно удалить, подгоняя дополнительный синусоидальный сигнал с периодом в один год к данным GPS во время оценки линейного тренда. Однако, удаление данного сигнала может исказить реальное сезонное изменение напряженно-деформированного состояния земной коры. В работе показана необходимость учета сезонных вариаций GPS станций в определении линейного тренда для оценки слабой (фоновой) сейсмичности.

Abstract Most of the time series of GPS stations include a seasonal signal, the amplitude of which can reach several millimeters. This seasonal signal can be removed by fitting an additional one-

year period sine signal to the GPS data during linear trend evaluation. However, the removal of this signal can distort the real seasonal change in the stress-strain state of the earth's crust. The paper shows the need to take into account the seasonal variations of GPS stations in determining a linear trend to assess weak (background) seismicity.

Анализ временных рядов суточных координат GPS станций для оценки векового движения земной поверхности в настоящее время стал рутинной операцией [1-5]. В основном предполагается линейное движение тектонических блоков, также называемое линейным трендом.

В то же время большинство временных рядов GPS содержат сезонную вариацию с амплитудами соизмеримыми с линейным трендом. Исключая ошибки аппаратуры и математической обработки, наиболее весомыми считаются изменения атмосферной нагрузки [6], гидрологическое воздействие уровня подземных вод [7], сезонные температурные эффекты [8].

Считается, что при продолжительном геодинамическом мониторинге движений поверхности периодом более 4-5 лет сезонные вариации GPS сигнала не оказывают влияния на точность линейного тренда [9]. Однако, как показывают последние исследования, годовые циклы вносят значительный вклад в оценку линейного тренда [10] и в формирование деформационных процессов, имеющих практическое значение при изучении региональных тектонических движений и геодинамических предвестников землетрясений [11,12]. Устранение короткопериодных сезонных вариаций из наблюдений для повышения точности определения глобальных тектонических движений не учитывает локальный характер высокочастотной деформации, влияющий на проявление слабой сейсмичности.

В настоящее время для территории Северного Тянь-Шаня накоплены значительные научные данные и материалы по результатам исследований природы современных движений методами космической геодезии. Исходными данными являются результаты наблюдений на 11 пунктах локальной сети стационарных GPS приемников Института Сейсмологии (5 станций) за период 2009-2018 гг. Станции расположены в сейсмически опасной зоне с возможной сотрясаемостью до 9-ти баллов в районе хребта Заилийский Алатау, а также в переходной области к асейсмичной части Казахского щита. Для автоматизированных измерений использовались двухфазные GPS приемники LEICA GPS1200, TRIMBLE 4000SST, ROGUE SNR-8000. Дискретность взятия отсчетов составляла 30 сек (рисунок 1).

Обработка сигналов осуществлялась программным комплексом GAMIT/GLOBK. Координаты пунктов рассчитывались на основе дифференциальных фазовых и кодовых наблюдений, параметров орбит движения спутников, ионосферной и тропосферной задержек, фазовых неоднозначностей. Полученные решения локальной GPS сети объединяются с решениями координат GPS пунктов мировой сети IGS и совместно уравниваются. Основными выходными параметрами служат ежесуточные значения смещений по направлениям юг-север (SN), запад-восток (WE) и по вертикали (Up) в системе отсчета координат ITRF2014_ EURA, а также их временные ряды и вектора скоростей движений по тем же направлениям.

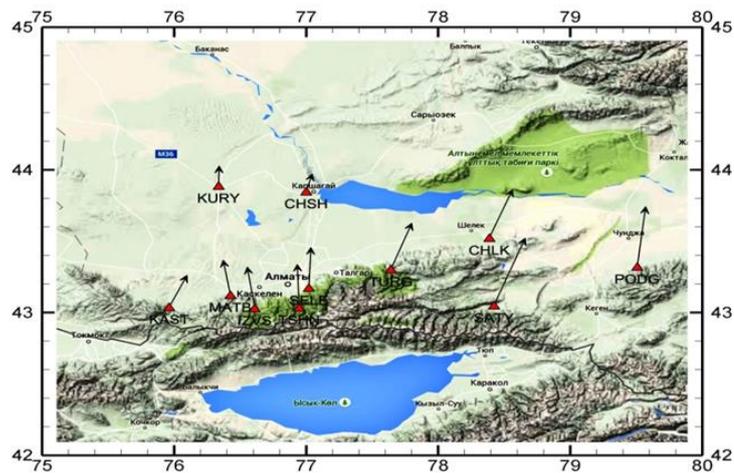


Рисунок 1 – GPS станции локальной сети Алматинского полигона с векторами скоростей горизонтальных смещений (линейный тренд)

После удаления из временных рядов линейного тренда для анализа сезонных вариаций движения GPS пунктов определялись SIN и COS коэффициенты и фазовый сдвиг для каждой компоненты подпрограммой tsview комплекса GLOBK (рисунок 2).

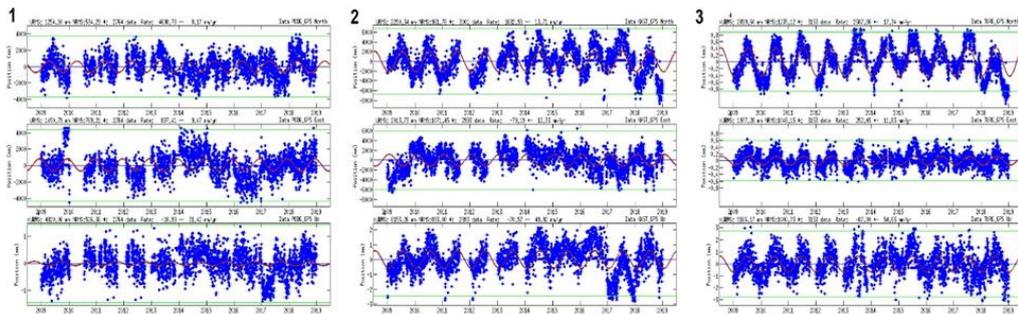


Рисунок 2 – Пример определения синусоидальных коэффициентов компонент (SN, WE, Up сверху вниз) временных рядов GPS станций 1-PODG, 2-KAST, 3-TURG

На каждый день года методом «накопления эпох» составлены модели ежегодного смещения фазового центра приемных антенн. Сезонное годовичное и полугодовичное периодическое движение пунктов в горизонтальной плоскости аппроксимировано эллипсом вращения. Амплитуда перемещений, определяемая по главной оси эллипса, изменяется от 2 мм до 4 мм в сезон. При этом центр эллипса является центром GPS станции, перемещающейся со скоростью и по направлению определяемым линейным (вековым) трендом.

Главные оси эллипса определяют максимальные компоненты смещения по направлениям SN и WE и, тем самым, определяют вектор скорости движения GPS станции в соответствующий сезонный период (рисунок 3).

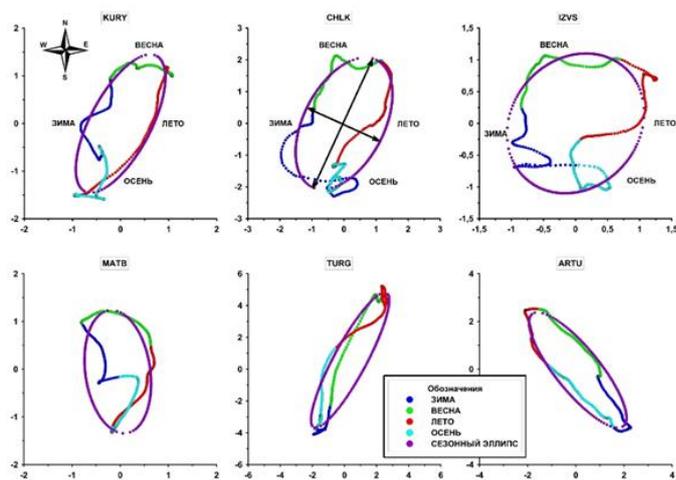


Рисунок 3 – Пример сезонной динамики смещений GPS станций в горизонтальной плоскости

Учитывая сезонные вариации GPS смещений в определении линейного тренда для различных астрономических времен года определены вектора реальных движений земной поверхности (рисунок 4)

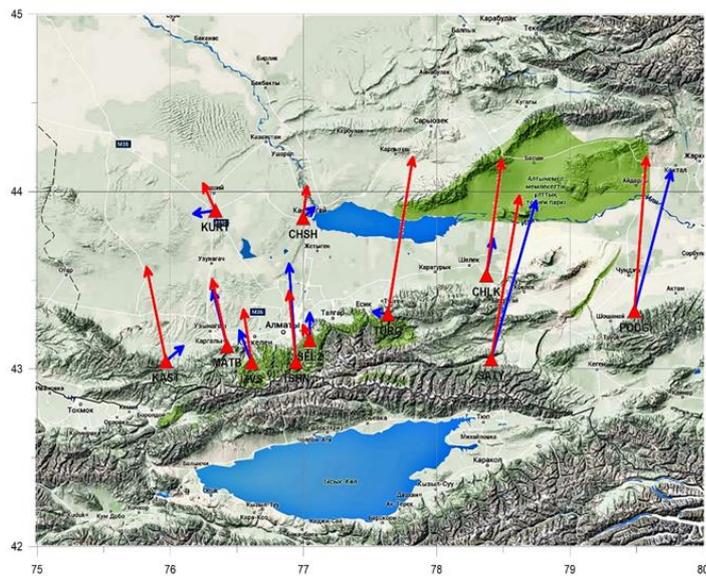


Рисунок 4 – Скорости и направление смещений GPS станций Алматинского полигона в осенне-зимний (синие стрелки) и весенне-летний (красные стрелки) периоды

Выбор объединения временных периодов осенне-зимний и весенне-летний для анализа скоростей станций обусловлен выраженной годовой периодичностью слабой сейсмичности для землетрясений энергетического класса $Kл=5.6-7.5$ (рисунок 5). Уровень представительной регистрации землетрясений соответствует $K>6.0$ территории центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау.

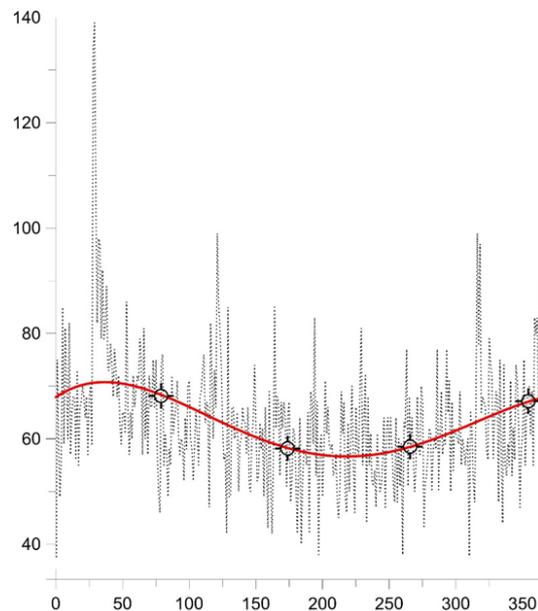


Рисунок 5 – Распределение слабой сейсмичности (Кл=5.6-76.5) в течении года по данным каталога СОМЭ за 1990-2023 гг. (красная линия - полиномиальный тренд, значками отмечены даты равноденствия и солнцестояния)

Отмечается преобладание слабых землетрясений в осенне-зимний период (восходящая ветвь полинома) в сравнении с весенне-летним периодом (нисходящая) в количественном отношении на 19.3 %.

Неравномерное движение участков земной коры приводит к накоплению деформаций, проявляющихся в современной сейсмичности. Амплитуды компонент смещений принимаются как деформация поверхности в единицу времени. Значения векторов компонент скорости смещений интерполируются в программе SURFER методом kriging к регулярной сети 18x12 км в пределах контура с координатами $42^{\circ}\div 45^{\circ}$ с.ш. – $75^{\circ}\div 80^{\circ}$ в.д. Возможность интерполяции полученных результатов внутри контура обеспечивается привлечением данных измерений на сети мировых GPS станций за пределами Казахстана.

Для расчётов напряженного состояния объем земной коры аппроксимирован моделью сплошной среды, в которой применена теория механики деформируемого тела без учёта факторов времени и температуры. Связь между напряжениями и деформациями принимается линейной, т.е. соответствующей закону Гука. Тем самым в расчетах земная кора считается сплошной и неразрывной [5,13,14].

В этой постановке задачи, принимая скорость движения как деформацию в единицу времени, в Гауссовой системе координат по локальным неоднородностям распределения скоростей в каждом пункте интерполированной сети рассчитываются параметры напряженно-деформированного состояния земной коры по формулам [14].

Анализ полученных результатов позволил выделить области наибольших различий в ориентации векторов главных деформаций (рисунок 6) и амплитуд максимальных сдвиговых деформаций (рисунок 7) по которым оконтурены территории полигона.

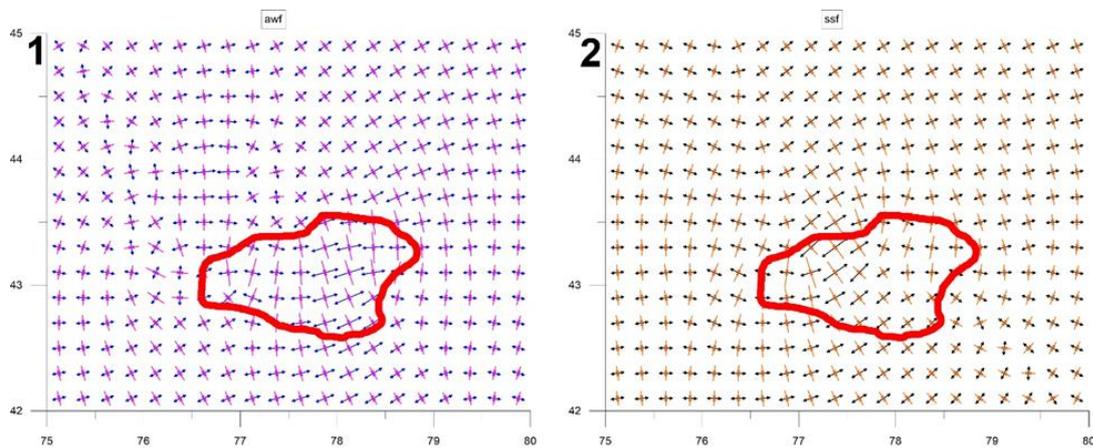


Рисунок 6 – Ориентация векторов главных деформаций поверхности по сезонам года: 1– осенне-зимний, 2- весенне-летний, контур – область наибольших расхождений амплитуд и направлений

В оконтуренной области в осенне-зимний период преобладает субширотная ориентация деформаций растяжения и субмеридиональная сжимающих. В весенне-летний период ориентация деформаций расширения более северо-восточная, деформаций сжатия северо-западная. Также наблюдается различие в амплитудах главных деформаций.

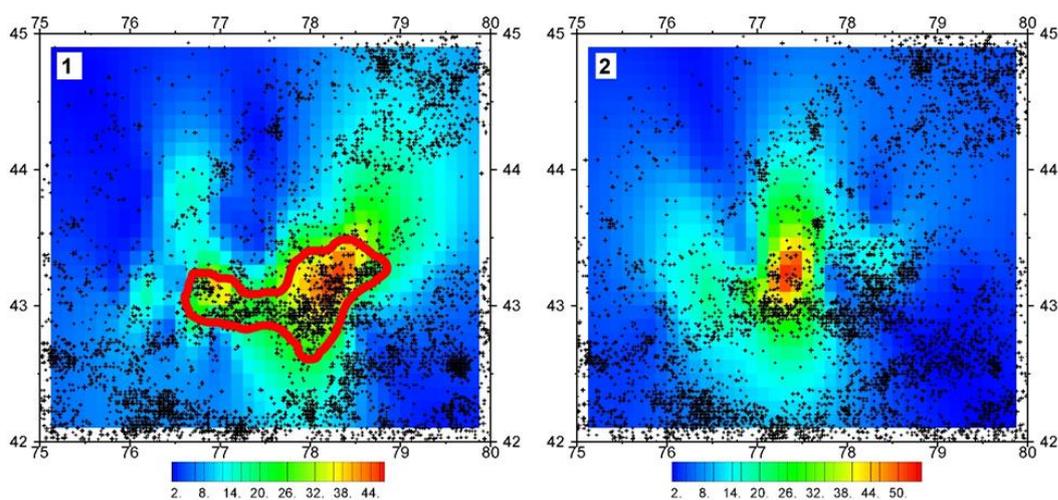


Рисунок 7 – Распределение максимальных сдвиговых деформаций поверхности и эпицентров землетрясений по сезонам: 1– осенне-зимний, 2- весенне-летний, контур – область повышенной концентрации эпицентров сезонных землетрясений

Наблюдается выраженная пространственная приуроченность эпицентров землетрясений к расположению экстремумов поля максимальных деформаций сдвига, рассчитанных с учетом сезонных вариаций.

Компонентная оценка сезонных и вековых движений поверхности демонстрирует триггерный характер вариаций поля напряженно-деформированного состояния при наличии устойчивого линейного тренда. Проведенное исследование показывает необходимость учета влияния сезонных вариаций GPS станций в оценке напряженно-деформированного состояния регионального участка земной коры и проявления слабой сейсмичности.

Литература

1. Bruyninx, C., 2004. The EUREF Permanent Network; a multidisciplinary network serving surveyors as well as scientists. *GeoInformatics* 7 (5), 32–35.
2. Prawirodirdjo, L., Bock, Y., 2004. Instantaneous global plate motion model from 12 years of continuous GPS observations. *J. Geophys. Res.* 109 (B18), 8405+.

3. Herring T. A., King R. W., McClusky S. C. GAMIT GPS Analysis at MIT Version 10.4 // Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2010A. – 162 p.
4. Herring T. A., King R. W., McClusky S. C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.4 // Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2010B. – 90 p.
5. Vilayev A.V., Zhantayev Zh.Sh., Bibosinov A.Zh. Monitoring crustal movements in northern Tianshan Mountain based on GPS technology // Geodesy and Geodynamics, V.8, Issue 3, (2017), 155-159 <http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2017.03.006>
6. [1] Van Dam, T.M., Wahr, J., Chao, Y., Leuliette, E. Predictions of crustal deformation and of geoid and sea-level variability caused by oceanic and atmospheric loading. *Geophys. J.*, 1997, Int. 129, 507–517 (in Eng.)
7. Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P.C.D., Shmakin, A.B., Blewitt, G., Lavallée, D., Larson, K.M. Crustal displacements due to continental water loading. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, 28, 651–654. (in Eng.)
8. Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., Ghirotti, M. Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. *J. Geodyn.*, 2003, 35 (4–5), 521–539. (in Eng.)
9. Blewitt, G., Lavallée, D. Effect of annual signals on geodetic velocity. *J. Geophys. Res.*, 2002, 107, 2145. (in Eng.)
10. M.S. Bos, L. Bastos, R.M.S. Fernandes The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series, 2010, *J. of Geodynamics*. 49, 205–209. (in Eng.)
11. Trofimenko S.V., Grib N.N., Kolodeznikov I.I., Marshalov A.Ia. Inertcionnaia model vzaimodeistviia blokov zemnoi kory po dannym GPS -geodezii, *Fundamentalnye issledovaniia Geologo-mineralogicheskie nauki*, 2013, №6, 111-115 (in Rus.)
12. Виляев А.В., Жантаев Ж.Ш., Стихарный А.П. Динамика сезонных движений GPS станций на территории Северного Тянь-Шаня // Известия НАН РК, Серия физико-математическая. – Алматы, 2016. - № 4 (№308). – С. 34-39.
<http://nblib.library.kz/elib/library.kz/jurnal/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0-04-16/Vilyayev0416.pdf>
13. Оловянный А.Г. Механика горных пород. Моделирование разрушений. – СПб.: 2012. 280с.
14. Jaeger J. C., Cook N. G.W. Zimmerman R. W. *Fundamentals of Rock Mechanics*. 4th ed. – Blackwell Publishing, 2007. – P.360.

Белослюдцев О. М., Виляев А.В., Бахарева Л.Т.

Институт сейсмологии, Республика Казахстан, Алматы, пр. Аль-Фараби, 75а.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДАННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. При поиске краткосрочных предвестников землетрясений применена методика нормирования аномалий в сейсмических, геофизических и гидрогеологических данных системы сейсмологического мониторинга. С целью получения количественных оценок предвестников предлагается метод комплексирования анализируемых компонентов.

Resume. When searching for short-term earthquake precursors, the method of normalizing anomalies in seismic, geophysical and hydrogeological data of the seismological monitoring system was applied. In order to obtain quantitative estimates of the precursors, a method of complexing the analyzed components is proposed.

Введение.

На территории юго-восточного Казахстана действует сеть станций сейсмологического мониторинга (рис. 1), осуществляющая в течение более 40 лет непрерывные инструментальные наблюдения за сейсмическим режимом, геофизическими полями, гидрогеохимическими и гидрогеохимическими параметрами подземных вод [1]. Сейсмические наблюдения в широком частотном и динамическом диапазонах проводятся на 52 станциях. Уровень представительной регистрации землетрясений соответствует для энергетических классов $K > 7,5$ всей территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, а для $K > 6.5$ - центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау. Ежегодно регистрируется до 12 000 слабых землетрясений. В последние годы, с увеличением плотности размещения станций и оснащением цифровой аппаратурой, повысилась точность определения основных параметров землетрясений, что позволяет проводить анализ слабой сейсмичности во временных окнах диапазона средне- и краткосрочного прогноза. Получили развитие методы выделения аномалий в геофизических полях и гидрогеологических параметрах накануне сильных и умеренных землетрясений.

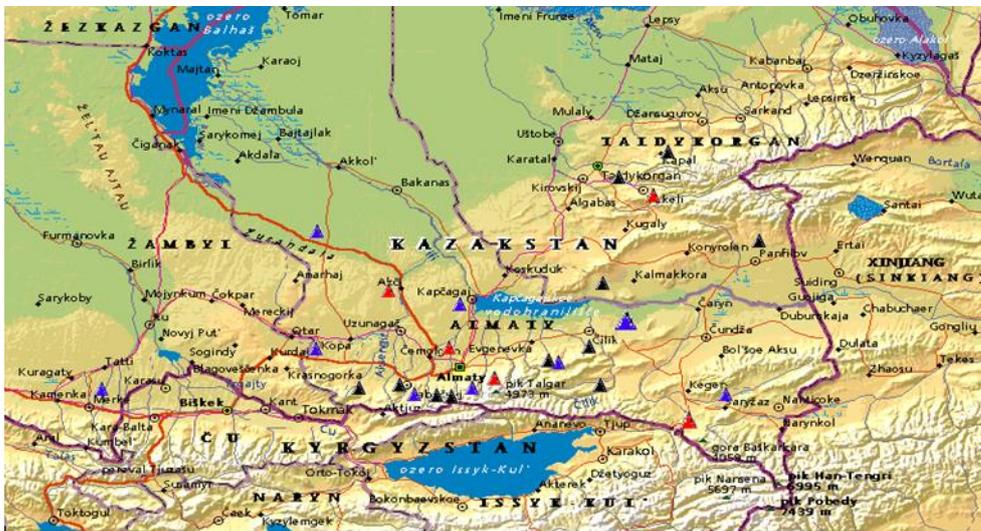


Рис. 1 Сеть сейсмических станций Алматинского прогностического полигона.

Методика

Информативные параметры сейсмического режима условно разделены на среднесрочные, проявляющиеся за 6-12 месяцев до сильного землетрясения (аномалии затишья R_{TL} , отношения количества землетрясений N_{10}/N_9 , отношения скоростей V_p/V_s , анизотропия скоростей продольных волн V_{py}/V_{px} , глубин гипоцентров h), и краткосрочные. Краткосрочные аномалии в сейсмических параметрах выделены в окне обработки с достаточной статистикой (V_p/V_s , нормированная активизация, модуль полного вектора магнитного поля T , отношение его компонент $\delta Z/\delta H$, ЭМИ и ЭТП). В качестве исходного материала использован каталог землетрясений СОМЭ (Сейсмологической опытно-методической экспедиции) за период наблюдений 1965-2022 г.г. и станционные бюллетени.

Для выявления аномальных временных и пространственных вариаций параметров слабой сейсмичности (энергетический класс $K=7-9$) использован метод анализа в распределённых по площади полигона ячейках, размеры которых выбраны экспериментально и составляют $45' \times 30'$. Вся территория Северного Тянь-Шаня и Джунгарии разбита на 1326 ячеек. В каждой площадной ячейке для анализируемого сейсмического параметра в скользящем временном окне фиксированного диапазона с шагом 1 сутки, рассчитываются его статистические характеристики. Ширина временного

диапазона подбирается экспериментально (оптимально для среднесрочного 180-365 суток, краткосрочного до 90 суток).

Выделение аномалий в сейсмических параметрах. По станционным сейсмическим бюллетеням составлен локальный каталог V_p/V_s , на основе которого проводился расчет временного и пространственного распределения данного сейсмического параметра, связанного с прочностью геосреды. В связи с развитием деформационного процесса при подготовке тектонического землетрясения параметр отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s может принимать значения, отличные от среднего для данного региона. [2-3]. Рассчитаны статистически представительные временные окна, а также размер площадок, используемых при построении карт пространственного распределения исследуемого параметра [4]. Оптимальными для целей краткосрочного прогноза оказались временные окна 45-90 суток. и площадки с размерами 0.5×0.25 град.

Ретроспективный анализ данных об изменениях отношения V_p/V_s проведен с учетом наличия непрерывных данных. На рис. 2 приведены графики V_p/V_s во временных окрестностях с $K=14.2$ (28.01.2013) и схема пространственного распределения V_p/V_s за 3 месяца до Байсорунского землетрясения с $K=14.6$ (12.11.1990).

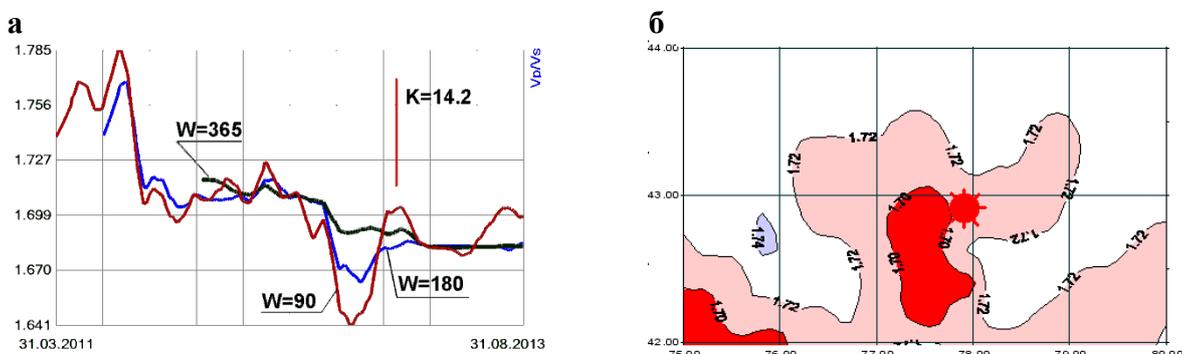


Рис. 2 – Графики V_p/V_s на станции Саты в период землетрясения с $K=14.2$ (а) и схема пространственного распределения отношения скоростей сейсмических волн накануне Байсорунского землетрясения с $K=14.6$ (б)

Схемы пространственного распределения отношения скоростей сейсмических волн накануне землетрясений приведены на рис. 3,а ($K=12.8$) и на рис. 3,б ($K=14.3$). Динамика режима слабой сейсмичности, проявляющаяся в возникновении аномалий в процессах затишье-активизация, раскрывается в методе RTL, разработанном Г.А. Соболевым [5-7]. Параметр RTL представляет произведение трех функций R – расстояние, T – время и L – длина разрыва, характеризующих распределений в пространстве, во времени и по энергии. Активизация сейсмического режима, выраженная аномалиями RTL проявляется накануне сильного землетрясения и локализуется в районе будущего очага с $K>13$ (рис. 4-6).

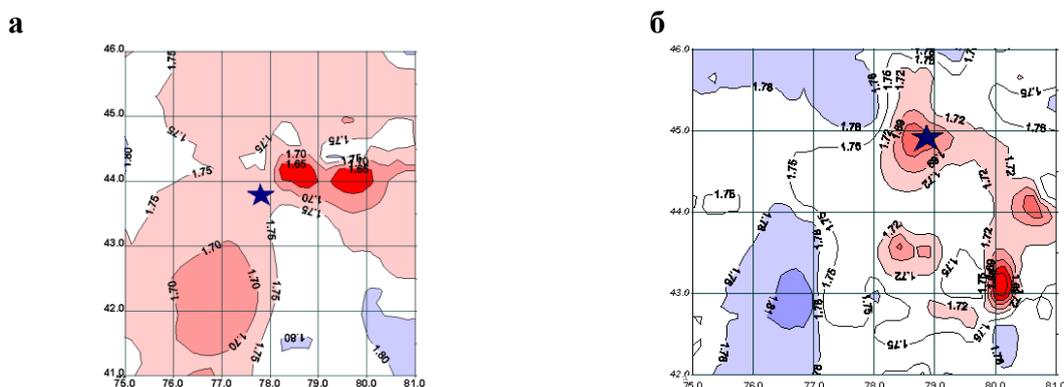


Рис. 3 –Пространственные аномалии V_p/V_s накануне

землетрясением с $K=12.8$ (а) и с $K=14.2$ (б)

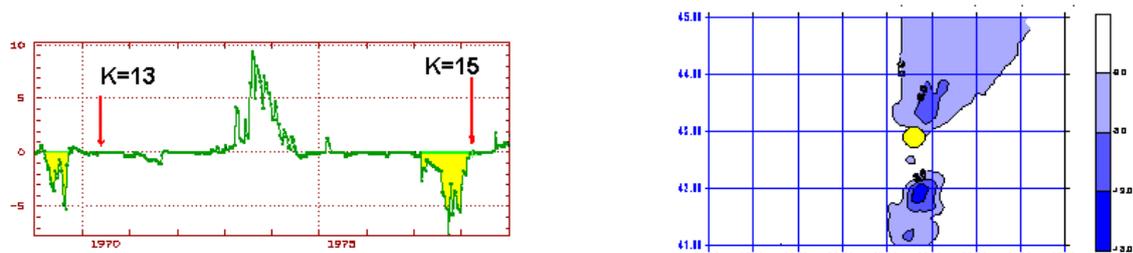


Рис. 4 – Аномалии RTL во времени и по площади перед Жаланаш-Тюпским землетрясением с $K=15.0$ (24.03.1978)

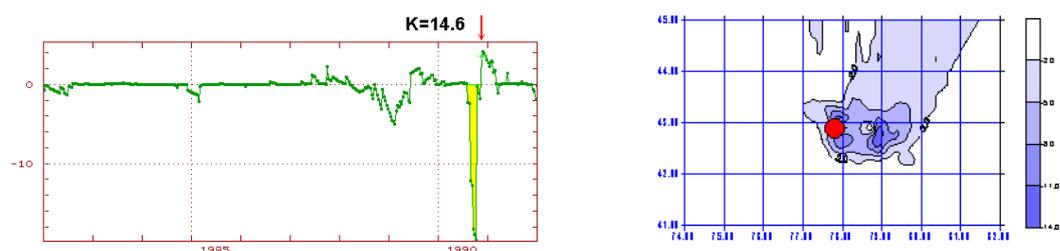


Рис. 5 – Аномалии RTL во времени и по площади накануне Байсорунского землетрясения с $K=14.6$ (12.11.1990)

Анализ проведен для различных временных интервалов перед основным сейсмическим событием с различными значениями параметров $K_{\text{мин}}$, $R_{\text{мин}}$ и T_0 . На представленных иллюстрационных материалах отмечается наличие четких среднесрочных аномалий RTL во временном и пространственном распределении.

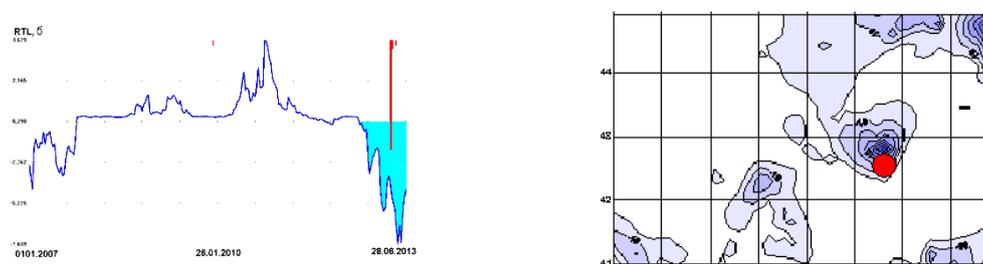


Рис. 6 – Динамика сейсмического режима накануне Сарыжазского землетрясения с $K=14.3$ (28.01.2013)

Использование статистических моделей сейсмического режима [8-11] для расчетов перераспределения глубин гипоцентров перед сильными землетрясениями позволило предложить метод картирования аномальных глубин гипоцентров с определением аномального уменьшения глубин гипоцентров, которое возникает за 2-4 месяца до основного толчка. Для выявления аномальных вариаций параметров слабой сейсмичности нами разработан метод их анализа в распределенных по площади полигона ячейках, размеры которых выбраны экспериментально и составляют $45' \times 30'$. Вся территория Северного Тянь-Шаня и Джунгарии разбита на 806 ячеек. В каждой ячейке рассчитываются статистические характеристики анализируемого сейсмического параметра – глубин гипоцентров в скользящем временном окне с шагом 1 сут., в которое попадает статистически представительное количество землетрясений. Размер временного окна может быть любым, оптимальным он оказался 45 сут. Такой подход позволяет сравнивать результаты на разных площадках и для разных параметров. Все они представляются в стандартизированном виде, в единицах σ (рис. 7-8).

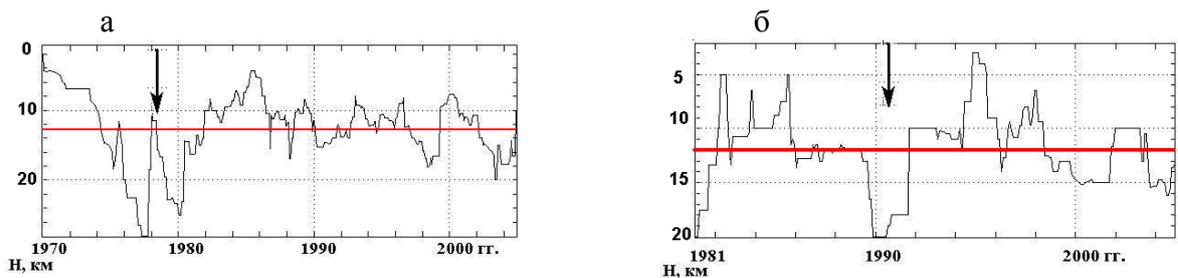


Рис. 7 – Графики вариаций глубин гипоцентров землетрясений по площадкам в окрестностях Жаланаш-Тюпского (а) и Байсорунского землетрясений (б)

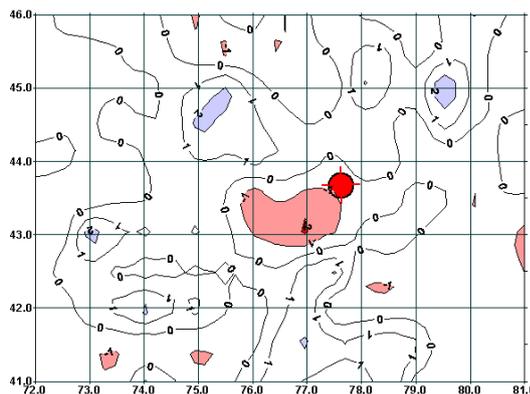


Рис. 8 – Пространственное распределение глубин гипоцентров слабых землетрясений накануне землетрясения с $K=13$, происшедшего 01.05.2011 г.

С целью получения количественных характеристик активизации сейсмичности используется параметр нормированной активизации слабой сейсмичности, в основу которого положен расчет отношения количества N_{K1}/N_{K2} , и длины разрыва очагов слабых землетрясений $L = 10^{0.244K-2.66}$ на заданной площадке. Нормированная активизация $L_{eff} = N_{K1}/N_{K2} + L$ для временного ряда рассчитывается как отношение

$$L_{eff} = \Sigma(N,E,L)_i / \Sigma(N,E,L)_{phone}$$

где L_{effi} – значение параметра в скользящем окне размером W , а L_{effS} его фоновое значение, которое вычисляется на интервале до 10 лет (для исключения сезонного хода) [12]. Для схем пространственного распределения нормированная фоновое значение L_{effS} рассчитывается за весь анализируемый период. На рис. 9 приведены графики нормированной активизации, рассчитанной в периоды Жаланаш-Тюпского, происшедшего 24.03.1978 (а) и Текелийского, происшедшего 13.06.2009 (б) землетрясений во временных окнах 90 суток. Расчеты проводились в скользящем окне размером 90 и шагом 10 суток за период около 6 лет (для получения устойчивого фона). Для исключения возможных афтершоков каталог обрезался за сутки до сильного землетрясения. В результате получены нормированные безразмерные аномалии, амплитуда которых превышает фон в 1.7-2.5 раза.

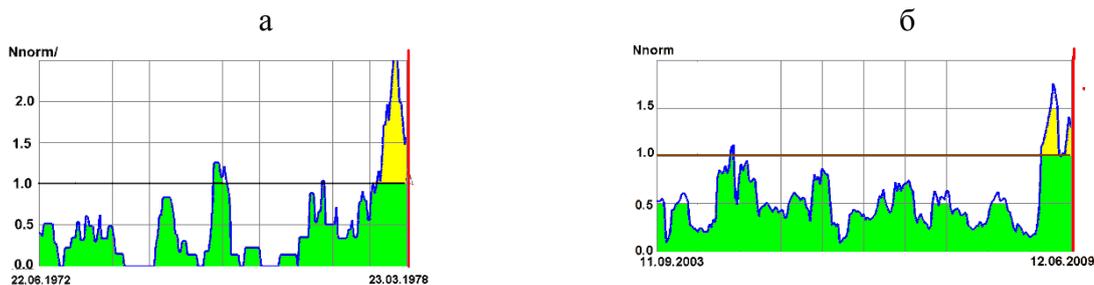


Рис. 9 – Графики нормированной активизации в периоды Жаланаш-Тюпского с $K=15.0$ (а) и Текелийского с $K=13.8$ землетрясений

Зоны активизации, выделенная накануне землетрясений с $K=12.8$ (01.05.2011) и с $K=12.1$ (15.08.2014), за 1 месяц до сейсмических событий во временном окне 90 сут., расположена вблизи эпицентра будущего события (рис. 10).

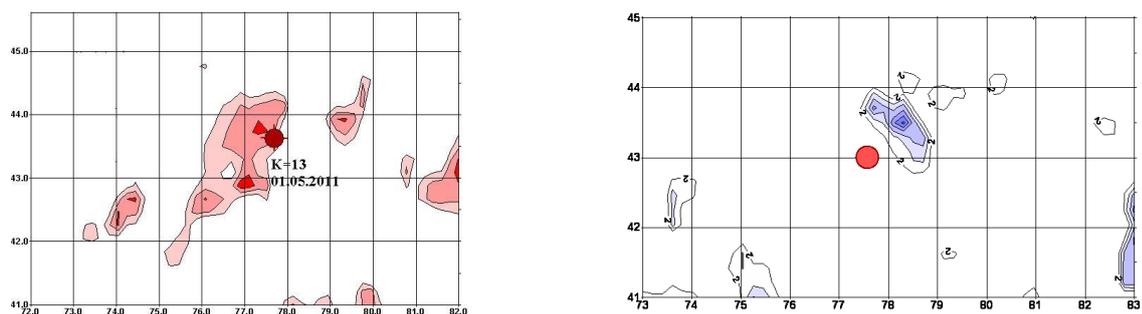


Рис. 10 – Аномалии нормированной активизации накануне землетрясений с $K=12-13$

Аномалии нормированной активизации, выделенные перед сильным Сарыжвзским землетрясением с $K=14.7$ (28.01.2013) характеризуются значительными амплитудами, максимум которых проявился за 1 месяц до землетрясения (рис. 11,а) и землетрясения с $K=11.6$, происшедшего 02.10.2019. (рис. 11,б).

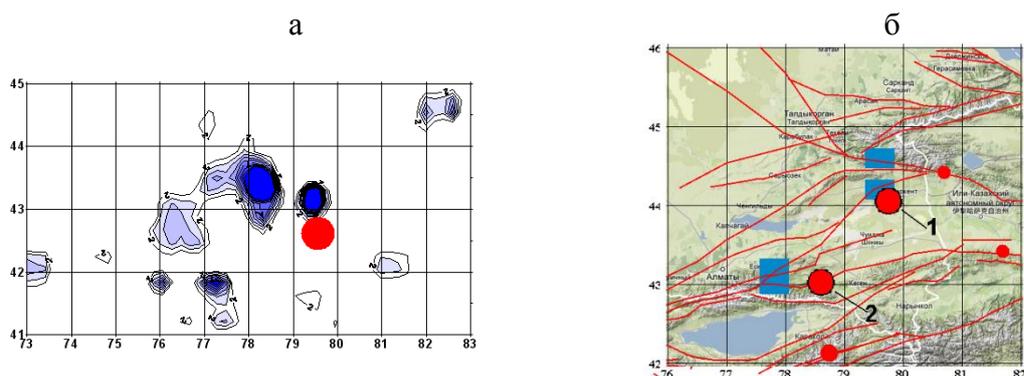


Рис. 11 – Выделение пространственной краткосрочной аномалии-предвестника в нормированной активизации L_{eff} накануне землетрясения с $K=14.7$ (а) и с $K=11.6$ (б)

В последнее время для анализа сейсмической ситуации на Алматинском полигоне используется анизотропия скоростей продольных сейсмических волн, которая рассчитывается путем разложения вектора продольной скорости волн на составляющие V_{px} (восток-запад) и V_{py} (север-юг). Скорости продольных волн определяются по стационарным сейсмическим каталогам с учетом времени пробега из очага до сейсмической станции по данным сейсмических бюллетеней. Перед сильными землетрясениями коэффициент анизотропии $A=V_{py}/V_{px}$ превышал пороговое значение 1.1 (с учетом ошибки определения) Аномальные зоны, как правило, приурочены к зонам основных разломных структур (рис. 12).

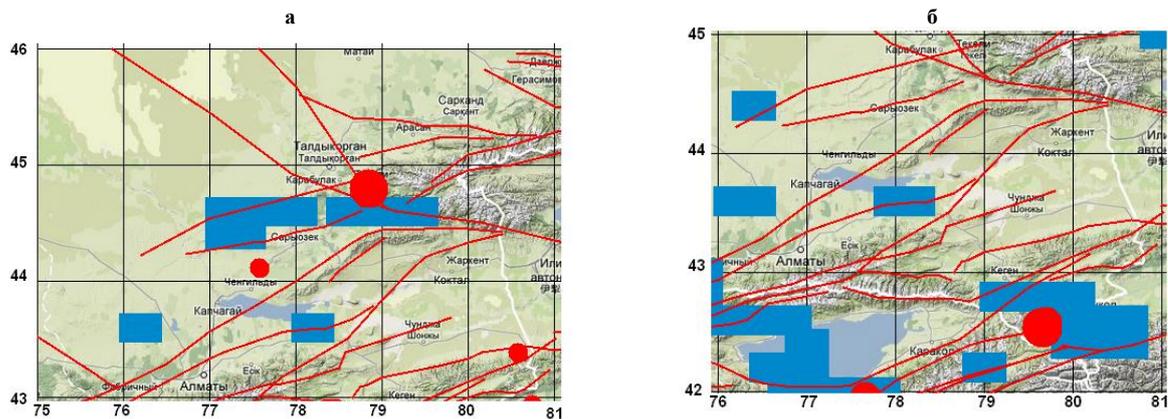


Рис. 12 – Зоны аномальных значений коэффициента анизотропии скоростей продольных сейсмических волн слабых землетрясений накануне Текелийского, с $K=14.3$ (а) и Сарыгөзского, с $K=14.7$ (б) землетрясений

Опыт анализа сейсмических, геофизических и гидрогеологических параметров показал, что универсального предвестника, однозначно указывающего на возможность реализации сейсмического события, ожидать не приходится: в одних параметрах аномалии накануне землетрясения проявляются в явном виде, в других – могут отсутствовать. Сказывается также мозаичность проявления предвестников по территории как следствие наличия неоднородностей геологической среды.

Выделение краткосрочных предвестников требует единого подхода ко всем анализируемым параметрам: из откорректированных на случайные выбросы данных устраняется долговременный тренд; устраняются метеофакторы; вводятся понятия «фон» и «аномалия». Выделение аномалий производится на основе сравнения среднего значения обработанного ряда за анализируемый период S_{phone} с пороговым значением, определённым на ретроспективных данных. На фоновом отрезке ряда в период отсутствия землетрясений вычисляется фоновое среднее значение S_{phone} анализируемого параметра и его дисперсия (σ). За аномалию принимается превышение S_{phone} на $2-3\sigma$, взятое по модулю. Величина аномалии, рассчитываемая по формуле $A = |S_{\text{end}} / (S_{\text{phone}} + 3\sigma)|$ является величиной положительной, безразмерной и нормированной на 1. Тем самым, результаты приводятся к одному масштабу, что позволяет проводить сравнение амплитуд аномалий в разных методах наблюдений и на разных станциях, а также получать интегральную характеристику – комплексный параметр.

При поиске предвестников во временных интервалах исходных или производных временных рядов вводятся понятия «фон» и «аномалия». Оценка аномалий производится на основе сравнения среднего значения обработанного ряда (его конечной модификации) за анализируемый период S_{end} с пороговым значением, определённым на ретроспективных данных. На фоновом отрезке ряда в период отсутствия землетрясений вычисляется фоновое среднее значение $S_{\text{фона}}$ анализируемого параметра и его дисперсия. За аномалию принимается превышение $S_{\text{ф}}$ на $2-3\sigma$, взятое по модулю. Величина аномалии, рассчитываемая по формуле $A = |S_{\text{end}} / (S_{\text{ф}} + 3\sigma)|$ является величиной положительной, безразмерной и нормированной на 1, что позволяет сравнивать аномалии в различных методах наблюдений на разных станциях.

В процессе выявления информативности геофизических параметров производилась их обработка с подбором наиболее эффективных способов для каждого параметра и пункта наблюдений (локализация признаков-предвестников). На основе ретроспективного анализа многолетних данных системы сейсмологического мониторинга разработаны методы выделения краткосрочных предвестников, основанные на применении статистических методов, а также методов нелинейного анализа. Результаты приводятся к одному масштабу, что позволяет проводить сравнение амплитуд аномалий в разных

методах наблюдений и на разных станциях, а также получать интегральную характеристику – комплексный параметр. Для локализации аномальных зон по территории проводится пространственный анализ, в основном, сейсмических методов, в результате которого строятся схемы пространственного распределения выделенных аномалий в ячейках, размеры которых выбраны, исходя из достаточной статистики.

Общие элементы характеристики реальных временных рядов, специфичные для каждого метода наблюдений, явились обоснованием для выработки единого подхода ко всем измеренным параметрам при выделении краткосрочных предвестников землетрясений, который заключается в следующем:

- из откорректированных данных устраняется долговременный тренд – в исследуемых рядах оставляется информация о процессах, соответствующих по своей длительности диапазону краткосрочного прогноза;

- в случае необходимости, устранение влияния мешающих, в первую очередь, метеофакторов;

- в остаточных членах рядов выделяются сигналы, наиболее вероятным образом (по статистике ретроспективного анализа) отражающие сеймотектонические процессы.

Все данные геофизических измерений на прогностическом полигоне, как исходные, так и прошедшие обработку, содержат информацию о физическом состоянии среды. Спецификой данных, взятых для комплексирования является то, что они весьма разнородны, прежде всего, по единицам измерений и их величинам (масштабам). Комплексная обработка и анализ, особенно на конечной его стадии, предъявляет ряд требований к входным данным, основными из которых является их представление в едином временном и амплитудном масштабе.

Для получения оценок сейсмической ситуации, целесообразно иметь некоторый единый интегральный показатель состояния среды, комплексный параметр, все компоненты которого должны быть привязаны к единым безразмерным величинам, например, к интервалу $[0...A)$, где A – оценка аномалии. Это достигается нормированием параметров на доверительный интервал фонового отрезка ряда. Получаемые в результате выделения в каждом геофизическом методе аномалии должны иметь одну полярность, например, положительную, для исключения взаимного компенсирования аномалий. Процедура комплексирования обработанных рядов основана на скользящем временном окне, в котором находятся поточечные суммы всех компонент в окне и полученные значения суммируются еще раз:

$$S_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j+\tau} ;$$

где $x_{(i,j)}$ - значения комплекслируемых компонент; n – количество комплекслируемых компонент; m – размер временного окна; i, j – сдвиг окна по временному ряду ($i, j=1,2,3,...N-1$; N -длина всего временного ряда).

В результате комплексирования индикаторных геофизических параметров могут быть получены оценки сейсмической ситуации для каждой станции на основании статистического анализа временного ряда, составленного из комплексного параметра по данному пункту наблюдений. При ретроспективном анализе, для исключения эффектов последствия и ошибок, вносимых фильтрами на конце реализации, исходные данные обрывались за 2 сут. до известного сейсмического события (режим реального времени). Анализ и отработка методики проводились для землетрясений с $K > 11$ - ощутимых и средней силы. Примеры аномалий комплексного параметра перед сильными Байсорунским землетрясением с $K=14.6$ и $K=14.3$ представлены на рис. 13-15.

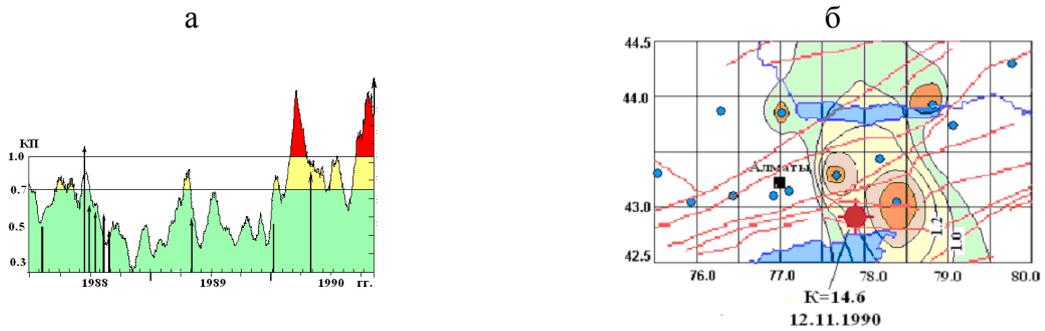


Рис. 13 – Аномалия комплексного параметра на станции Тургенъ (а) и его пространственное распределение по сети станций (б) перед Байсорунским землетрясением 12.11.1990, $K=14.6$

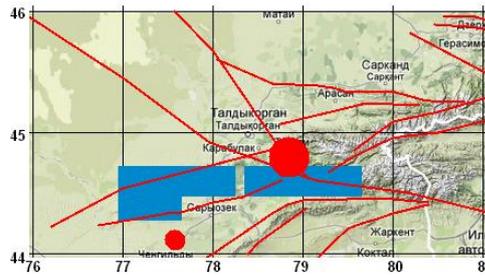


Рис. 14 – Пространственное распределение комплексного сейсмического параметра накануне Текелийского землетрясения 13.06.2009 г.

Обсуждение результатов

Каждый из методов наблюдений имеет индивидуальные особенности в отражении процессов подготовки землетрясения. В качестве предвестника принимается аномалия, природа которой связана с подготовкой землетрясения, мешающие и осложняющие факторы природного или технического характера при обработке должны быть исключены или учтены соответствующим образом. Используемые принципы выделения аномалий во временных рядах данных сейсмологического мониторинга основаны на статистических методах анализа временных рядов при выделении аномалии-предвестника в реальном

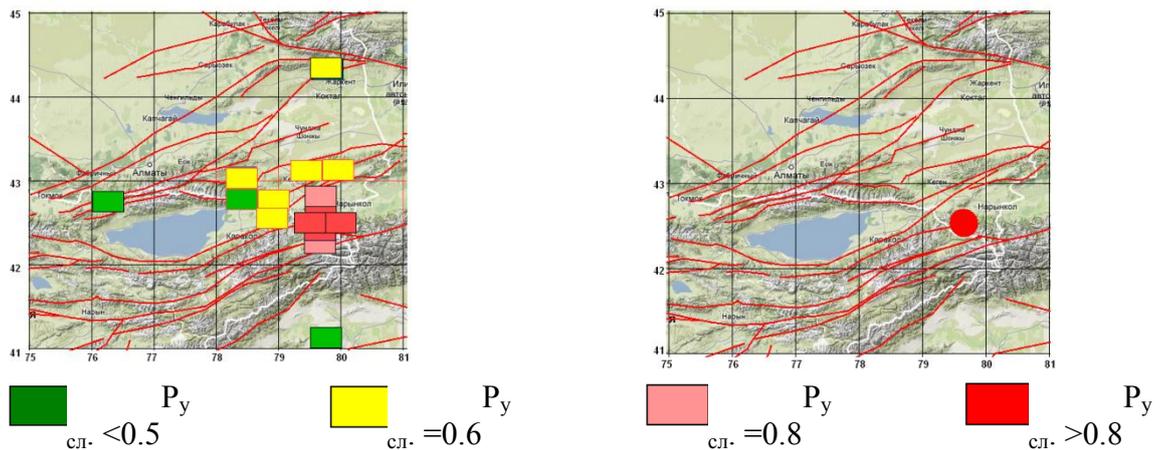


Рисунок 15 - Краткосрочная сейсмическая ситуация на Алматинском полигоне по комплексу сейсмических, геофизических и ГГД- ГГХ-данных накануне Сарыжазского землетрясения с $K=14.7$ (28.01.2013)

времени. Как правило, прогностическая экстраполяция временного ряда не может быть применена при выявлении аномалии, так как в этот процесс постоянно вмешиваются меняющиеся во времени тренды разного порядка, когда любое изменение тренда может

быть принято за аномалию. Аномалии во временных рядах могут проявляться как в явном виде (закономерное отклонение от средних значений), так и быть скрытыми и выделяться в результате применения соответствующих методов анализа, когда требуется преобразование временного ряда наблюдаемого параметра в такой временной ряд, который не имеет тренда, а все аномальные отклонения в котором имеют один знак (положительный) и превышает заданный доверительный интервал ($2-3\sigma$).

Полученные результаты показывают, что сильные сейсмические события, произошедшие на территории Северного Тянь-Шаня, сопровождались аномалиями в динамике сейсмического режима. Их достоверное выделение требует соблюдения принципа стационарности динамики сейсмического режима в анализируемом интервале времени; - подбора оптимальных параметров расчета. Интенсивность аномалий составляет от первых единиц до первых десятков в единицах стандартного отклонения многолетнего фона (от 2-3 до 20-40 единиц σ). Протяженность зон проявления аномалий затишья составляют от 50 до 200 км.

Целью дальнейших исследований является поиск способов ее увеличения, главным из которых является положительно зарекомендовавшее себя при краткосрочном прогнозе комплексирование разнодисциплинарных наблюдаемых параметров [3]. Ретроспективный анализ пространственного распределения нормированной активизации, отношений скоростей сейсмических волн и анизотропии скоростей продольных сейсмических волн показал, что в настоящее время прогностическая эффективность параметров слабых землетрясений достаточно высокая. Целью дальнейших исследований является поиск способов ее увеличения, главным из которых является положительно зарекомендовавшее себя при краткосрочном прогнозе комплексирование разнодисциплинарных наблюдаемых параметров.

Разработаны принципы выделения краткосрочных аномалий в данных сейсмологического мониторинга в связи с сейсмическими событиями и методы их выделения в сейсмических и геофизических данных системы сейсмологического мониторинга для целей краткосрочного прогноза сильных землетрясений и методы выделения аномалий в нормированной активизации слабой сейсмичности, в данных отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s , вариациях глубин гипоцентров, анизотропии скоростей продольных сейсмических волн.

По результатам ретроспективного анализа построены временные ряды и схемы пространственного распределения комплексного параметра, отражающие сейсмическую ситуацию накануне ряда сильных и умеренных землетрясений, происшедших на Северном Тянь-Шане и Джунгарии. Комплексирование многодисциплинарных параметров при выделении аномалий-предвестников позволяет получить вероятностные оценки аномалий составляют величину $P=0.8$ для прогнозируемых землетрясений с энергетическим классом $K \geq 12.6$, что является достаточно высоким результатом.

Сильные сейсмические события, произошедшие на территории Алматинского прогностического полигона и прилегающих районов, сопровождались аномалиями в динамике сейсмического режима. Их достоверность повышается при комплексировании анализируемых параметров сейсмичности, геофизических полей и гидрогеологических данных.

Литература

1. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы, «Гылым». 2004. 220 с.
2. Славина Л.Б., Мячкин В.В., Левина В.И. Опыт применения кинематических предвестников сейсмического поля для прогноза землетрясений на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. «Камчатский печатный двор». С. 216-227.
3. Славина Л.Б., Пивоварова Н.Б. Динамика поля скоростей сейсмических волн в периоды сейсмической и вулканической активизации на Камчатке / Отв. ред. Е.А. Рогожин. М.: ИФЗ РАН, 2009. -79 с.

4. Белослюдцев О.М. Краткосрочные предвестники землетрясения 1 мая 2011 г., K=13 - Azərbaycan ərazisində seysmoproqnoz müşahidələrin kataloqu, 2011, səh. 119-123.
5. Соболев, Г.А. Основы прогноза землетрясений / Г.А. Соболев. - Москва: Наука, 1993. - 313 с.
6. Соболев, Г.А. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки / Г.А. Соболев, Ю.С. Тюпкин // Вулканология и сейсмология. - 1996. - № 4. - С. 64-74.
7. Соболев, Г.А. Стадии подготовки, сейсмологические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки / Г.А. Соболев, Ю.С. Тюпкин // Вулканология сейсмология. - 1998. - № 6. - С. 17-26.
8. Завьялов, А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / А.Д. Завьялов. - Москва: Наука, 2006. - 254 с.
9. Тихонов, И.Н. Методы анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий / И.Н. Тихонов - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. - 214 с.
10. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
11. Соболев Г.А. Концепция предсказуемости землетрясений на основе динамики сейсмичности при триггерном воздействии // Экстремальные природные явления и катастрофы. М.: ИФЗ РАН. 2010. Том 1. С. 15-43.
12. Белослюдцев О. М., Узбеков Н.Б. Среднесрочный прогноз землетрясений Северного Тянь-Шаня по комплексу сейсмических параметров (кит.) Inland Earthquake. Beijing, 2007. Vol. 21. №4. p. 366-373.

Садыкова А.Б., Абдуллаев А.У, Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б.
Институт сейсмологии МЧС РК, г. Алматы, Казахстан.

РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В АЛМАТИНСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ

Аннотация. Результаты проведенных фундаментальных научных исследований позволяют осуществлять мониторинг сейсмической опасности путем ежегодного составления карт среднесрочного прогноза землетрясений.

Abstract. The results of the fundamental scientific research carried out make it possible to monitor seismic hazard through the annual compilation of maps of the medium-term earthquake prediction.

В настоящее время представительная сеть всех видов наблюдений для осуществления среднесрочного прогноза создана лишь на территории Алмагинского сейсмоактивного региона. Сеть сейсмологического мониторинга состоит из 59 сейсмических станций, на 17 пунктах проводятся модульные, на 6 – компонентные геомагнитные наблюдения, на 11 – измерения ЭМИ, на 6 – регистрация естественного электрического поля, на 12 – гидрогеодинамические и гидрогеохимические, на 3 – деформационные, на 4 перманентных станциях - спутниковые GPS наблюдения [1].

Система сейсмологических наблюдений на территории Алмагинского сейсмоактивного района была неодинакова на разных этапах инструментальных наблюдений, в связи с чем, менялся нижний энергетический уровень регистрируемых без пропусков слабых землетрясений [2]. В 2004 году был завершён переход на цифровую сейсмическую аппаратуру, оснащённую спутниковой связью. Схема расположения станций представлена на рис. 1.

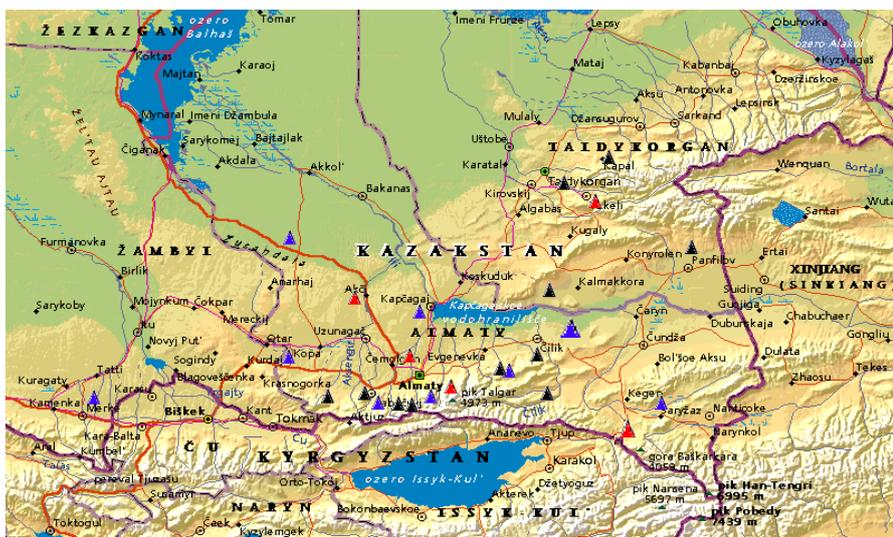


Рисунок 1. Схема расположения станций

Под прогнозом землетрясений понимается поэтапное уточнение основных параметров ожидаемых сейсмических событий [3]. В соответствие с этим принята трехэтапная стратегия прогноза, заключающаяся, во-первых, в выделении районов, в пределах которых вероятность возникновения сильных землетрясений а ближайшие 6-8 лет повышена, - это этап долгосрочного прогноза, во-вторых, в оценке тенденции сейсмического процесса в пределах выделенных районов – это этап среднесрочного прогноза – 1-2 года, в-третьих, в непосредственном прогнозе параметров ожидаемого события - это этап краткосрочного прогноза (до 1-2 месяцев).

Исследования по прогнозу землетрясений основаны на обобщенной модели развития сейсмического режима в периоды подготовки сильных землетрясений применительно к сеймотектонической обстановке Джуигаро-Северо-Тянь-Шаньского региона, разработанной в Институте сейсмологии МЧС РК [4-6]. Суть ее заключается в следующем: после предыдущего сильного землетрясения в результате частичной разгрузки тектонических напряжений район находится в стадии относительного покоя. За 3-5 лет до сильного землетрясения в пределах ограниченной площадки ($R < 100-150$ км) происходит активизация, которая за 1-2 года до главного толчка сменяется затишьем. В то же время процесс активизации сейсмичности мигрирует во все стороны от очага будущего землетрясения, образуя кольцевые зоны повышения сейсмичности с $R = 3G_0-350$ км для землетрясений с $M > 6.5$. На конечном этапе на всей площади подготовки землетрясения в ослабленных местах возникают как отдельные землетрясения средней силы, так и рои землетрясений, вследствие чего напряжения в очаговой зоне падают, и возникает магистральный разрыв. При этом иногда может наблюдаться вторичная активизация в районе ожидаемого землетрясения. Физически это объясняется образованием в среде консолидированного объема, в пределах которого происходит накопление и разрядка тектонических напряжений.

Среднесрочный прогноз землетрясений является важным этапом оценки сейсмической опасности. Результаты проведенных фундаментальных научных исследований позволяют осуществить мониторинг сейсмической опасности путем составления ежегодных карт среднесрочного прогноза землетрясений. Обычно на них показываются районы, в пределах которых в текущем году вероятность возникновения землетрясения с $M_5 > 5.5$ ($K > 13-14$) повышена. Такие карты составляются в начале года и уточняются во второй половине года по мере получения новых данных.

При разработке Заключения о среднесрочном прогнозе используются следующие количественные параметры, полученные в результате непрерывного сейсмомониторинга, включающим сейсмические, геофизические, гидрогеодинамические, гидрогеохимические,

деформационные и другие виды наблюдений К прогнозным параметрам относятся: параметры сейсмического режима; гидрогеохимические и гидродинамические материалы; данные измерения деформаций; современные движения земной поверхности; вариации геофизических полей; тектоническая схема и модель глубинного строения региона. Исследование информативности среднесрочных сейсмических параметров показало достаточно высокую эффективность прогностических признаков.

Научную основу методов среднесрочного прогноза составляют пространственно-временные закономерности распределения сейсмичности, параметров сейсмического режима, вариаций динамических и кинематических характеристик сейсмических волн, механизмов очагов, долговременные вариации физических (уровень, дебит и температура подземных вод), и химических параметров подземных термальных вод, а также циклические процессы и соотношение между осадками и уровнем и расходом подземных вод.

При среднесрочном прогнозировании геофизические методы представлены модульными и компонентными геомагнитными данными. Применяются методы анализа, позволяющие выделять аномалии-предвестники длительностью до 5-9 месяцев. В основном, это расчеты энергии вариаций с периодами 14-28 сут., фрактальная размерность геомагнитного поля на больших временных масштабах, коэффициенты передаточной функции компонент геомагнитного поля на периодах более 60 минут. Геофизические методы применяются на стадии уточнения среднесрочного прогноза, в связи с периодом прогнозирования не более 6 месяцев.

Составление прогнозных оценок основано на детальном анализе и обобщении прогнозных материалов, применении прогностических моделей в методов, адаптированных к сеймотектоническим и геолого-геофизическим условиям земной коры Алматинского сеймоопасного региона

Метод «Сейсмический цикл» - основан на квазициклическом характере сейсмического процесса [5] Как показывают результаты экспериментальных исследований, в пространственно-временном распределении сейсмичности имеются достаточно четко выраженные элементы организации. Подавляющее большинство землетрясений сгруппировано как во времени, так и в пространстве. Наблюдаются периоды активизации и затихья в сейсмической деятельности отдельных сейсмоактивных зон.

Метод «Условные деформации» основан на установленных закономерностях накопления и высвобождения условных деформаций, полученных на примере основных сейсмоактивных зон СИГ и других регионов земного шара.

Метод «Формализованный анализ комплекса параметров сейсмического режима» Информационной базой исследований являлись временные ряды параметров u – коэффициент дробности, N – число землетрясений, μ – коэффициент Лоде-Надаи, V_p/V_s – отношение скоростей сейсмических волн, N_a – число аномальных значений V_p/V_s , N_b – число взбросовых подвижек в очагах слабых землетрясений, e – условные деформации. Математическое моделирование с целью комплексного исследования исходных многомерных выборок выполняется с помощью процедур факторного анализа – метода главных компонент [10]. Получены уравнения регрессии по первой и третьей составляющим. Первая компонента имеет достаточно сильные связи с шестью из семи исходных признаков и отражает напряженно-деформированное состояние среды, связанное с подготовкой сильных землетрясений. Физически это объясняется образованием в среде консолидированного объема. Третья компонента сформирована параметрами N_T , e , N_a , N_b , μ и отражает закономерности напряженно-деформированного состояния среды» связанные с подготовкой землетрясений умеренной силы в среднесрочном плане.

Метод « $K_{ср}$ ». Параметр $K_{ср}$ – это плотность сейсмогенных разрывов. Согласно теоретическим представлениям распад нагруженного тела на части наступает, когда концентрация трещин в некотором объеме твердого тела достигает критической величины [10]- Параметр $K_{ср}$ представляет собой отношение среднего расстояния между разрывами

к средней длине трещин, произошедших в рассматриваемом сейсмоактивном районе По своему физическому смыслу параметр K_{cp} носит кумулятивный характер и является величиной пороговой. При достижении критического значения резко возрастает вероятность возникновения более крупного разрыва, то есть, землетрясения.

Метод «Активизация-затишье» основан на существовании активизации и затишья по землетрясениям средней силы в периоды подготовки сильных землетрясений [11]. При этом ближе к моменту возникновения сильных землетрясений наблюдается краевая активизация. Используются графики временного распределения количества землетрясений средней силы, возникающих во внешней и во внутренней зонах. Места возможного возникновения сильных землетрясений определяются по картам эпицентров за два периода: активизации и затишья. Сюда относятся метод «RTL», выходной параметр которого представляет произведение трех функций, характеризующих распределение землетрясений в пространстве, во времени и по энергии [7-9]. Местами возможного возникновения землетрясений являются периферия областей с отрицательными значениями параметра RTL . Параметр «Нормированная активизация», рассчитываемый как отношение количества землетрясений N , их энергии $E=10^K$ и длины разрыва L в очаге, взятое во временном окне на выбранной ячейке к величине фона за период 8-10 лет.

Параметр $LURR$ рассчитывается как отношение условной деформации $\xi=10^{K/2}$, полученное на выбранной площадке в период возрастания годовой волны лунно-солнечного прилива, к величине условной деформации, рассчитанной в период убывания прилива. Накануне сильного землетрясения величина $LURR$ резко возрастает. Эпицентр будущего землетрясения приурочен к периферии аномальной зоны $LURR$ [12].

При среднесрочном прогнозе используются также данные измерений деформаций и современных движений дневной поверхности, сезонная модель гидрогеодинамических параметров, экспресс-оценка гидрогеохимических параметров и другие гидрогеохимические и гидродинамические материалы: вариации геофизических полей.

На основе детального анализа и обобщения прогнозных материалов с применением прогностических моделей и методов, апробированных в мировой практике и адаптированных для сеймотектонических и геолого-геофизических условий земной коры Алматинского сейсмоопасного региона, строится карта среднесрочного прогноза. В качестве примера на рис. 2-4 приведены карта среднесрочного прогноза на 2017, 2021 и 2022 гг.

На картах среднесрочного прогноза указаны зоны, в пределах которых вероятность возникновения землетрясений с $M=4.5-5.0$ на год составления карт повышена. Землетрясения с магнитудами $M>5.5$ не ожидалось, что впоследствии подтвердилось.

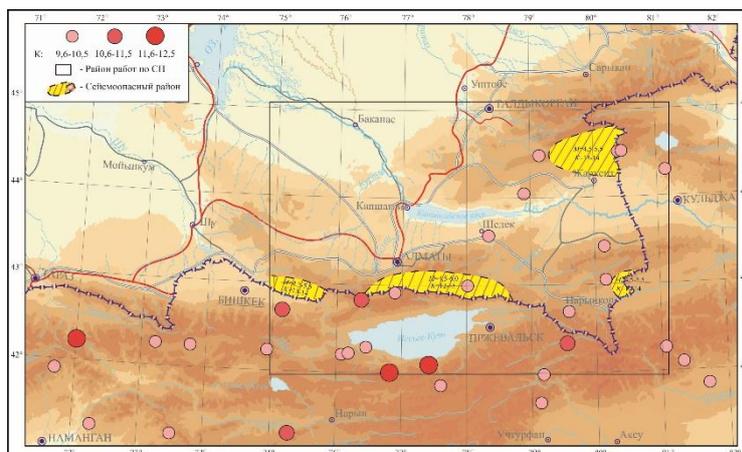


Рисунок 2 – Карта среднесрочного прогноза на 2017 г.

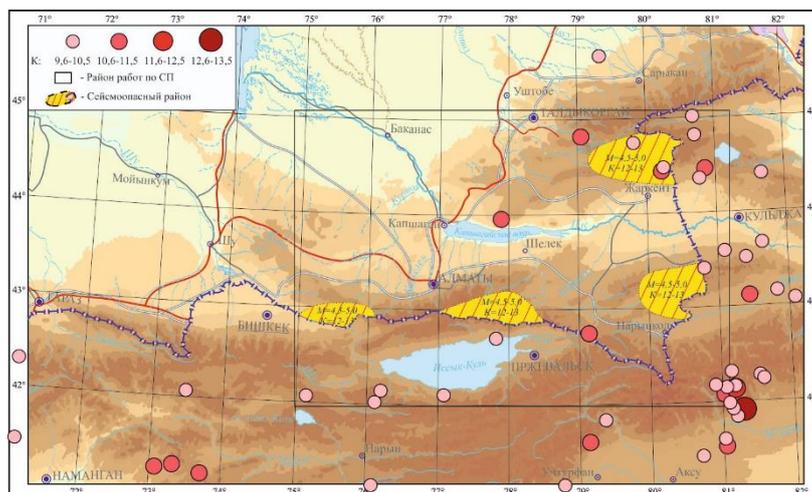


Рисунок 3 – Карта среднесрочного прогноза на 2021 г.

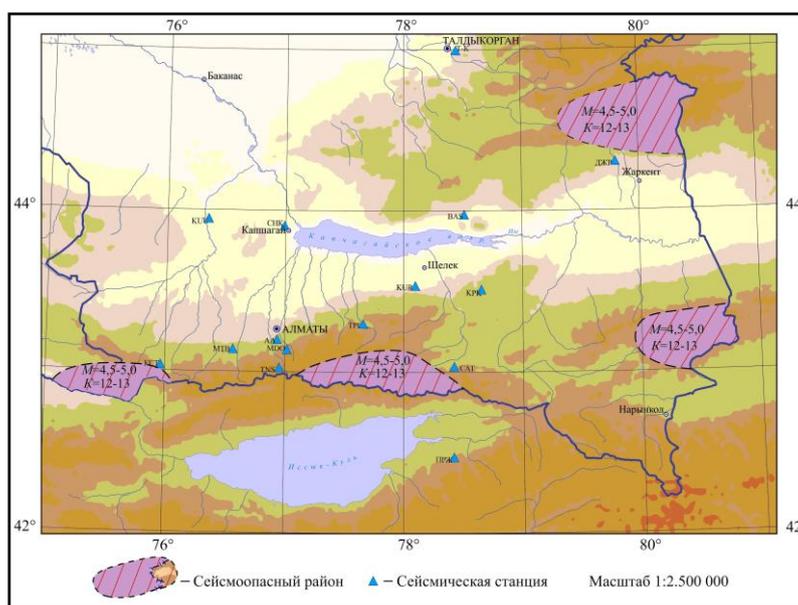


Рисунок 4 – Карта среднесрочного прогноза на 2022 г.

Таким образом, методика построения ежегодных карт среднесрочного прогноза на территорию Алматинского сейсмоопасного региона, применяемая в Институте сейсмологии с 2009 г., показала довольно высокую эффективность: достоверность прогнозов сильных землетрясений, которая в период 2009-2022 гг. для умеренных землетрясений с $M < 5$ составила 0.7-0.8.

Литература

- 1 Ли А.Н. Сыдыков А., Садыкова А.Б., Калмыкова Н.А., Неверов Н.П., Жунусова А.Ж., Полешко Н.Н. Сейсмический режим Джунгро-Сейро-Твп-Шаиьскою региона за 1992-2001 гг. // Материалы Международной конференции «Сейсмичность Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. - С 151-156.
- 2 Сыдыков А., Садыкова А.Б. Оценка представительности землетрясений с $A > 12$ территории юга и юго-востока Казахстана // Изв. АН КазССР Сер. геол. Деп. 4.10.1988 №2353. 11 с.
- 3 Соболев Г.А. Основы теории землетрясений. -М.: Наука, 1993. - 310с.
- 4 Sydykov A., Sadykova A.B. Seismic Regime of Moderate Earthquakes and Intermediate-Term Prediction // Journal of Earthquake Prediction Research. Moscow-Beijing. 1997. -Vol.6. №3. -P.448-458.
- 5 Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. - Алматы: Гилым 2004 – 268 с.
- 6 Садыкова А.Б. Модель сейсмического процессе в периоды подготовки сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня Современная геодинамика и сейсмический риск

Центральной Азии //Пятый Казахстанско-Китайский международный симпозиум. -Алматы. 2004.- С. 107-114.

7 Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С., Смирнов В.Б. и др. Способ среднесрочного прогноза землетрясений //ДАН РФ. 1996. Т.347. -№3. - С.405-407.

8 Сыдыков А. Садыкова А.Б., Ревенко О.К., Жунусова А. Ж Параметр *RTL* и его информативность при долгосрочном прогнозе землетрясений // Геология Казахстана. 1999. -№2.- С.74-82.

9 Сыдыков А., Садыкова А.Б., Ли А.Н., Абдуллаев А.У., Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б. Среднесрочный прогноз сильных землетрясений на Алматинском прогностическом полигоне. Докл. Межд. научн.-практич. конф. «Снижение сейсмического риска зданий и сооружений города Алматы при сильных землетрясениях». г.Алматы. 2007. С. 67-73.

10 Сыдыков А., Садыкова А.Б. Физико-математическая модель сейсмического процесса на примере сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня // Естественные-гуманитарные науки и их роль в подготовке инженерных кадров (Труды международной научно-практической Л конференции) - Алматы. 2002. - С.239-242.

11 Завьялов А.Д., Славина Л.Б., Васильев В.Ю., Мячкин В. В. Методика расчета карт ожидаемых землетрясений по комплексу прогностических признаков. -М.: ОИФЗ РАН. 1995. -40 с.

12 Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б., Бахарева Л.Т. Учет приливных воздействий на режим слабой сейсмичности для среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений на Северном Тянь-Шане. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр 7-й научн.-техн. конф. 29 сент.-5 окт. 2019 г., Петропавловск-Камчатский С. 258-261.

13 Завьялов А.Д., Морозов А.Н., Алшштг И.И. и др. Опыт использования метода КОЗ для среднесрочного прогноза землетрясений и перспективы его развития. VII межд. конф. «Сейсмология и инженерная сейсмология...»Баку. 2023. С. 23-37.

СЕКЦИЯ 2

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

**ANALYSIS ON THE CAUSE OF LANDSLIDE ON THE WEST BANK OF KALASU
RIVER IN ZHAOSU**

Yili valley is one of the 17 key prevention and control areas of loess geological disasters in China, which concentrates more than 80% of geological disasters in Xinjiang. In recent years, many scholars have also carried out related studies on the development characteristics and formation mechanism of landslides in this area, such as loess landslides on the east bank of Suasugou, Wuertamis Gully soil landslides, Dahongna trench landslides and so on. In order to enrich the research data in this area and further analyze the mechanism and characteristics of landslide formation, the landslide on the west bank of Zhaosu West Karasu River was studied and analyzed.

The geographical location of the study area is located at about 2km on the northwest side of 76 regiment Silian (Heishui Village) on the west side of Zhaosu County. The landform belongs to the low mountain and hilly landform, the north side is a structural fault valley, the valley width is 1.2-2km, the distribution direction is northeast, the shape is like a knife handle, the overall topography is high in the northwest, low in the southeast, and the Tertiary low hills in the south, with a relative height difference of 50-100m from the valley, and the landslide is located in the transition zone of the two geomorphological units.

There are 5 large and small landslides distributed in the scope of this study, and the five landslides are close to each other, all of which are less than 200m apart. According to Table B.2 of the Code for landslide Prevention Engineering investigation (GB38264-2016), it can be determined that there are four small landslides and one giant landslide. The giant landslide is distributed at the gully of the Karasu River to the low hilly region, showing an irregular fan shape as a whole, spreading from west to east, the width of the bottom of the landslide is about 1.7km, the slope length of the landslide is about 1km, the natural slope of the slope is $10 \sim 15^\circ$, and the relative height difference is about 250m. It is preliminarily estimated that the landslide is about $4800 \times 104\text{m}^3$. On the surface of the landslide, loess is ladder-shaped, there are several dammed ponds in the lower part, a gully is distributed in the middle, the trailing edge and north-east side of the landslide, and new secondary landslides are developed. The marks on the back wall and tongue of the landslide are clear and obvious. Combined with the historical influence, it can be found that the landslide occurred before 2003, indicating that the landslide was not formed after the Zhaosu M6.1 earthquake on December 1, 2003.

Through on-site investigation and collection of surrounding data, it is known that the exposed strata in the study area are mainly composed of Quaternary eolian layer, which is Pleistocene eolian loess layer, composed of light yellow to gray-yellow silt, medium dense, slightly wet, low dry strength and toughness, and no glossy reaction. It is widely distributed on both sides of the Karasu River and in the foothills, and the strata directly covers the Neogene mudstone, forming a landslide. Its interstitial structure and vertical joints are well developed and have strong water permeability, its shear strength decreases rapidly with the increase of water content, and the permeability of underlying mudstone is poor. Under the long-term action of snowmelt water in spring and precipitation in summer and autumn, it becomes a slippery stratum.

In terms of climatic causes, the average annual precipitation in Zhaosu area is about 500mm every year, coupled with the snow melting season from March to May, the increase of soil water content destroys the basic stable state of the soil layer, increases the natural weight of the slope, destroys the original stable state of the slope, reduces the shear strength of the soil, and induces the rapid formation of landslides.

Structurally, the five landslides are all located in the passing section of faults in the northern

margin of Zhaosu basin. Although there has been no strong earthquake since the earthquake recorded by instruments in 1970, and the fault is divided into north and south branches in Zhaosu County, China, the north branch ends at the Dahongna trench and the south branch ends to the east of the Chetmus River. The fault has a full length of 160km, trending in NEE-EW direction, dipping 340 °to 360 °and a dip angle of 60 °. It is a thrust fault with no significant Holocene activity and is an active fault in the late Pleistocene. However, according to the image interpretation, the fault has a surface deformation of about 20km in the north of the Sarebas sleeve in Kazakhstan to the first line of Mangtou Mountain in China. The surface deformation is divided into two north and south branches, which are distributed in the east-west direction, the south branch is short, and the length is about 3km. It is only obvious in the west side of the Sarebas suite, and the linear image disappears in the east side. The north branch extends all the way to the north of Heishui Village, where the surface shows a multi-step distribution, and there is groundwater overflow, indicating that many paleo-earthquakes occurred in this section. Therefore, the development of landslides on the west bank of the Kalasu River may be related to the transformation.

Therefore, according to the above, the cause analysis of the landslide on the west bank of the West Kalasu River in Zhaosu is summarized as follows:

(1) the landslides on the west bank of the Kalasu River belong to loess landslides, ranging from small to giant.

(2) the landslide in the west bank of Kalasu River occurred before 2003, and the stratigraphic lithology is mainly composed of loess. The annual precipitation in this area is 500mm. The landslide is located in the fault passing area in the northern margin of Zhaosu basin, and there is surface deformation near 20km on the west side. The occurrence of giant landslide may be formed by paleo-earthquake.

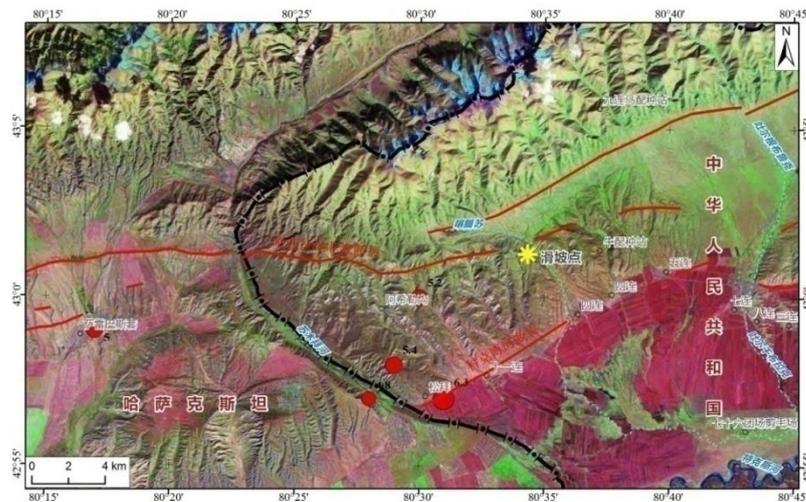


Figure 1 Geographic location diagram of landslides on the west bank of Zhaosu West Kalasu River



Figure 2 The photos of giant landslides on the west bank of Zhaosu West Kalasu River

Xinjian Shan^{1,*}, Jiao Liu¹, Yingfeng Zhang¹, Wenyu Gong¹, Tao Li¹

¹ State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing, 100029, China

*Corresponding author: Xinjian Shan (xjshan@ies.ac.cn)

REVIEW OF GEODESY IN EARTHQUAKE RESEARCH OF CENTRAL ASIA AND TIAN SHAN, OPPORTUNITY AND CHALLENGE

Abstract

In Central Asia and the Tian Shan, GNSS-based kinematic and dynamic fault models have provided many insights into mountain-building processes and related seismic risks, whereas InSAR measurement is still technically challenging. This is because of the complex topography and geomorphology contrast from the foreland to the high plateau, the dense human activity in the foreland area, and also the subtle interseismic deformation of some craton places where dangerous active faults penetrated. We, therefore, suggest that (1) increase the GNSS measurements, particularly continuous GNSS stations, in the populated foreland for detailed fault mapping and unexpected earthquakes emergency response, and (2) map the fault-related InSAR deformation of earthquake cycles by collaborations.

В Центральной Азии и Тянь-Шань кинематические и динамические модели разломов, основанные на GNSS, позволили получить много информации о процессах горообразования и связанных с ними сейсмических рисках, в то время как измерение InSAR по-прежнему является технически сложной задачей, что связано со сложным рельефом и геоморфологическим контрастом от предгорий до высокогорных плато, интенсивной деятельностью человека в районе предгорий, а также тонкой межсейсмической деформацией некоторых мест кратона, куда проникли опасные активные разломы. Таким образом, мы предлагаем (1) увеличить количество наблюдений GNSS, особенно непрерывных станций GNSS, в населенных районах для детального картирования разломов и экстренного реагирования на неожиданные землетрясения, и (2) совместными усилиями составить карту связанных с разломами деформаций InSAR в циклах землетрясений.

Main text

In places that are actively deforming today, abrupt increases in topography adjacent to foreland basins are created by thrust faulting that can produce major earthquakes. Many such places are also densely populated, and have been settled for a long time, as they are often associated with water supply, favorable conditions for agriculture, and strategic control of historic trade routes. In central Asia, populations have concentrated into megacities at locations on mountain fronts that are vulnerable, many of which experienced destructive earthquakes in their past, when their populations were much smaller (Figure 1). Examples include current or former capital cities of central Asia, such as Almaty, Bishkek, Ashgabat, Tehran and many locations in north India. There is, therefore, much human, as well as tectonic, interest in understanding how such range fronts develop and destructive earthquake occur there.

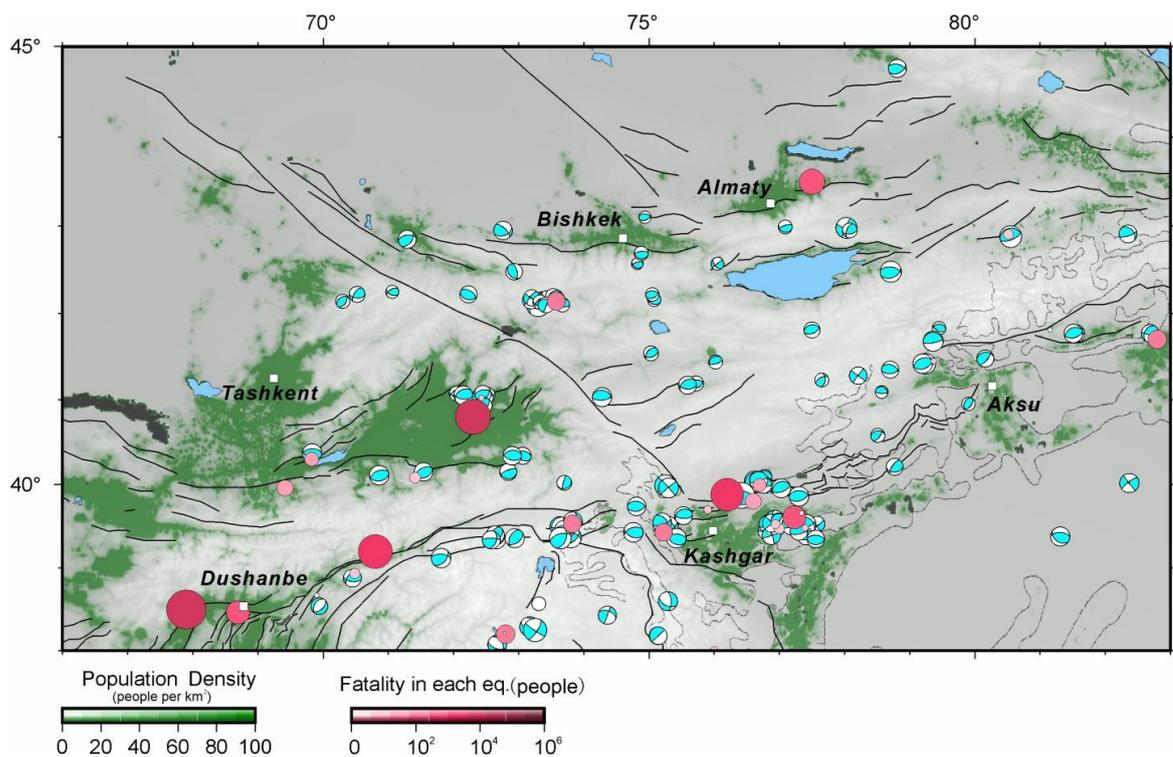


Figure 1. Statistics of population distribution, earthquake distribution and related death in Central Asia. The green color shows the population density map of Central Asia in 2020; the red circles show the fatality of people in each historical earthquake from 2150 B.C. to the present, and the white boxes are important cities. Population density data is from WorldPop, population data is from <https://www.worldpop.org/>, and data on people fatality in each historical earthquake is from NOAA (<https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/earthquake>)

In last 30 years, modern geodetic measurements, particularly GNSS and InSAR have achieved huge success in deformation observation related to active tectonics and earthquakes. We are able to look at those seismic risk places of the foreland area in Central Asia benefiting from the precise large scale deformation map from GNSS and InSAR. In this study, we focused on how well we used GNSS/InSAR in earthquake research of central Asia and what challenges we are currently facing to further improve our earthquake resistance ability.

Earthquakes occur when the fault fails to resist the shear stress loading. The deformation related to the fault movement can be theoretically detected on the surface. On the basis of the deformation, fault slip rate, hence coupling status and strain partitioning, can be inversely obtained, which is aiding to providing earthquake risks information. This strategy has been used in many earthquake active regions, including central Asia.

Ever since the first GNSS velocity map of Central Asia published in 2001, the numbers of GNSS stations, mostly campaign measurement, have been rapidly increased to several hundreds. The researchers now have measured the slip rate of major faults in Pamir, Tian Shan and Kazakhstan basin based on those GNSS measurements. Furtherly, the GNSS measurements are also critical constraints of some basic kinematic and dynamic models, which mostly concern the roles of lithospheric rheology and gravity potential energy in the mountain building process and earthquake risks. Other than the horizontal velocity components, the GNSS vertical velocity mapping is recently attracting more attention as its crucial contribution on determining the coupling status of the foreland thrust faults. Overall, we think the most important advance from GNSS measurement is that the researchers found the strain concentrates along the margin of the mountains where destructive earthquake frequently occur, while limited strain distributed in the internal of Tian Shan or Pamir, accommodated by series of compressive structures or shear zone.

InSAR technique has been widely applied in measuring the fault-related deformation in the earthquake cycles. Benefiting from the Sentinel-1 SAR constellation, we are now able to precisely map the interseismic deformation in the remote place on Earth, for example, the

interior of Tibetan Plateau and Pamir. The combination of Sentinel-1/Envisat /ERS SAR data allows us to possibly look back the surface deformation time series for as long as 30 years. The integration of InSAR and GNSS can help to retrieve the 3D deformation field. All of these high spatial and temporal resolution surface deformation map will provide much more insight of the issues above. However, surprisingly, we barely found InSAR interseismic results for central Asia and Tian Shan, except for the SW Tian Shan and Tajik Basin, even those places are built on active faults and populated. We therefore suggest to map the entire Central Asia and Tian Shan region with InSAR technique by international collaboration.

Another benefit of geodetic deformation measurements is to provide information in earthquake emergency response, for example, constraining focal mechanism more tightly than teleseismic waveforms, mapping the surface ruptures more completely and precisely than conventional field investigation. The experiences of recent large earthquakes in China tell us the InSAR technique and continuous GNSS measurements can provide valuable information for the rescue response. However, there is still a long way to apply the InSAR/GNSS results in the emergency response in central Asia and Tian Shan because of the changes introduced below.

The challenges mostly come from the station density and observation noise in central Asia and Tian Shan. The density of GNSS stations, particularly the continuous GNSS measurements, are still not enough to cover all of the dangerous fault segments and populated foreland area. The cost and in-situ installation impede the application of GNSS in remote places. The challenges of GNSS in central Asia are mostly due to the cost thing, whereas those of InSAR are technique problems: (1) although the arid climate is helpful to make a coherent interferograms, the topography-related atmospheric artifacts is stubborn. (2) The high elevated places, for example the interior of Tian Shan and Pamir, are almost incoherent in interferograms. (3) In the populated foreland areas, the human activity seriously disturbs the real tectonic signals. The above difficulties explain why InSAR results of tectonic mapping are few, but it's also our opportunity to make more achievement under a tighter collaborative frame.

Song Lijun¹, Shen Jun², Tang Lihua¹, Hu Weihua¹, Luna¹, Nie Xiaohong¹

(1. Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang 830011, China; 2. Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Yanjiao 101601 Hebei, China)

THE MAGNITUDE 6.1 EARTHQUAKE AT THE BORDER BETWEEN CHINA AND KAZAKHSTAN ON DECEMBER 1, 2003 AND ITS SEISMIC DAMAGE CHARACTERISTICS.

Abstract

The magnitude 6.1 earthquake at the border between China and Kazakhstan on December 1, 2003 is the first strong earthquake in central Tianshan region of this century. This paper introduces the on-site investigation work of this earthquake, including house damage and surface deformation. Emphasis was placed on the destructive effects of this earthquake on different types of houses. According to the survey data in China and the survey results of Kazakhstan's counterparts abroad, the isoseismal map of the earthquake was drawn. This paper also analyzed the tectonic structure of this earthquake based on geological data. According to the seismic records, the focal mechanism and the characteristics of the earthquake sequence were analyzed. This paper provides a comprehensive introduction to the main characteristics of this earthquake and its disasters, which has important reference value for understanding the destructive effects of such earthquakes. Through this paper, readers can also learn about some of the emergency response work of Chinese earthquake workers for such earthquakes.

Introduction

Strong earthquakes often cause varying degrees of damage. An M=8 earthquake often causes tens of thousands of deaths, such as the 2008 Wenchuan M=8.0 earthquake. A magnitude

around 7 earthquake often causes hundreds or even thousands of deaths, such as the 2011 Yushu $M=7.1$ earthquake. A magnitude around 6 earthquake can also cause dozens of deaths.

People not only need to summarize the damage caused by earthquakes with a magnitude of 7 or above that have caused hundreds to thousands of deaths, but also pay attention to the damage caused by earthquakes with a frequency of 6 or above and other emergency work experiences.

This paper introduces a $M=6.1$ earthquake that occurred in the border area between China and Kazakhstan in 2003. Due to its location in the border area, the investigation of the seismic intensity and other destructive characteristics of the earthquake requires the integration of the relevant work of seismologists from both countries.

This earthquake is also the first to cause casualties in the central Tianshan region of China as it enters the 21st century. The investigation results of the earthquake have promoted the construction of earthquake resistant housing projects in Xinjiang region.

A magnitude 6.1 earthquake occurred at the border between Xinjiang, China and Kazakhstan. The macro-epicenter was located in Gedengzhuang, Zhaosu County, and the intensity of the extreme earthquake was \square degree. Yining City, Gongliu County, and Xinyuan County were strongly felt, and Korla City and Aksu City were clearly felt. The earthquake caused massive damage to the civil and public buildings, water conservancy facilities, lifeline and other public facilities of the 4th Division of Xinjiang Production and Construction Corps in Zhaosu Corp and villages and towns in Zhaosu County. Among them, the 4th village of Tuergen Townshipsuffered the most serious disaster, with 10 dead and 47 injured(21 seriously injured).

After the earthquake, the China Seismological Bureau immediately dispatched an on-site working group and a sub team of the National Earthquake Disaster Emergency Rescue Team to the disaster area to carry out emergency rescue work. They joined with the Xinjiang Seismological Bureau's earthquake site work team to form joint earthquake site work team of 30 people. Arrived at the disaster area in the early morning of the next day, and carried out earthquake monitoring, earthquake damage assessment, scientific investigation, emergency rescue and other work. By collecting and arranging the work results of earthquake monitoring, earthquake damage investigation and intensity assessment at the earthquake site of Xinjiang Seismological Bureau of China and Seismological Research Institute of Kazakhstan, this paper checks the basic parameters of this earthquake, discusses the seismic tectonic background, and maps the earthquake intensity distributions across the two countries.

The on-site investigation includes the basic parameters of the earthquake, the intensity and distribution characteristics of the earthquake's impact, the seismogenic structure, the characteristics of earthquake disasters, rescue and reconstruction measures, etc. At the same time, the inspection work also needs to summarize experience and propose suggestions and countermeasures for future earthquake prevention and disaster reduction work in similar regions. This earthquake site investigation is a representative Chinese characteristic earthquake site investigation work. This paper is a brief introduction to the on-site investigation work.

1 Basic Parameters of Earthquake

This earthquake is the second earthquake of magnitude 6 or above to occur in the Zhaosu Basin in Xinjiang, China since the Turks earthquake of magnitude 7.1 in 1716. It was also 30 years after the 1973 Jinghe magnitude 6 earthquake in Xinjiang, China, that the first magnitude 6 earthquake occurred in the northern part of the Tianshan Mountains in China. From the temporal and spatial distribution of historical seismicity, it can be seen that before this earthquake, The seismicity since 1900 shows that the seismicity in the Zhaosu Basin, Xinjiang, China is weak, the number of small and medium earthquakes is small, and the level of seismicity in modern times is low.

1.1 Basic Parameters of Earthquake

From the analysis of the results, the Xinjiang Seismological Bureau Express results are basically consistent with the results of the China Seismological Network Center, while the Xinjiang Seismological Bureau catalog results are consistent with the results of the Republic of Kazakhstan. Considering that the earthquake is located on the China-Kazakhstan border and the distribution of the network in China, the Xinjiang Seismological Bureau contacted the Seismological Research Institute of the Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan in a timely manner, notified each other of the earthquake parameters and preliminary disaster situation, and exchanged the P-wave arrival times of the three stations. Using the data of three stations in Kazakhstan, the location of the epicenter re-determined by the Seismological Bureau of the Autonomous Region is: 42°59' north latitude and 80°28' east longitude. And the intensity of the Narynkol of Kazakhstan, a residential area near the epicenter, is VI degree, and the intensity of Almaty is IV degree. Combined with the earthquake damage investigation and intensity distribution analysis, and considering that the catalogue results are the comprehensive positioning results of the recorded data from the Kazakh border stations, the accuracy is high. Therefore, the source parameters of the final magnitude 6.1 earthquake are based on the catalog results of the Xinjiang Seismological Bureau, the microscopic epicenter of the earthquake is located in the southwest border area of Zhaosu County in China.

Table 1. Basic parameters of the M6.1 earthquake at the border between China and Kazakhstan on December 1, 2003

Earthquake time	epicenter location		Depth (km)	magnitude (M _S)	Sources of data
	Hour: minute: seconds	latitude			
09: 38: 28.4	43° 07'	80° 09'		5.8	Xinjiang Seismological Bureau Express
09: 38: 30.8	42° 59'	80° 28'	21	6.0	Xinjiang Seismological Bureau Directory
09: 38: 28.5	43° 06'	80° 06'		6.1	China Earthquake Network Center
09: 38: 32.6	42° 55'	80° 33'		5.6	Republic of Kazakhstan
09: 38: 32.0	42° 58'	80° 29'	18	6.1	Re-position ^[1]

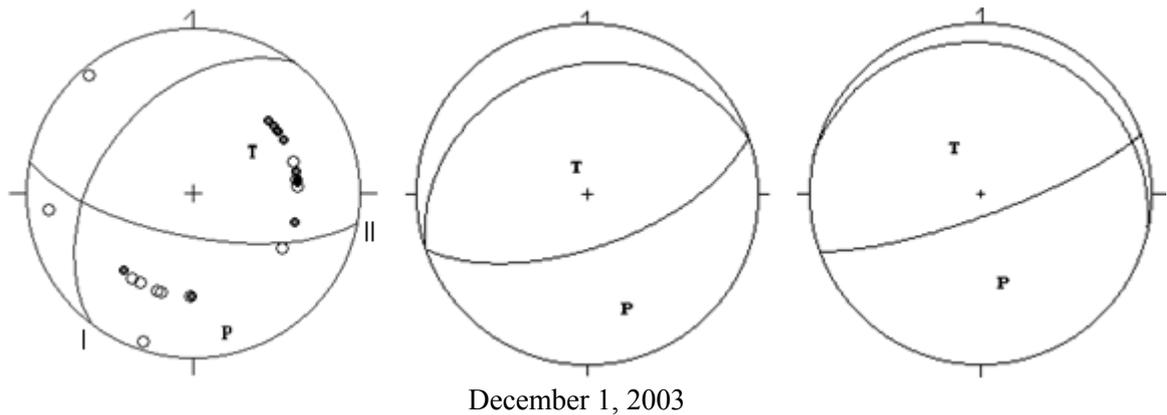
1.2 Focal mechanism solution results

The focal mechanism solution of the M6.1 earthquake was calculated based on the clear P-wave initial motion symbols in the seismic records of the Xinjiang regional network. For comparative analysis, the calculation results of the focal mechanism solutions of the USGS and Harvard University are listed together in Table 2 and Figure 1 as follows.

Table 2. Focal mechanism solutions of the Zhaosu M6.1 earthquake in Xinjiang on December 1, 2003

Serial number	Nodal plane I			Nodal plane II			P Axis		T Axis		N Axis		Result source
	toward	tendenc	inclinatio	toward	tendenc	inclinatio	positio	Elevatio	positio	Elevatio	positio	Elevatio	
	s	y	n	s	y	n	n	n angle	n	n angle	n	n angle	
1	217	SE	42	101	NE	68	165	15	55	52	265	34	Xinjiang Seismologica l Bureau
2	251	SE	26	71	NW	64	161	19	341	71	71	0	USGS
3	282	SW	13	70	NW	79	166	33	331	56	71	7	HARVARD

Figure 1 Focal mechanism diagram of the M6.1 earthquake at the China-Kazakhstan border on



As can be seen from Fig. 1 and Table 2 that the focal mechanism solution results of Xinjiang Seismological Bureau and USGS are basically the same, but quite different from those of Harvard University. According to the trend of the seismogenic structure and the trend of aftershock distribution, the nodal plane II is considered to be the main rupture plane of the earthquake, the the P-axis orientation of the principal compressive stress is NNW, and the dislocation property of the fault is a dip-slip reverse fault. The preliminary results of the focal mechanism solution of this earthquake are consistent with the stress field characteristics of modern tectonic regions^[2] (Wang Shengze et al., 1992).

1.3 Seismic sequence characteristics

As of December 30, 2003, Zhaosu Station recorded a total of 145 aftershocks (M_L), of which 1.0~1.9 grade 67 times, 2.0-2.9 grade 57 times, 3.0-3.9 grade 3 times, 4.0-4.9 grade 3 times, 5.0-5.9 grade 2 times and 13 no-magnitude aftershocks. The largest aftershock was a magnitude 5.2 earthquake at 18:28 on December 1. According to the earthquake field work outline and technical guide^[3] (China Seismological Bureau, 1998), the earthquake sequence is of the main aftershock type. The distribution of aftershocks has the following characteristics^[4]:

(1) The dominant direction of the distribution of aftershocks above magnitude 1 is near east-west, which is basically consistent with the fault strike.

(2) The distribution of the principal earthquake and the two subsequent M5 aftershocks is nearly EW, but the overall distribution of aftershocks above M3 is NW.

(3) Aftershocks of magnitude 4 and above show signs of jumping from the north to the south with the main shock as the center, but the aftershocks have no obvious extension direction.

(4) The epicentral distance of aftershocks recorded by Zhaosu Station shows that from December 1st to 8th, 2003, the distribution of aftershocks was relatively concentrated, and the change in the epicenter distance was relatively stable. After December 8th, the aftershocks spread obviously, and the distribution range of aftershocks increased.

2 Seismic tectonic background

Earthquakes are one of the products of tectonic movement, especially since the late Pleistocene, the faults with a high degree of activity have an obvious control on modern seismic activity. The geological tectonic conditions and medium properties of the epicenter are closely related to the gestation, occurrence and development of earthquakes. The epicenter of this earthquake is located in the Yili block in the western part of the Tianshan fold system. The overall geomorphological feature is that multiple mountains and basins are alternately distributed in the Yili block.

The earthquake area is located in the northwestern margin of the Zhaosu Basin in the southern part of the Yili block. In the northern part of the basin, the Turks River fault, the Kebo River fault, and the Majeledash fault are developed, which are combined to be called the Turks River fault zone. The Turks River fault extends along the Turks River valley and the

Ulkengirgalang River valley, and extends westward into the territory of Kazakhstan, with a length of 150 km and an overall strike near EW; and the fault plane is N-dip with the dip angle for 80; the nature of the fault is a reverse fault. The Kobo River fault is located on the north side of the Tekos River fault and extends westward into the territory of Kazakhstan. The length of the territory is 136km, the overall strike of the fault is 70°, the inclination of the fault plane is 135°~165°, the dip angle is 40°~74°, the nature of the fault is a reverse fault. The Marjeledash fault is the western segment of the Tekes River fault. The Turks River fault zone (including the above three Strip fault) is a Holocene active fault. According to previous textual research, A strong earthquake of magnitude 7.1 occurred in 1716 along the fault zone^[5] (Yang Zhang, 1988). Historically, some moderate earthquakes have also occurred along the fault zone (Figure 2).

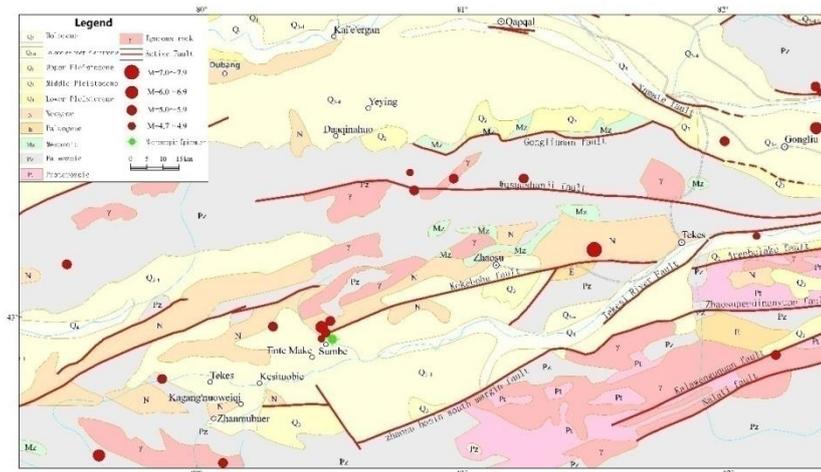


Figure 2 Seismic structure map of the M6.1 earthquake at the border between China and Kazakhstan on December 1, 2003

According to the scientific investigation of the earthquake site, the macro-epicenter was located at 42°57'N and 80°31'E (the west side of Gedengzhuang in the China-Kazakhstan border with China). Houses west of the macro epicenter toppled east, houses east of the epicenter toppled west, houses north of the epicenter toppled south, and houses south of the epicenter toppled north. Ground fissures were also found in the snow near the macro epicenter (photos 1, 2).



Photo 1: Ground fissures at Xiaoxigou gully mouth



Photo 2: Ground fissures on the Snow Surface in the macro epicenter

The macro-epicenter is located at the front edge of the third-order terrace on the north bank of the Turks River, which is a steep sill nearly 100 m high. The steep sill is obviously controlled by the east-west Turks River fault. The northern plate of the fault is the Upper Tertiary, and the southern plate is the Quaternary. The upper Tertiary fold and uplift of the northern plate is the result of the activity of the north-dipping reverse fault. The earthquake is the latest activity in the

rupture of the Turks River. Located in the macro-epicenter, Gedengzhuang West is just at the front edge of the fault steep ridge.

The focal mechanism solution ^[4] shows that the seismogenic fault is a NEE-trending reverse fault. This is consistent with the local strike of the Turks River fault near the macro-epicenter. The distribution of aftershocks ^[1] and the focal mechanism solution show that the rupture is an extension from NW to SE, which is rupture from micro-epicenter to macro-epicenter. This rupture direction is also consistent with the long axis direction of the intensity seismic line.

3 Seismic intensity distribution

3.1 Domestic part of China

56 points were surveyed on the site of the magnitude 6.1 earthquake at the China-Kazakhstan border on December 1, 2003 ^[6], and the seismic intensity of each survey point was determined according to the criteria of the "China Earthquake Intensity Scale" ^[7] (Table 3).

Table 3. List of earthquake survey sites and intensity assessment in China

Investigation point	intensity	Investigation point	intensity	Investigation point	intensity
HuiWu Station	VIII	Akiyazi middle school	VII	Thirdvillage	VI
The frontier corps	VIII	Kalasu Village(2)	VII	fifthvillage	VI
Geden tablet	VIII	Akeqi Village	VII	Government of SaerKuobu Township	VI
Sheep pen No. 1, Sumubaigou	VIII	Xiata Township DarkI Village	VII	SaerKuobu Township Mo yingcang Village	VI
Sheep pen No. 2, Sumubaigou	VIII	Downtown of Boma township	VII	Boma Township	VI
Sheep pen No. 1, Xiaoxigou	VIII	Akesu Township Harvey primary school	VII	ThirdvillageofBoma Township	VI
Sheep pen No. 1, Xiaoxigou	VIII	Akesu Township 4 village	VII	2ndvillageofBomaTownship	VI
macro-epicentre	VIII	Akesu Township 2 village	VII	4th villageof Boma Township	VI
FenshuiHuiWu Station	VIII	1st village of Akesu Township	VII	sixthvillage, Boma Township	VI
1stvillageTuergen Township	VIII	7th village of Akesu Township	VII	Karakule	VI
Tuergen Township	VII	4th and 5th village of Akesu Township	VII	HaoteHaoer	VI
2nd village of Tuergen Township	VII	Sheep pen No. 7, Sumubaigou	VII	8thvillage ofKuoertuobie Township	V
12th village of Tuergen Township	VII	The government of Xiata Township	VI	9th village ofKuoertuobie Township	V
4th village of TuergenTownshipt	VII	4th village	VI	2nd village ofKuoertuobie Township	V
10th village of Tuergen Township	VII	school of Xiata Township	VI	Military Horse Farm	V
6th village of Hetuhaoer Township	VII	health center of Xiata Township	VI	2nd team of Military Horse Farm	V
1st village of Hetuhaoer Township	VII	4thvillage of Hetuhaoer Township	VI	Hongta Ranch	V
Kalasu Township	VII	2nd village ofKuoertuobie Township	VI	Zhaosu County Shengyou temple	V
Akiyazi	VII	1st village ofKuoertuobie Township	VI		

3.2 Parts outside China

After the magnitude 6.1 earthquake at the China-Kazakhstan border on December 1, 2003, according to the China-Kazakhstan Earthquake Science and Technology Cooperation Agreement, The Xinjiang Seismological Bureau and the Seismological Research Institute of the Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan exchanged and obtained the Kazakh scientific investigation data of the earthquake in April 2004. Near and around the epicenter, there are sparse settlements in the Republic of Kazakhstan, and there are 30 survey and intensity assessment points in a large area.

Table 3 List of domestic and abroad survey sites and intensity assessment

Investigation point	intensity	Investigation point	intensity	Investigation point	intensity
Sumbe	VII	Zhana-Tekes	VI	Boleksaz	V
Kyzylshekara	VI	Tegistik	VI	Mynzhylky	V
Sarybystau	VI	Kaynar	VI	Karkara	V
Narynkol	VI	Tuzkol	VI	Uzun-Bulak	V
Zhambyl	VI	Shalkode	VI	Aksai	V
Karatogan	VI	Kegen	V	Kok-Pek	V
Tekes	VI	Sarydzhaz	V	Chunzha	V
Karasaz	VI	Komirshi	V	Dardamty	V
Kokpak	VI	Talas	V	Ketmen	V
Kostobe	VI	Tasashi	V	Kolzhat	V

(Note: The MSK64 intensity scale is used as the standard for evaluation)

3.3 Intensity distribution

The MSK64 intensity scale is a 12-degree intensity scale jointly proposed by Medvedev of the Soviet Union, Spengweier of Germany and Kanek of the Czech Republic in 1964. It is not only commonly used in Europe, but also used in South and North America ^[8]. The latest "European Seismic Intensity Scale" ^[9] is also supplemented and improved on the basis of the MSK64 intensity scale and gradually revised. According to the earthquake data in my country, combining with the form and structural characteristics of buildings, and referring to various 12-degree intensity scales in the world at that time, the national standard "China Earthquake Intensity Scale" was gradually formed, which is comparable with the MSK64 intensity scale. Based on the field investigation results of the two countries, a comprehensive distribution map of the earthquake intensity was obtained (Figure 3).

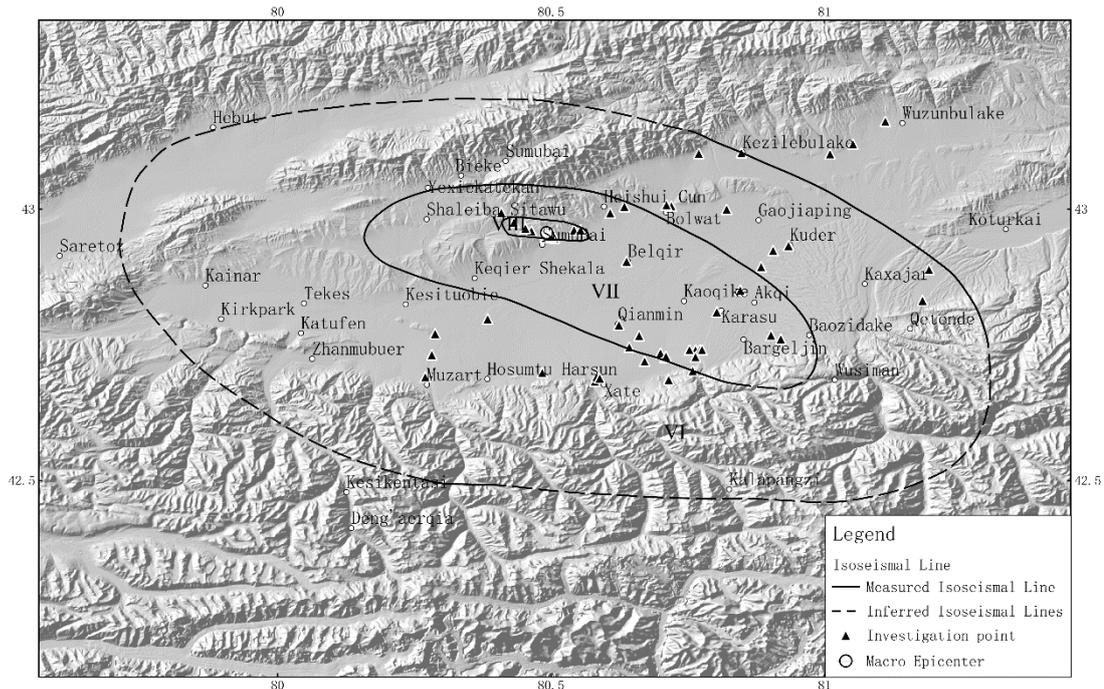


Figure 3 Intensity map of the magnitude 6.1 earthquake at the border between China and Kazakhstan on December 1, 2003

4 Characteristics of earthquake damage to typical houses

The structural types of houses in the earthquake area can be mainly divided into civil structure, brick-wood structure, and brick-concrete structure [10].

4.1 civil structure house

The VIII degree area is mainly destroyed or severely damaged, especially the houses located on the hillside are almost completely destroyed, and some roofs collapse (see photos 3 and 4); The VII degree area is dominated by severe damage or moderate damage. The main damage phenomena are obvious cracks at the junction of the vertical and horizontal walls, cracks in the wall under the beam or the beam being pulled out, upside-down cracks at the four corners of the house and corners of doors and windows, and wall flashing (see photos 4, 5), etc.; The VI degree area is dominated by moderate damage and minor damage. The more common damages are cracks at the junction of the vertical and horizontal walls, upside-down cracks at the four corners of the house and corners of doors and windows, and large-area peeling off of the wall skin.



Photo 3: The collapse of the civil structure



Photo 4: The collapse of the civil structure

house in the VIII degree area



Photo 5 : DAMAGES OF THE HOUSE IN SUMBE VILLAGE (□ degree area, house destruction)

house in the VIII degree area



Photo 6 : COLLAPSE OF THE SHEEP-FOLD WALL IN SUMBE VILLAGE (□ degree area, Sheepfoldwall collapsed)

4.2 brick and wood house

There are few such houses in the VIII degree area. The VII degree area is dominated by moderate damage and minor damage. The main damage phenomena are vertical cracks at the junction of vertical and horizontal walls, figure-eight cracks at the corners of door and window openings, and horizontal cracks between the stone cushion at the bottom of the wall and the upper wall. (see photos 7 and 8); □ degree area is mainly minor damage and basically intact, the common damage phenomenon is the figure-eight cracks at the corners of doors and windows, slight cracks in the battlement, peeling or cracking of wall skin.



Photo 7: Cracks in the corner of the house of Aksu village in the VII degree district



Photo 8: Cracks in the corner of the houses of the 1st village of Hetuhaoer Township, in the VII degree

4.3 Brick-concrete structure house

The VIII degree area is basically destroyed or severely damaged except a few. The main damage phenomena are: cross "X"-shaped cracks caused by insufficient main tensile stress strength of load-bearing transverse walls, walls between windows, and belly walls, the corners of the outer walls are pulled apart, the upper and lower parts of the house are displaced relative to each other, and local collapses, zigzag cracks on the wall, sagging on the wall, etc. (see photos 9, 10, 11, 12); the earthquake damage of brick-concrete buildings in the VII degree area is significantly reduced, and the damage is basically minor, and some are moderate damage. The main damage phenomena are: zigzag cracks at the corners of the outer wall, inverted splay cracks at the upper corners of doors and windows, **hollow slabs or grooved slabs, pulled apart or overlapped walls, beams with long cracks**, beam bottoms with vertical cracks caused by longitudinal impact force generated by house bumps, horizontal cracks in battlement and overhangs, etc. The VI area is mainly damaged and basically intact. The main damage phenomena are figure-eight cracks at the corners of doors and windows, peeling of the wall skin or falling of the plastering layer of the ceiling, and enlarged cracks between the reinforced concrete slabs.



Photo 9: "X" crack in the cross wall of the HuiWu station office building in the VIII degree area



Photo 10: The School of the 1st village of Hetuhaoer Township in District VIII collapsed



Photo 11: Entire collapse of sheep pen No. 1 in VIII degree



Photo 12: Reversed damage of newly built houses in VIII degree area

4 Conclusion

On December 1, 2003, a magnitude 6.1 earthquake struck the border between China and Kazakhstan, the largest aftershock is a magnitude 5.2 earthquake, and the earthquake sequence is mainly of the main shock-aftershock type. The preliminary results of the focal mechanism solution of this earthquake are consistent with the characteristics of the stress field in the modern tectonic region. The seismogenic structure is the Tekesihe fault, the macro-epicenter is located in the west of Gedengzhuang, Zhaosu County, China, and the intensity of the meloseismic zone is □ degree. The epicenter of the earthquake was very close to the rupture surface of the seismogenic fault, so the damage to various structural types of houses was very serious, and it was also the main factor causing casualties. The intensity distribution map of this earthquake is completely given by comparing the data of the earthquake site inspections between China and Kazakhstan.

After the earthquake, moderate-to-strong earthquakes in the middle Tianshan seismic belt became active. A series of strong earthquakes have occurred successively, such as Turks 5.7, Gongliu-Nilek 6.0, Xinyuan-Hejing 6.6, etc., which more attention need to be paid to.

Through the investigation of the of this earthquake, the main reason for causing casualties and serious economic losses is that the seismic resistance of buildings and structures in the earthquake area is relatively low, making it difficult to withstand the strong ground motion generated by earthquakes around magnitude 6. The investigation results of the earthquake have promoted the construction of earthquake resistant housing projects in Xinjiang region.

References

- [1] Yang Chengrong, The location of the ZhaosuM6.1 earthquake on December 1, 2003 and its aftershocks, *Inland Earthquakes*, 2005,19(02).
- [2] Wang Shengze, Gao Guoying, Regional Characteristics of Modern Tectonic Stress Fields in Xinjiang and Its Adjacent Areas, *Acta Seismology*, 1992, 14 (Supplement): 612-620.
- [3] China Earthquake Administration, *Earthquake Site Work Outline and Technical Guide*, Beijing: Earthquake Press, 1998.
- [4] Yang Xin, NieXiaohong, Xia Aiguo, Characteristic Analysis of the Zhaosu M6.1 Earthquake Sequence in Xinjiang on December 1, 2003, *China Earthquakes*, 2005, 21(2).
- [5] Yang Zhang, GuoHengzu, Ding Dexuan, et al., The discovery of the Xinjiang Turks-Zhaosu seismic fault and the discussion of related issues, *Earthquake Geology*, 1988, 10(3): 21-27.
- [6] State Administration for Market Regulation, National Standardization Committee, *Earthquake Site Work Part 3: Investigation Specifications*, 2000.
- [7] State Administration for Market Regulation, National Standardization Committee, *China Earthquake Intensity Scale*, 1999.
- [8] Yan Jiaquan, Zhang Zhizhong, Wang Jian, etc., Research on the Historical Earthquake Intensity Scale in China, *Chinese Journal of Seismology*, 2010, 33(4): 515-531.
- [9] [German] Edited by Gu Luda; translated by Li Yishi and Wen Zengping, *European Seismic Intensity Scale 1998*, Earthquake Publishing House, 2010.
- [10] Shen Jun, Tang Lihua, Kou Dabing, etc. On December 1, 2003, the magnitude of the Zhaosu magnitude 6.1 earthquake in Xinjiang and the damage to houses, the inland earthquake,2005,

Yuan Yao^{1,2,3}, Jie Chen^{1,2*}, Tao Li^{1,2}, Ning Di^{1,2}, Guiming Hu⁴, Weiheng Zhang^{1,2}

¹State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing, China.

² Xinjiang Pamir Intracontinental Subduction National Field Observation and Research Station, Xinjiang, Urumqi, China.

³Institute of Central Asia Earthquake, China Earthquake Administration, Xinjiang, Urumqi, China.

⁴Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, China

GEOMETRY AND KINEMATICS OF ACTIVE KASHA BACKTHRUST FAULT SINCE LATE PLEISTOCENE: IMPLICATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE URUMQI FOLD-AND-THRUST BELT, NORTHERN TIANSHAN

The 1906 Manas M8.0 earthquake (Stockmeyer et al., 2014), the 1983 U.S. Coalinga (Mw = 6.5) earthquake (Guzofski et al., 2007), and the 2015 Pishan Mw6.4 earthquake (Li et al., 2016; Sun et al., 2016) all have seismogenic structures that may be deep active tectonic wedges. They involve cascade rupturing of multiple faults, indicating that the tectonic wedge is an important seismogenic structure in the active extrusion area. Tectonic wedges contain two connected fault segments that bound a triangular, or wedge-shaped fault block together. The two fault segments, which typically include two ramps or one ramp and one detachment, merge at the tip of the wedge. Slip on both faults can accommodate propagation of the wedge tip and cause folding (Medwedeff, 1992; von Hagke&Malz, 2018). The two faults slide in different directions. They absorb the tectonic displacement of the wedge tip, and usually form folds on the surface (Fig.1, Medwedeff, 1989; 1992; Shaw et al., 2005). However, main forethrusts are usually blind faults and do not expose the surface. The interpretation of seismic reflection profiles is often uncertain and other options are viable (Taborda& Spratt, 2008; Ortner et al., 2015; Schuller et al., 2015). Therefore, it is a worldwide problem to study the activity behavior of tectonic wedges. Furthermore, backthrust fault outcrops provide windows for studying the activity of the blind tectonic wedges.

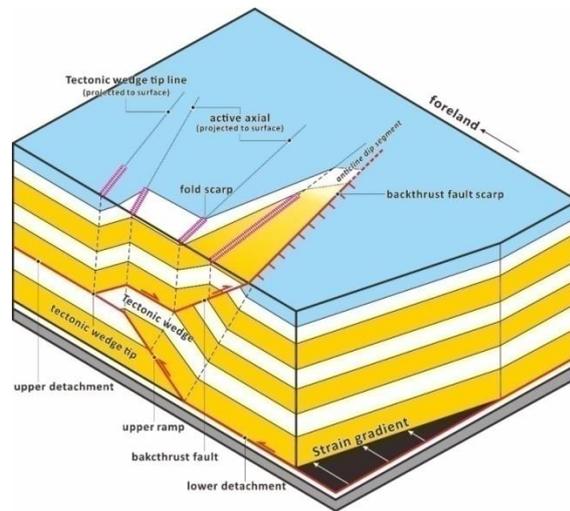


Figure.1 Schematic 3D diagram of a triangle zone based on von Hagke&Malz (2018), Medwedeff (1992).The overlying backthrust fault scarps and related fold structures are a window to study the activity of hidden compressive tectonic wedge.

At present, a lot of research work has been done on tectonic wedges worldwide (e.g. Jones, 1982; Price, 1981; Vann et al., 1986). The geometry and kinematics of tectonic wedges have been well understood by scholars, but the study of blind tectonic wedges by active backthrust outcrop of the surface is rarely done. During the northward extrusion of the tectonic wedge developed in the Urumqi FTB of northern Tianshan (Fig. 2a), some displacement was reduced along the backthrust fault at the top of the tectonic wedge. It thrusts southward and cuts the overlying strata, forming the Qigu-South Anjihai (QS) piedmont anticline belt (Fig. 2b, Guan et al., 2009; 2012; 2013; Qiu et al., 2019). Another part of the displacement was transferred northward along the coal seams of the Middle–Upper Jurassic Xishanyao Formation (J2x) and caused fold deformation at the fault ramp, forming the Huoerguosi-Manas-Tugulu (HMT) and Dushanzi-Haland-Anjihai (DHA) anticlines (Guan et al., 2009; 2013; 2016; Li et al., 2010; 2012; Qiu et al., 2019). However, because of the uncertainties and different viabilities in the seismic reflection profile interpretations, the tectonic wedge models proposed by different scholars are not consistent (e.g., Stockmeyer et al., 2014; Guan et al., 2016; Li et al., 2018; Lu et al., 2018; Qiu et al., 2019; Hu et al., 2021). Although many backthrust faults have been interpreted in the reflection profiles of the Tuositai, South Anjihai, Qingshuihe and Qigu anticlines in the QS anticline belt (Fig. 2b, e.g., Stockmeyer et al., 2014; Guan et al., 2016; Qiu et al., 2019; Hu et al., 2021), we lack detailed field investigations and activity studies of these backthrust faults. It is generally believed that the Urumqi FTB Piedmont Anticline belt has not been active since the Late Quaternary (e.g., Deng et al., 2000; Lu et al., 2018; Qiu et al., 2019). Recently, Hu et al. (2021) combined with OSL dating and dGPS measurements, revealed new evidence that the Jiangnanmiaobackthrust fault in the piedmont anticline belt has been active since the Holocene. This backthrust fault developed in the northern limb of Qingshuihe anticline (Fig. 2b) and is controlled by the blind tectonic wedge in the basement. Although Hu et al (2021) has well discussed the activity characteristics and slip rate of the Jiangnanmiaobackthrust fault, the geometry and kinematics characteristics of the backthrust fault are not well discussed, and the relationship between the backthrust fault and the tectonic wedge and the anticline located in is not clear. We also have discovered several bedding backthrust fault outcrops and scarp on the Late Quaternary geomorphic surface in the northern limb of the South Anjihai Anticline on the west side of the Qingshuihe anticline (Fig. 2b). This leads us to urgently consider if the newly discovered actively tectonic wedges and backthrust faults have the potential to generate large, devastating earthquakes.

We discovered several backthrust faults (Kasha backthrust fault, KBT) that were active in the Late Quaternary and thrust southward in the north limb of the South Anjihai Anticline in the

piedmont anticline belt of the Urumqi FTB. These faults caused a vertical dislocation of the geomorphological surface on the east bank of the Anjihai River, forming a fault scarp trending to the south, with a maximum displacement of 140 m. The KBT developed in the Paleogene Anjihaihe Formation (E_{2-3a}) and thrust upward along the strata above the Shawan Formation (E_3-N_{1s}). By summarizing the age data of other scholars for the geomorphology of the study area, we found that the geomorphological surfaces faulted by the KBT were all abandoned since the Late Pleistocene. Furthermore, it is generally recognized that the piedmont anticlinal belt in the Urumqi FTB has not been active since the Late Quaternary. However, this newly discovered active backthrust fault and tectonic wedge indicate that the formation and evolution of the four rows of fold zones in the Urumqi FTB are closely related and interact with each other, which is reflected in the out-of-sequence time series. Future research in the northern Tianshan will consider the implications of active out-of-sequence seismic activity using additional field data collection.

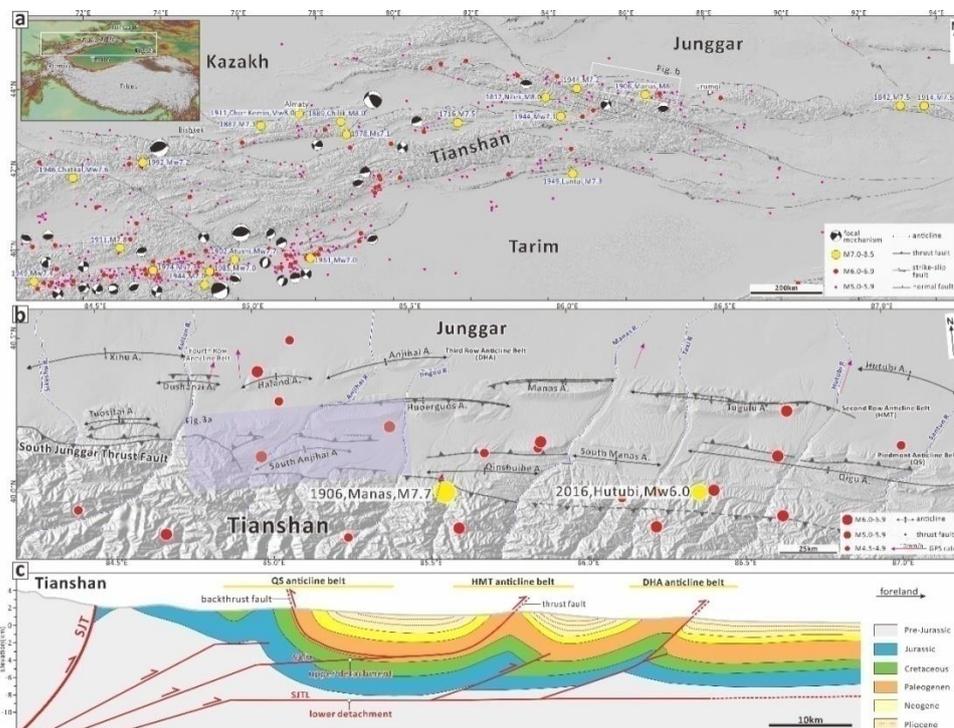


Figure.2 (a) Topographic map, active structures, and major earthquakes ($M \geq 5.0$ for the period from 1900 to February, 2020) within the Tian Shan and nearby region. Epicenters and focal mechanisms of the 1902 Mw7.7 Atushi, 1911 Mw8.0 Chon Kemin, and 1946 Mw7.6 Chatkal events from Kulikova (2016). Other epicenters from the U.S. Geological Survey (USGS) seismic catalog (see Data and Resources). (b) Topography, active structures, and major earthquakes ($M \geq 4.0$ for the period of 1951 to July 2020 from USGS seismic catalog) within the Urumqi fold-and-thrust belt and adjacent areas (location shown in (a)). (c) The Urumqi fold-and-thrust belt system (modified from Dengetal, 2010) and the name of thrust corresponds to panel.

A dense grid of petroleum industry seismic reflection profiles available at the east bank of Anjihai River segment of South Anjihai anticline provide an opportunity to investigate the geometric characteristics of the KBT and the actively tectonic wedge. We established a 3-D model of the KBT and tectonic wedge and found that KBT is a backthrust fault controlled by an active tectonic wedge. Therefore, a new lateral propagation model of the backthrust fault and the anticline controlled by tectonic wedge was proposed.

Our research also provides the possibility to reassess the seismic risk of the Urumqi FTB. The correlations between thrust faults will alter the sequence of seismic recurrences in this tectonic zone and may produce larger earthquakes than expected. Therefore, by considering only

the single-row anticline belt as the seismogenic structure of the Urumqi FTB, its overall seismogenic capacity and seismic risk are substantially underestimated. We need to pay more attention to actively backthrusting faults and tectonic wedges when evaluating the seismic risk of the Urumqi FTB.

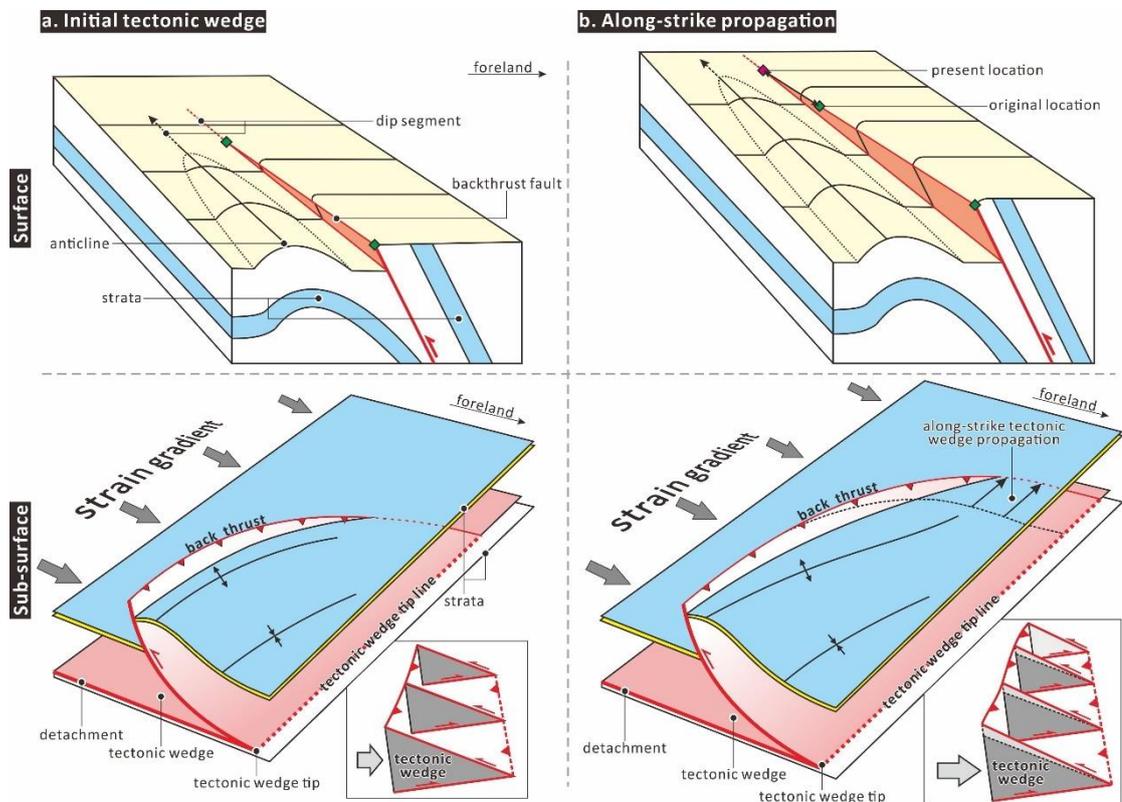


Figure.3 (a) The initial model of the tectonic wedge. (b) The lateral propagation characteristics of tectonic wedge. This indicates that the propagation of backthrust fault is directly related to the anticline controlled by the tectonic wedge.

References

- [1] Stockmeyer, J.M., Shaw, J.H. and Guan, S.,2014. Seismic Hazards of Multisegment Thrust-Fault Ruptures: insights from the 1906 Mw 7.4-8.2 Manas, China, Earthquake. *Seismol. Res. Lett.*, 85(4): 801-808.
- [2] Guzowski C A, Shaw J H, Lin G, et al.2007. Seismically active wedge structure beneath the Coalinga anticline, San Joaquin basin, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B3).
- [3] Li, T., Chen, J., Fang, L, H., et al. 2016. The 2015 Mw6.4 Pishan earthquake: Seismic hazards of an active blind wedge thrust system at the Western Kunlun range front, Northwest Tibetan Plateau. *Seismological Research Letters*, 87(3):601-608.
- [4] Sun, J. B., Shen, Z. K., Li, T., et al. 2016. Thrust faulting and 3D ground deformation of the 3 July 2015 Mw 6.4 Pishan, China earthquake from Sentinel-1A radar interferometry. *Tectonophysics*, 683: 77-85.
- [5] Medwedeff, D.A., 1992. Geometry and kinematics of an active, laterally propagating wedge-thrust, Wheeler Ridge, California. In: Mitra, S., Fisher, G.W. (Eds.), *Structural Geology of Fold and Thrust Belts*. Johns Hopkins University Press.
- [6] von, Hagke, Christoph, et al. 2018. Triangle zones - Geometry, kinematics, mechanics, and the need for appreciation of uncertainties. *Earth-Science Reviews: The International Geological Journal Bridging the Gap between Research Articles and Textbook*.
- [7] Medwedeff, D.A., 1989. Growth fault-bend folding at southeast Lost Hills, San Joaquin Valley, California. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73:54-67.
- [8] Medwedeff, D.A., 1992. Geometry and kinematics of an active, laterally propagating wedge-thrust, Wheeler Ridge, California. In: Mitra, S., Fisher, G.W. (Eds.), *Structural Geology of Fold and Thrust Belts*. Johns Hopkins University Press.

- [9] Shaw, J. H., Connors, C., Suppe, J. 2005. Seismic Interpretation of Contractional Fault-Related Folds: An AAPG Seismic Atlas, AAPG Stud. Geol., 53.
- [10] Taborda, A., Spratt, D., 2008. In: Butler, R., McCaffrey, B., Torvela, T. (Eds.), Mobil057-79-44: Peel Plateau; Northwest Territories. Virtual Seismic Atlas.
- [11] Ortner, H., Aichholzer, S., Zerlauth, M., Pilser, R., Fügenschuh, B., 2015. Geometry, amount, and sequence of thrusting in the subalpine Molasse of western Austria and southern Germany, European Alps. *Tectonics* 34, 1-30.
- [12] Schuller, V., Frisch, W., Herzog, U., 2015. Critical taper behaviour and out-of-sequence thrusting on orogenic wedges – an example of the eastern Alpine Molasse Basin. *Terra Nova* 27, 231–237.
- [13] Jones, P.B. 1982. Oil and gas beneath east-dipping underthrust faults in the Alberta Foot-hills. In: Powers, R.B. (Ed.), *Geologic Studies of the Cordilleran Thrust Belt*. Rocky Mountain Association of Geologists, Denver, pp. 61–74.
- [14] Price, R.A., 1981. The Cordilleran foreland thrust and fold belt in the Southern Canadian Rocky Mountains. In: McClay, K.R., Price, N.J. (Eds.), *Thrust and Nappe Tectonics*. The Geological Society of London, London, pp. 427–448.
- [15] Vann, I.R., Graham, R.H., Hayward, A.B., 1986. The structure of mountain fronts. *J. Struct. Geol.* 8, 215–227
- [16] Guan, S. W., Li, B. L., He, D. F., et al. 2009. Recognition and exploration of structural wedges: A case study of the southern margin of Junggar Basin. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 129-137.
- [17] Guan, S. W., Chen, Z. X., Fang, S. H., 2012. Three potential exploration areas of Southern Junggar Basin discussed by structural modeling. *Petroleum Exploration and Development*, 39(1): 37-44.
- [18] Guan, S. W., He, D. F., Lei, Y. L., Chen, Z. X. 2013. Kinematic classification, structural modeling and prospective fields of the foreland thrust belts in Midwest China. *Petroleum Exploration and Development*, 40(1):66-78.
- [19] Qiu J H, Rao G, Wang X, Yang D S, Xiao L X. 2019. Effects of fault slip distribution on the geometry and kinematics of the southern Junggar fold-and-thrust belt, northern Tian Shan. *Tectonophysics*, 772:1-14
- [20] Guan, S. W., Stockmeyer, J. M., Shaw, J. H., et al. 2016. Structural inversion, imbricate wedging, and out-of-sequence thrusting in the southern Junggar fold-and-thrust belt, northern Tian Shan, China. *The American Association of Petroleum Geologists*, V. 100, NO.9:1443-1468.
- [21] Lu, H.H., Cheng, L., Wang, Z., et al. 2018. Latest Quaternary rapid river incision across an inactive fold in the northern Chinese Tian Shan foreland. *Quaternary Sciences Review*, 179, 167–181.
- [22] Hu, G. M., Chen, J., Zhang, W. H., et al. 2021. Out-of-sequence backthrusting since the Middle Pleistocene revealed by the Jiangnanmiao thrust fault along the northern Tian Shan, China. *Tectonics*, <https://doi.org/10.1029/2020TC006662>

**Yingfeng Zhang¹, Xinjian Shan¹, Wenyu Gong¹, Guohong Zhang¹,
Chunyan Qu¹, Tao Li¹**

¹ State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing, 100029, China
Corresponding author: Yingfeng Zhang (jingqing129@gmail.com)

STRAIN ACCOMMODATION AND SEISMIC HAZARDS OF THE KALPIN FOLD-AND-THRUST BELT, SOUTHWESTERN TIAN SHAN FORELAND, CHINA: INSIGHTS FROM THE 2020 MW 6.0 KALPIN EARTHQUAKE

Abstract

To further investigate the vertical separation between InSAR-derived slip models and aftershocks, we combined data from InSAR, teleseismic body-waves, a regional seismometer array, and near-field strong-motion observations to constrain the locations of the mainshock, aftershocks, and potential aseismic slip beneath the Kalpin fold-and-thrust belt (KFTB). We provided the first modeling of near-field strong-motion data and analysis of post-seismic InSAR time series for the 2020 Mw 6.0 Kalpin earthquake. In addition, we also considered the post-seismic deformation following this earthquake using InSAR time-series analysis and kinematic afterslip inversion in order to clarify the correlation between

co- and post-seismic strain adjustment. Finally, we considered the mechanisms of aftershocks in the basement and sediments, as well as their implications for seismic hazards.

Для изучения вертикального разделения между моделями скольжения, полученными с помощью InSAR, и афтершоками, в настоящей статье объединяются данные InSAR, телесеismicических объемных волн, региональной группы сейсмоприемников и мониторинг сильных движений грунта в ближней зоне, чтобы определить местоположения главного толчка, афтершоков и потенциального асейсмического скольжения под Кэпинтагской складчато-надвиговой зоной. В работе представлено первое моделирование данных сильных движений грунта в ближней зоне и выполнен анализ временных рядов InSAR для получения постсейсмической деформации Кэпинтагского землетрясения с магнитудой M_w 6.0 2020 г. Кроме того, рассматривается постсейсмическая деформация этого землетрясения, используя анализ временных рядов InSAR и кинематическую инверсию постсейсмического сдвига, чтобы прояснить корреляцию между корректировкой ко- и постсейсмической деформации. В статье рассматриваются механизмы автершоков в фундаменте и осадочном чехле, а также их влияние на сейсмическую опасность.

Main Text.

Strain accumulation in foreland zones is important for understanding mountain-building processes and seismic hazards. Material heterogeneity in this border zone, particularly the contrast between sedimentary cover and basement, affects strain accommodation and fault behavior. One manifestation of this effect is depth separation of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)-derived slip models and corresponding aftershock clusters; hypotheses for this vertical separation remain controversial.

Tian Shan is characterized by distributed active thrust-fault deformation (Figure 1). In this study, we investigated strain accumulation in the KFTB of southwestern Tian Shan, China, using the integration of InSAR measurements, teleseismic body-waves, near-field strong motion data (SM), and relocated aftershocks of the 2020 M_w 6.0 Kalpin earthquake. The SM modeling and analysis of post-seismic InSAR time series are performed first time for this earthquake. Our results confirm a vertical separation of the mainshock and aftershock cluster, with the former on a weak décollement and the latter on faults within the basement. InSAR time series analysis shows that post-seismic deformation was dominated by afterslip on a splay fault directly above the ruptured décollement. Static stress transfer of co-seismic rupture cannot explain these observations. We speculate that fluid flow and high pore pressure along pre-existing fault planes may have reduced the fault strength and been involved in the evolution of this aftershock cluster. We conclude that compressive strain in the KFTB is accommodated by a mixture of thin- and thick-skin faulting and seismicity deformation across the entire crustal thickness. Specifically, we suggest that the observed shortening is partly accommodated by infrequent large earthquakes on the weak décollement.

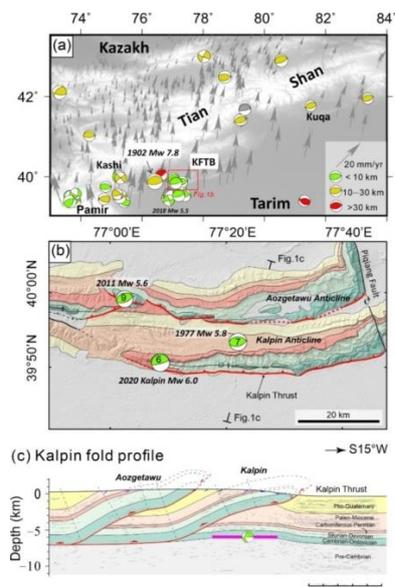


Figure 1. Tectonic setting and seismicity in the Kalpin fold-and-thrust belt. (a) Well-resolved earthquakes ($M_w > 5.5$) in Tian Shan. Gray arrows denote Global Navigation Satellite System (GNSS) velocity with respect to stable Eurasia [1]. Focal mechanisms are the results of body-wave modeling compiled by [2] and provided by [3]. The colors in the beach balls show the centroid depth [2-3]. (b) Geological map of the Kalpin thrust belt. The values within focal mechanism beach balls denote the centroid depth. The focal mechanism of the 1977 Mw 5.8 earthquake is from [4]. Colors and strata are the same as those in panel (c). (c) Seismic reflection profile modified from [5]; see panel b for the location. The thick purple line marks the coseismic rupture derived from Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) measurements.

References

- [1] Wang, M., & Shen, Z. K. (2020). Present-day crustal deformation of continental China derived from GPS and its tectonic implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(2), e2019JB018774.
- [2] Wimpenny S. and Watson C. S. (2020). gWFM: A Global Catalog of Moderate-Magnitude Earthquakes Studied Using Teleseismic Body Waves. *Seismological Research Letters*, 92, 212–226. doi: 10.1785/0220200218
- [3] Sloan, R. A., Jackson, J. A., McKenzie, D., & Priestley, K. (2011). Earthquake depth distributions in central Asia, and their relations with lithosphere thickness, shortening and extension. *Geophysical Journal International*, 185(1), 1-29.
- [4] Fan G., Ni J. and Wallace T. (1994). Active tectonics of the Pamirs and Karakorum. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B4), 7131-7160. <https://doi.org/10.1029/93JB02970>
- [5] Lü, L., Li, T., Chen, Z., Chen, J., Jobe, J. T., & Fang, L. (2021). Active structural geometries and their correlation with moderate (M 5.5-7.0) earthquakes in the Jiashi-Keping region, Tian Shan south western front. *Tectonics*, 40, e2021TC006760. <https://doi.org/10.1029/2021TC006760>

Zuo Hong

Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China

STUDY ON SIGNIFICANT SEISMIC ACTIVITY AND RUPTURE SCALE IN THE REGION OF SOUTHEASTERN SICHUAN

Background:

The Sichuan Basin is located on the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau and it's a tectonic-sedimentary basin on the western margin of the Yangtze Platform (Figure 1; Gu et al., 2012; Deng et al., 2013). The region of southeastern Sichuan, bounded by the Huaying Mountain fault zone, is divided into two secondary tectonic units: the Central Sichuan uplift area and the Southeast Sichuan high steep tectonic zone. The surface is dominated by folded structures, with varying scales of associated faults. However, most of the faults are either concealed or partially concealed, and the Quaternary activity is not significant.

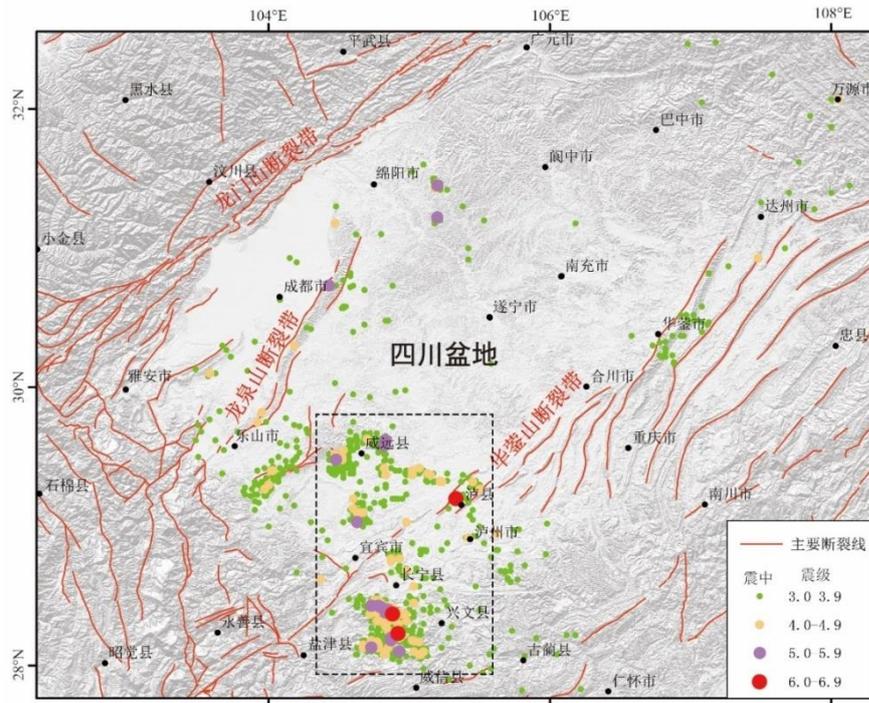


Figure 1 Distribution Map of Main Faults and Seismicity in Sichuan Basin
(The dashed box represents the scope of the research area)

Since the establishment of earthquake monitoring networks in 1970, seismic activity in the Sichuan Basin has shown relatively weak activity. However, in the past decade, both the frequency and intensity of seismic activity in the basin have been increasing (Zhang et al., 2019). The M_s 6.0 earthquake that occurred in Changning in 2019 broke the historical record of seismic magnitude below 6.0 in the Sichuan Basin. The significant increase in seismic activity in the southern part of the basin has also attracted attention (Zhang et al., 2019; Yi et al., 2019, 2020; Gong et al., 2020; Li et al., 2021; Sun et al., 2021). At the same time, the relationship between seismic activity in this region and regional tectonics, as well as the potential maximum earthquake magnitude, are urgent issues to be resolved.

The relationship between earthquake magnitude and rupture scale often plays an important role in seismic hazard analysis. Since Tocher (1958) first established the empirical relationship between earthquake magnitude and length of surface rupture, many studies have been conducted in this field both domestically and internationally (Krinitzsky et al., 1977; Wells et al., 1994; Ran, 2011). The maximum length of surface ruptures from earthquakes is an important basis for reflecting the scale or length of seismic faults. Usually, after an earthquake occurs, field investigations of surface rupture zones and related faults can confirm the rupture scale. Remote sensing interpretation of earthquake-induced surface ruptures can also determine the rupture scale. The distribution length of aftershocks obtained through accurate positioning can also be used as a basis for determining the rupture scale.

Currently, the published empirical formulas for earthquake magnitude and rupture scale in mainland China mainly rely on strong earthquake examples from active tectonic areas in western China and North China, which are often accompanied by obvious surface ruptures and coseismic displacements. However, the Sichuan Basin region, with weak tectonic deformation, has historically shown less frequent and less intense seismic activity, with few earthquakes above magnitude 5.0 occurring. Even if an earthquake occurs, it is difficult to find surface rupture traces caused by the earthquake. Moreover, surface ruptures are often associated with folded structures, mostly in concealed states, and lack deep structural backgrounds. Therefore, it has become a major challenge to use the empirical relationship of earthquake ruptures to study seismic hazard in weak tectonic active areas.

Methods:

One of the most commonly used methods to determine the rupture scale of significant earthquakes is the spatial distribution of aftershocks. The aftershock zone of a strong earthquake reflects the stress adjustment along the fault, and the size of the aftershock zone can reflect the size of the seismic source or the scale of the seismic fault. Therefore, people often use the length of the major axis of the aftershock zone to represent the length of the seismic fault (Darragh et al., 1987; Wells et al., 1994; Wang Jiading et al., 1995; Long Feng et al., 2006). The selection of aftershock time after a large earthquake is crucial for determining the rupture scale. In general, the early aftershock distribution (within hours to days after the mainshock) is chosen to avoid interference from the expansion of aftershock distribution over time or triggered aftershocks on the rupture scale of the mainshock (Long Feng et al., 2006).

This study applies the double-difference relocation method to analyze the significant earthquakes in the southeastern part of Sichuan. The double-difference method is a relative earthquake location method proposed by Waldhauser F and Ellsworth W L (2000). The principle is to form station-event pairs from the observations at each station, minimizing the residuals between the observed and theoretical travel time differences of earthquake pairs. Due to the zonal or clustered characteristics of earthquake distribution, we selected the aftershock sequences within 72 hours after the mainshock and combined them with the dominant rupture direction from the focal mechanism solutions to determine the rupture direction of significant earthquakes. If the aftershock distribution shows obvious zonal characteristics that are consistent with the tectonic features and focal mechanism solutions, it is directly used as the earthquake rupture direction and scale. If the aftershock distribution shows clustered characteristics and the zonal distribution is not obvious, a reasonable earthquake rupture direction and scale are determined by considering the cross-section of the focal mechanism solutions.

Results:

This article is based on the records from 78 seismic stations in the Sichuan Seismic Network. It selected earthquake catalog data and observation report data from 9,696 earthquakes with ML magnitude of 1.8 and above in the southeastern part of Sichuan from 2018 to 2021. Earthquake events were selected with epicentral distances less than 200 km and at least 4 earthquakes with absolute P-wave arrival times, with a maximum spatial distance not exceeding 15 kilometers. Each earthquake can form an earthquake pair with up to 10 neighboring earthquakes. A total of 9,226 earthquake events were finally selected for seismic relocation research, with 126,326 absolute P-wave arrival time data and 468,601 relative P-wave arrival time data used. A preliminary analysis of the rupture scale of significant earthquakes in the region was also conducted. For the precise relocation, a one-dimensional velocity model obtained by Yi Guixi et al. (2020) in the Rongxian-Weiyuan-Zizhong area and a one-dimensional velocity model obtained by Yi Guixi et al. (2019) in the Gongxian-Changning-Luxian area were used.

Based on the clustering characteristics of earthquakes after relocation, the southeastern region of Sichuan was divided into three main study areas (Figure 2): (a) Rongxian-Weiyuan-Zizhong area; (b) Luxian area; (c) Changning-Gongxian-Xingwen area. The empirical relationship between significant earthquake magnitude and rupture scale was obtained, which serves as a case study for seismic research in the southeastern region of Sichuan and contributes to the seismic situation assessment in this area. Combined with the focal mechanism solutions, we obtained the characteristics of earthquake distribution in the study area and the fracture scale characteristics of 16 significant earthquakes. The rupture scales of the earthquake clusters in Rongxian, with magnitudes of M_S 4.9 and M_S 4.7, and in Weiyuan, with a magnitude of M_S 5.4, were obtained through a comprehensive analysis of earthquake relocation and focal mechanism solutions, as shown in Figure 2. We conducted a statistical analysis to obtain the rupture scales of 16 significant earthquakes in the study area and fitted them to establish the empirical relationship between earthquake magnitude and rupture scale in the southeastern region of Sichuan, as shown in Figure 3.

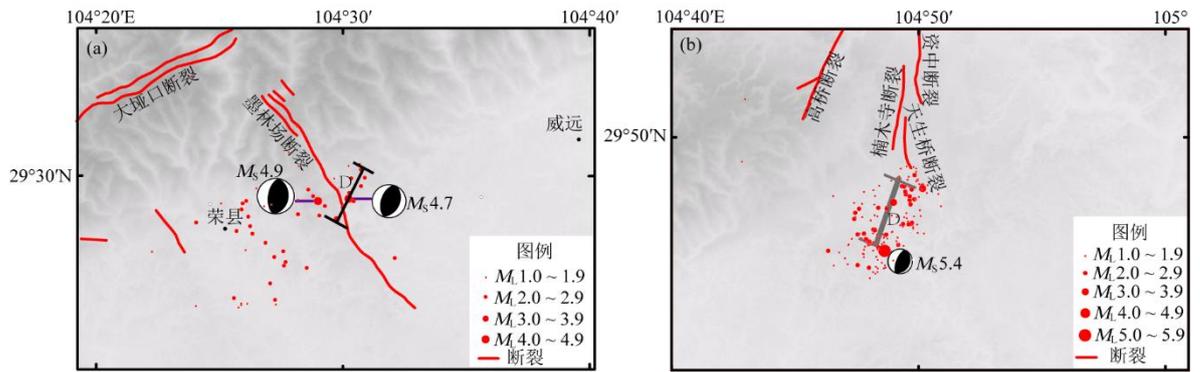


Figure 2 The rupture scales of the $M_S4.9$ and $M_S4.7$ earthquakes in Rongxian and $M_S5.4$ earthquake in Weiyuan.

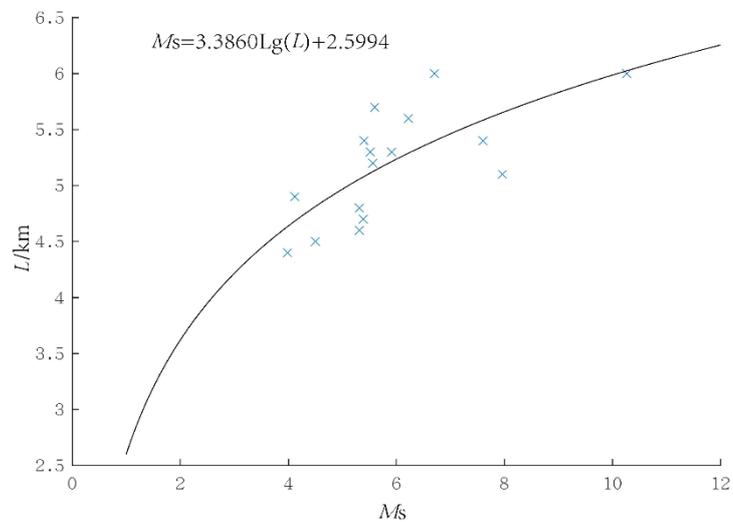


Figure 3 The empirical relationship between significant earthquake magnitude and rupture scale in the southeastern region of Sichuan

Conclusion:

Based on the records from the Sichuan Seismic Network, the double-difference seismic relocation method was used to obtain the relocation results of 8,519 earthquakes with $M_L \geq 1.8$ in the southeastern part of Sichuan from 2018 to 2021. The following conclusions were drawn: (1) The double-difference relocation improved the accuracy of the earthquakes and showed better clustering characteristics, indicating a better seismic belt-like distribution. By selecting the aftershock sequences within 72 hours after the mainshock and considering the dominant rupture direction from the focal mechanism solutions, it was easier to determine the rupture direction of significant earthquakes. (2) Combining the aftershock zonation distribution direction with the dominant rupture direction of the focal mechanism, we statistically obtained the rupture scales of 16 significant earthquakes in the study area and fitted the Empirical relationship between magnitude and rupture scale in southeast Sichuan. This relationship is applicable to earthquakes with magnitudes ranging from 4.4 to 6.0 in the southeastern Sichuan area. This empirical relationship is better suited for seismic hazard assessment, seismic safety evaluation, and medium- to long-term earthquake prediction of active faults in the southeastern Sichuan region compared to existing similar relationships.

The empirical formulas for the magnitude and rupture scale in the study area require a

larger number of earthquakes. Due to the weak tectonic deformation in the study area, which is located within the Sichuan Basin, historical seismic activity has been relatively low in frequency and intensity. With only 16 earthquake data, the empirical formulas obtained provide preliminary support for the seismic hazard assessment in the region. The next step would involve studying the rupture scale of more historically significant earthquakes in the area to obtain a more accurate empirical relationship between magnitude and rupture scale.

References:

- [1]Gu Z D, Yan S Y, Zhang B, et al.2012.Triassic Tectonic Decoupling in Weiyuan Uplift (Sichuan) and Its Implications[J].ActaScientiarumNaturaliumUniversitatisPekinensis,48(2): 262-272.
- [2] Deng B, Liu S G, Wang G Z, et al.2013.Cenozoic uplift and exhumation in southern Sichuan Basin—Evidence from low-temperature thermochronology[J].Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 56(6): 1958-1973.
- [3] Zhang Z W, Long F, Wang S Y, et al. 2019.Earthquake Location and Velocity Structure in Yibin Area, Sichuan[J]. Seismology and Geology,41(4): 913-926.
- [4]Yi GX, Long F, Liang MJ, et al. 2019. Focal mechanism solutions and seismogenic structure of the 17 June 2019 MS6.0 Sichuan Changning earthquake sequence[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 62(9): 3432-3447.
- [5]Yi GX, Long F, Liang MJ, et al. 2020. Geometry and tectonic deformation of seismogenic structures in the Rongxian-Weiyuan-Zizhong region, Sichuan Basin: insights from focal mechanism solutions[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 63(9): 3275-3291.
- [6] Gong Y, Wang Y X, Liang M J, et al. 2020. Study on the Spatio-temporal Evolution Characteristics and Seismic Structure Environment of the 2019 M6.0 Changning Sichuan Earthquake Sequence[J].Earthquake,40(4): 90-102.
- [7]Li D H, Zhan Y, Ding Z F, et al. 2021. Upper crustal velocity and seismogenic environment of the Changning MS6.0 earthquake region in Sichuan, China[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 64(1): 18-35.
- [8]Sun Q, Pei S P, Su J R, et al. 2021. Three-dimensional seismic velocity structure across the 17 June 2019 Changning MS6.0 earthquake, Sichuan, China[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 64(1): 36-53.
- [9]Tocher D. 1958. Earthquake energy and ground breakage [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 48(2): 147-153.
- [10]Krnitzsky E L, Chang F K. 1977. State-Of-The-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States [C]// Report 7. Specifying Peak Motions for Design Earthquakes.
- [11]Wells D L, Coppersmith K J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4): 974-1002.
- [12]Ran H L.2011. Empirical Relations Between Earthquake Magnitude and Parameters of Strike-slip Seismogenic Active Faults Associated with Historical Earthquakes in Western China[J]. Seismology and Geology, (3): 577 -585.
- [13]Darragh R B, Bolt B A. 1987. A comment on the statistical regression relation between earthquake magnitude and fault rupture length [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 77(4): 1479-1484.
- [14] Wang J D, Huang C F.1995.A Model of Fuzzy Neuron on the Relationship Between Length of Aftershock Area and Magnitude[J]. China Earthquake Engineering Journal ,17(1):62-68.
- [15] Long F, Wen X Z, Xu X W. 2006. Empirical Relationships Between Magnitude and Rupture Length, and Rupture Area, for Seismogenic active faults in North China[J]. Seismology and Geology,28(4): 511-535.

Абдуллаев А.У., Борисов В.Н., Есенжигитова Е.Ж., Маркин М.Ю.

Институт сейсмологии МЧС РК, Алматы, Казахстан
u.abdullaev@mail.ru; borisov_wn_71052@mail.ru; liza_1103@mail.ru;

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКСХАЛЯЦИИ ПОЧВЕННОГО РАДОНА В РАЙОНЕ ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСК В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКИМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕМ

Аннотация. Излагаются научно-методические вопросы геохимического зондирования и локализации активности тектонических разломов на основе профильных измерений эксхалиции (объемной активности) почвенного радона (Rn^{222}), а также эманационной съемки на территории г.Усть-Каменогорск, проведенные здесь в 2021-2023 годы в связи с сейсмическим микрорайонированием (СМР). Установлено, что геохимические методы глубинного зондирования позволяют достаточно надежно определить местонахождение и активность тектонических разломов и дать новые материалы для сейсмического районирования ответственных объектов, а также определить факторы сейсмического риска.

Summary. The scientific and methodological issues of geochemical sounding and localization of the activity of tectonic faults are outlined on the basis of profile measurements of exhalation (volumetric activity) of soil radon (Rn^{222}), as well as emanation survey on the territory of Ust-Kamenogorsk, carried out here in 2021-2023 in connection with the seismic micro-zoning (SMR). It has been established that geochemical methods of deep sounding make it possible to reliably determine the location and activity of tectonic faults and provide new materials for seismic zoning of critical objects, as well as determine seismic risk factors.

Введение. В геолого-тектоническом отношении город Усть-Каменогорск в Восточном Казахстане расположен в Иртышской зоне смятия (ИЗС) и по сейсмической активности находится в районе возможных землетрясений силой 8 баллов. Основные разломы на территории города имеют северо-западное простирание и в сочетании с поперечными разрывными нарушениями обуславливают складчато-блоковый характер Иртышской зоны смятия (ИЗС). Изучением этой зоны геологи занимаются с начала XX века. Данная тектоническая структура представляет собой глубинную разломную зону шириной от 1,5 до 20 км, протягивающуюся по территории России, Восточного Казахстана (г.Рубцовск, г.Усть-Каменогорск) в Китай (г.Фуюн) и далее в Монголию более чем на 1000 км., в виде коллажа разнородных блоков и чешуй, отличающихся степенью деформирования в палеозое [1,2]. Город Усть-Каменогорск – областной центр Восточного Казахстана (ВКО), крупнейший промышленный и транспортный узел Рудного Алтая. Для устойчивого развития цветной металлургии, горнодобывающей и химической промышленности, машиностроения и гражданского строительства необходимо комплексное изучение инженерно-геологических, гидрогеологических, сейсмических и экологических условий данной территории. До 1990 года на территории ВКО эндогенные геологические процессы проявлялись в виде умеренных землетрясений с интенсивностью до 6-7 баллов (MSK -64). Однако Зайсанское землетрясение, произошедшее 14 июня 1990 года интенсивностью 8 баллов в эпицентре превысило имевшуюся оценку сейсмической активности данного региона (по СНиП II-7-87) на 1 балл. С 2021 г. в ВКО проводятся ДСР и СМР [5]. В этой связи здесь впервые проводились геохимические исследования на основе профильного зондирования эксхалиции почвенного радона и эманационной съемки. Надо отметить, что в связи с СМР ранее такие работы проводились в 2014-2015 годах на территории г.Алматы [6]. Задачами проведенных исследований на ИЗС были: 1) оценить радоновую активность тектонических разломных зон; 2) отработать методику эманационной съемки для условий Иртышской зоны смятия и определить пределы изменений эксхалиции (объемной активности) радона в подпочвенном воздухе над

разломами в тектонически-активных и пассивных участках исследуемой территории. Для решения поставленных задач были использованы несколько приборов: «Рамон-Радон2» производства фирмы «СОЛО ЛТД» РК, радиометр-дозиметр «РКС-01-СОЛО», предназначенный для комплексного радиационного изучения исследуемой территории. При проведении эманационной съемки использовался приборный комплекс «Альфарад плюс» для экспрессных измерений и мониторинга ОАР-222 и Торона -220 в воздухе [3,4].

Методика исследований

Теоретическая часть исследования. Естественный радиоактивный газ радон (Rn^{222}) с периодом полураспада 3,82 дня является продуктом распада радия, который возникает в результате распада урана-238 [11]. Известно, что среди трех изотопов радона (Радон-222, Торон-220, Актиний-219) первый изотоп с периодом полураспада 3,825 дня является оптимальным и надежным индикатором при исследованиях сейсмических процессов на значительных территориях. Высокая радоновая активность в местах локализации разломов была отмечена во многих работах [10,11]. Механизм миграции радона в вертикальном направлении описан многими исследователями [Коваль, Удодов, Саньков и др., 2006; Akerbolm; Banwell, Parizek, 1988; Hermansson, Cyssler; Moussa, ElArabi, 2003; Wahita, Kumar, 2008] [10]. Суть явления заключается в том, что основной изотоп радон (Rn^{222}) непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада, то есть всегда присутствует в любом горном массиве. Уменьшение его концентрации, как за счет распада, так и за счет миграции из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией этого газа. Поэтому среднее содержание радона в массиве всегда постоянно и определяется концентрацией урана (радия) в этом массиве. Миграция радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы определяются коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются пористость, проницаемость и трещиноватость. Конвективный перенос радона с газовыми струями может осуществляться из верхней части горного массива с глубин до 200 м. Мировой опыт показывает, что радон (Rn^{222}), благодаря ряду своих особых геохимических свойств в подземных водах и приземной атмосфере является эффективным показателем геодинамического состояния земной коры [7,8,9]. Еще важно отметить, что, несмотря на то, что содержание радона в этих средах составляет ничтожные доли, проблем с его регистрацией не возникает ввиду его радиоактивности. Он надежно регистрируется при наличии приблизительно 30-50 распадов в секунду в одном кубическом метре (m^3), то есть активность радона составляет 30-50 Бк/ m^3 [3]. Аномалии радона над тектоническими нарушениями весьма разнообразны по интенсивности и форме, как и варианты расположения в их пределах главного сместителя. Трактовка термина “разломная зона” включает не только тектониты разломного сместителя, но и существенно большие по размерам объемы горных пород, в которых имеют место генетически связанные с его формированием пластические и разрывные деформации.

Обсуждение результатов исследований. Как отмечалось, в 2021-2023 годах Институтом сейсмологии МЧС РК на территории г.Усть-Каменогорск проводили работы по геохимическому зондированию и эманационной съемке с целью уточнения местоположения и активности тектонических разломов на основе профильного измерения эксхалиции (объемной активности) почвенного радона (Rn^{222}). За летние периоды 2021-2022 гг. в восточной части г. Усть-Каменогорск в 10 км. от ее западной границы были проведены полевые работы по специальным профилям измерения эксхалиции радона (Rn^{222}) для обнаружения погребенных разломов с шагом через 50 м. Всего пройдено 5 профилей общей протяженностью 15,2 км., через 5 разломных зон (рис.1). Профили прошли вкрест простирания разломов в юго-восточном направлении. Расстояния между ними составили от 1,7 до 3,5 км., а максимальная протяженность отдельного профиля составила 4 км. Профильное зондирование осуществлялось комплексом приборов-анализаторов последнего поколения «Рамон-Радон2» и радиометр-дозиметр «РКС-01-СОЛО», производства фирмы «СОЛО ЛТД». Полевые работы по эманационной съемке

производились с июня по сентябрь 2021- 2022 гг. Было пройдено 46 профилей, общей протяженностью 20 311 метров (рис.1). В процессе выполнения работ был собран значительный фактический материал измерения объемной активности Rn^{222} . Профили эманационной съемки располагались вкрест простирания разломных зон в тех местах, где главные особенности их строения отчетливо определялись по данным структурных и геоморфологических наблюдений. Для оценки степени проницаемости горного массива вдоль протяженных профилей проводился анализ цифровых моделей рельефа с выделением уступов спрямленных долин и линейно-эрозионных форм, которые на площади исследования отражают положение активных разломов. Для измерения плотности потока радона с поверхности грунта и измерения объемной активности радона в пробах почвенного воздуха был выбран измерительный комплекс мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс», предназначенный для экспрессных измерений и непрерывного мониторинга объемной активности радона-222, а также эквивалентной объемной активности (ЭРОА) радона и торона-220 в воздухе. В геоморфологическом отношении участки проведения радоновой съёмки представляют собой холмистый рельеф, представленный сочетанием отдельных сопок, массивов и межсопочных понижений, сложенных с поверхности суглинками и осложненный выходами палеозойских пород в виде гряд, грив, увалов, отдельных сопок, при относительных превышениях до 100 м. В геологическом отношении описываемая территория входит в состав Иртышской структурно-формационной зоны, простирающейся узкой полосой в северо-западном направлении между Қалба-Нарымской и Рудно-Алтайской зонами. В тектоническом плане Иртыш-Зайсанская зона протяженностью более чем 500 км. является сильно сжатым и дислоцированным горст-антиклинорием. Именно эта особенность определяет здесь его современную высокую сейсмогеодинамическую активность.

Профиль № 1: находится на северной окраине пос.Ушанова. Имеет северо-восточное направление и проходит вкрест простирания глубинного Иртышского разлома. Длина профиля около 1,5 км. На профиле было выполнено 30 измерений через каждые 50 метров, с определением координат и высотных значений и данных показаний других приборов. На выявленных участках с повышенной эксхалицией радона, расстояние между точками профиля сокращалось до 20 м и проведены контрольные замеры. Среднее значение по эксхалиции радона составляет 83 мБк/с*м². Между точками 2 и 7 отмечены повышенная эксхалиция радона до 170 мБк/с*м²с протяженностью участка 250 м, что превышает фоновое выделение радона в два раза (рис.2). При измерении на этом профиле прибором «Рамон-Радон2» и радиометр-дозиметром «РКС-01» отмечается полное совпадение аномальных участков.

Профиль № 2: находится восточнее в 10 км от г. Усть-Каменогорск, по трассе Усть-Каменогорск-Зырянск. Профиль проходит по гребню к реке Иртыш в крест простирания ИЗС. В процессе полевых работ было выполнено 54 измерения через каждые 50 м., с определением координат, высотных значений и данных показаний приборов. Среднее фоновое значение эксхалиции радона составляет 66 мБк/с*м², максимальное – 177 мБк/с*м², минимальное – 12 мБк/с*м², (рис. 3).

Профиль № 3: пройден на восточной окраине г. Усть-Каменогорск, на левом берегу реки Ульба, на пологом склоне гряды (рис.4). Профиль проходит в средней части склона восточной экспозиции с направлением на северо-восток, вкрест простирания ИЗС. Протяженность профиля 4,0 км. В процессе проведения полевых работ было выполнено 80 измерений через каждые 50 метров, с определением показаний всех приборов. На выявленных участках с повышенной эксхалицией радона, расстояние между точками профиля сокращалось до 20 м и проведены контрольные замеры. Среднее фоновое значение эксхалиции радона составляет 41 Бк/с*м², максимальное – 139 мБк/с*м² минимальное –15 мБк/с*м².



Рисунок 1

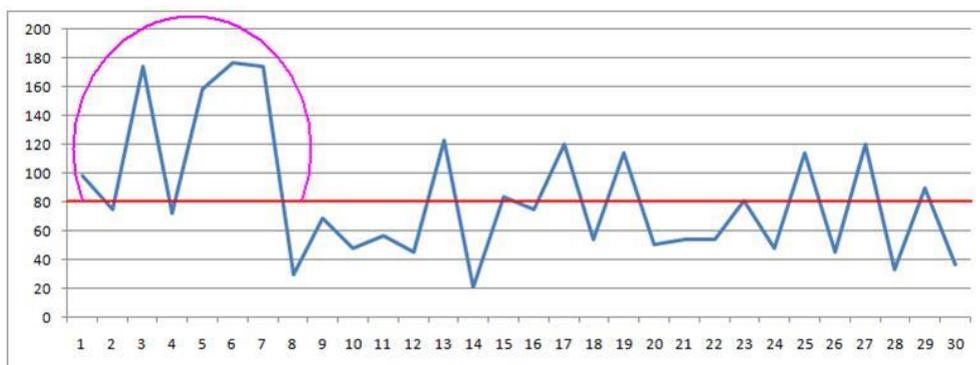


Рисунок 2. Профиль 1. Эксхалляция радона альфа частицы (мБк/с*м²)
СФЗ – среднее фоновое значение радона

С

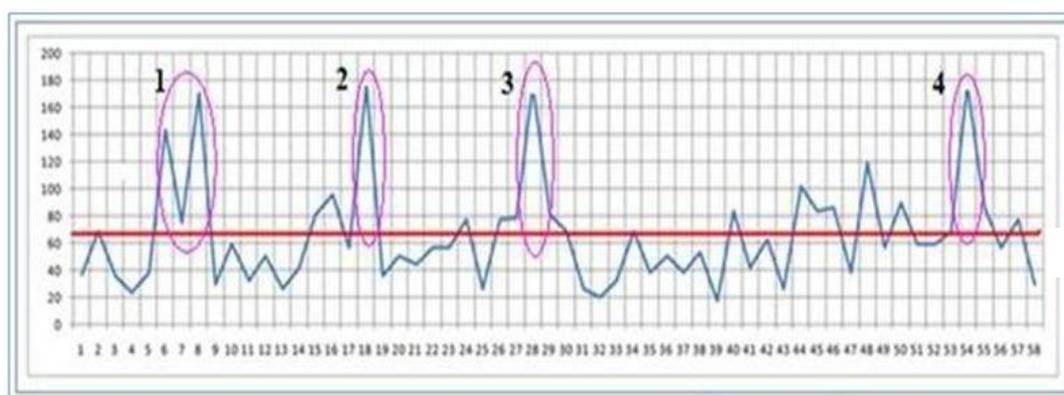
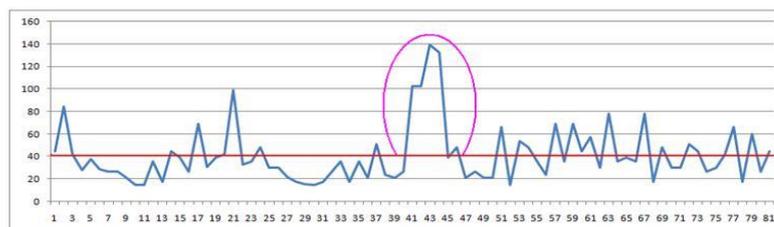


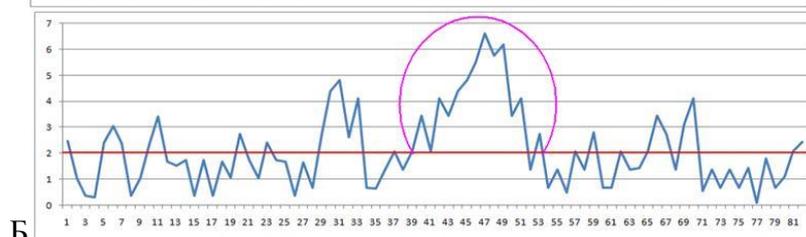
Рисунок 3. Профиль 2. Эксхалляция радона альфа частицы (Бк/с*м²)
СФЗ – среднее фоновое значение эксхалляции почвенного радона

С

Как видно из рисунка 3, на этом профиле выделены четыре участка резко повышенной эксхалляции радона. Протяженность первого участка составляет 150 м, а остальные участки соответственно 200 м. и 120 м. В среднем эксхалляции радона превышает фоновое содержание в 2-3 раза, достигая максимального значения 177 мБк/с*м².



С



С

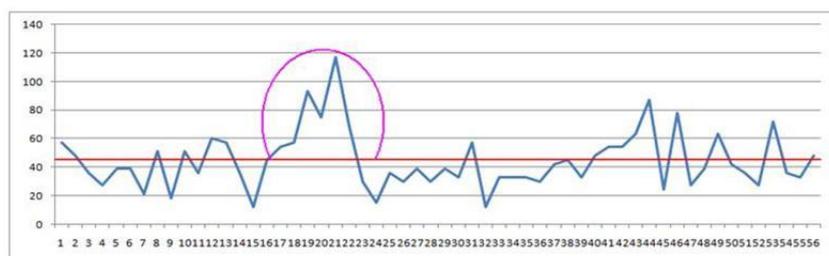
Б

Рисунок 4. Профиль 3. А - эксхалляция радона альфа частицы (мБк/с*м²) и

Б - дозиметр бета частицы (част/мин*см²), СФЗ – среднее фоновое значение радона

По профилю 3 выделен участок (между точками 39 - 46) с повышенной эксхалляцией радона, превышающей фоновое значение в два раза с протяженностью аномальной зоны 400 м. Обработка полевых материалов съёмки прибором «Рамон-Радон2» и радиометр-дозиметром «РКС-01» показывает полное совпадение аномальных участков (рис. 4, А, Б).

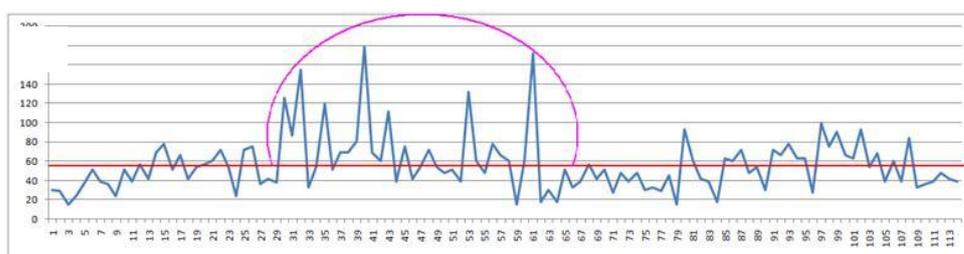
Профиль № 4: пройден на восточной окраине г.Усть-Каменогорска, в долине, ограниченной с востока и запада гряды холмов. Маршрут проходит по склону западной экспозиции. Направление профиля на северо-восток, вкрест простирания Иртышской зоны смятия. Длина профиля 3,0 км. Было выполнено 60 измерений через каждые 50 метров, с определением показаний всех приборов. На выявленных участках с повышенной эксхалацией радона, расстояние между точками профиля сокращалось до 20 м и проведены контрольные замеры. Среднее фоновое значение эксхалации радона составляет 45 мБк/с*м^2 , максимальное – 117 мБк/с*м^2 минимальное – 12 мБк/с*м^2 . По профилю выделен участок (между точками 15-23) с повышенной эксхалацией радона, превышающей фоновое значение в 2 раза, протяженностью аномальной зоны 450м (рис. 5).



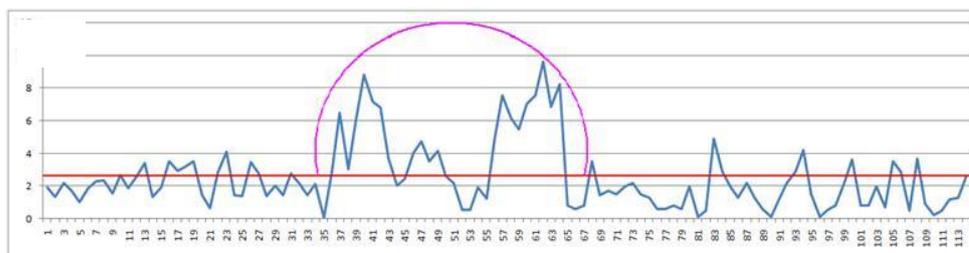
С

Рисунок 5. Профиль 4. А - эксхалация радона альфа частицы (мБк/с*м^2)

Профиль № 5: расположен на правом берегу реки Иртыш, на восточной окраине г.Усть-Каменогорск, по улице Вагутина, (рис. 6). Направление профиля на северо-восток, вкрест простирания ИЗС. Длина профиля около 4,0 км. Было выполнено 114 комплексных измерений через каждые 50 метров, с определением координат и высотных значений. На участках повышенной эксхалации радона, расстояние между точками сокращалось до 20 м. Среднее фоновое значение эксхалации радона составляет $56,7 \text{ мБк/с*м}^2$ максимальное – 179 мБк/с*м^2 минимальное – 15 мБк/с*м^2 . По профилю выделен аномальный участок (между точками 29-65) с превышающей фоновое значение в 2-3 раза, протяженностью 1300 м. По излучению бета частиц аномальная зона отмечена между точками 35 – 65, протяженностью 1200 м.



С



С

Рисунок 6. Профиль 5. А – Эксхалация радона альфа частицы (мБк/с*м^2) и Б - дозиметром бета частицы (част/мин*см^2), СФЗ – среднее фоновое значение радона

Эманиационная съемка. Основная задача полевых работ заключалась в проведении эманиационной съемки на территории г.Усть-Каменогорск в связи с СМР, где разломы

зарыты под большим чехлом четвертичных отложений. За период проведения полевых работ на территории города было пройдено 46 профилей, общей протяженностью 20311,1 м. В процессе выполнения работ был собран значительный фактический материал по измерению объемной активности Rn^{222} . Профили эманационной съемки располагались вкрест простирания разломных зон в тех местах, где главные особенности их строения отчетливо определялись по данным структурных и геоморфологических наблюдений. Профили пересекали разноориентированные части разрывных нарушений с расстояниями между пунктами опробования от 15 до 100 м. Для сопоставления разломов по радоновой активности использовался относительный показатель: $K = Q_{max}/Q_{min}$, где Q_{max} – максимальное значение параметра Q в пределах профиля (интенсивность аномалии), а Q_{min} – минимальное значение параметра Q в породах за границей зоны разлома. Примеры такой регистрации показаны в таблице 1. В наиболее простых случаях участок аномальных значений параметра Q имеет в поперечном сечении один максимум с постепенным или ступенчатым снижением концентрации почвенного радона к периферии (рис.7). Однако в большинстве изученных ситуаций аномалия радона является более сложной, как правило, прерывистой, что связано с неоднородным строением разломной зоны. Наиболее крупные из разрывов проявляются в виде локальных экстремумов значений Q : максимумов при заполнении зоны сместителя проницаемой разломной брекчией и минимумов, если тектониты подвергались интенсивному выветриванию или представлены глиной трения. Аномалии почвенного радона над разрывными нарушениями отличаются пространственной неоднородностью, что видимо, связано с проницаемостью субстрата разрывообразования. Полевые работы производились с июня по сентябрь 2022 г. Было пройдено 46 профилей, общей протяженностью 20311,1 метров. В процессе выполнения работ был собран значительный фактический материал по измерению объемной активности Rn^{222} .

Таблица 1. Количественные параметры профилей, полученные по данным эманационной съемки

Номер профиля	Протяженность профиля, м	Номер разрывного нарушения	Q_{max}	Q_{min}	Q_{cp}	K
Г-1	258,1	R_n №1	520	89	291.30	5.84
Г-2	303,3	R_n №2	507	102	259.14	4.97
Г-3	1480.6	R_n №3,4	1940	120	605.63	16.17
Г-6	635.3	R_n №7/3, 5	1309	120	616.58	10.91
Г-11	614	R_n №9	2053	110	657.94	18.66
Г-12	619	R_n №9	2677	190	1231.95	14.09
Г-13	441	R_n №26	845	179	448.33	4.72
Г-14	400	R_n №26	804	90	323.58	8.93
Г-19	542	R_n №21	656	40	223.72	16.40
Г-21	252	R_n №12	2482	239	866.44	10.38
Г-22	378	R_n №14	1158	347	629.40	3.34
Г-27	538	R_n №бн	1903	95	632.33	20.03
Г-31	461	R_n №15	950	413	693.18	2.30
Г-33	212	R_n №16	736	144	419.00	5.11

Результаты измерений содержания радона в почвенном воздухе по профилю G1. Профиль G1 имеет общее направление с севера на юг. Длина профиля 258,1 м. В процессе выполнения работ было сделано 10 измерений. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} по профилю составило 89 Бк/м^3 , максимальное - 520 Бк/м^3 . Данный профиль пересекает разрывное нарушение – R_n №1. В результате исследований

объемной концентрации почвенного радона Rn^{222} данное разрывное нарушение отражено в количественных показателях на рисунке 7.

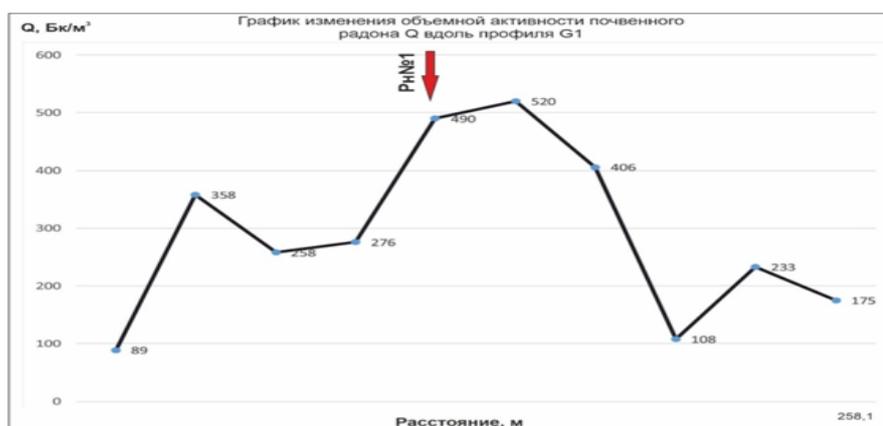


Рисунок 7. График изменения объемной активности почвенного радона Q вдоль профиля G1

Профиль G3 имеет общее направление с юго-запада на север. Длина профиля 1480,6 м. В процессе выполнения работ было сделано 30 измерений. Данный профиль пересекает два разрывных нарушения – Rn№3, Rn№4. В результате исследований объемной концентрации почвенного радона Rn^{222} данные разрывные нарушения отражены в количественных показателях на рисунке 8.

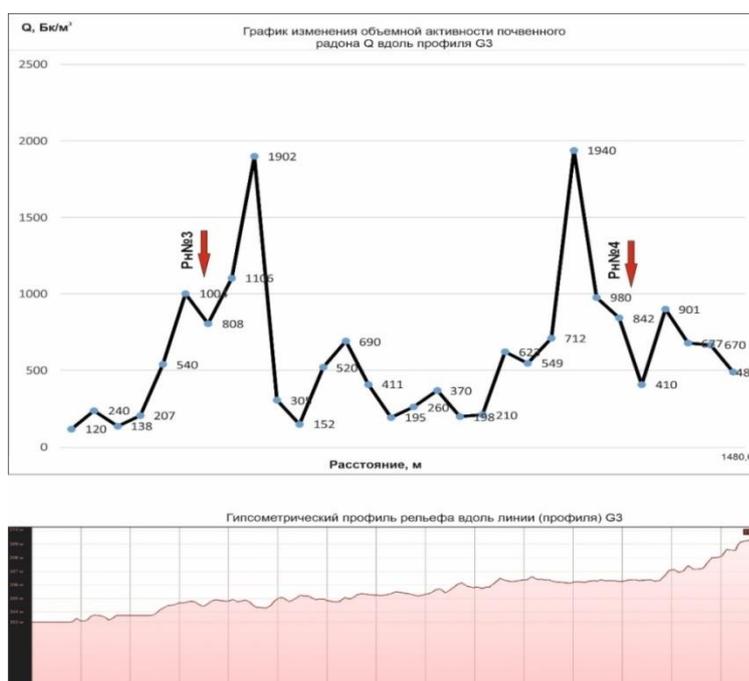


Рисунок 8. График изменения объемной активности почвенного радона Q вдоль профиля G3 и гипсометрический профиль

Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} в районе Rn№3 составило 120 Бк/м³, максимальное - 1902 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Rn№3 отмечается объемной активностью радона Rn^{222} от 540 до 1106 Бк/м³. Ширина зоны составила около 214 м. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} в районе Rn№4 составило 210 Бк/м³, максимальное - 1940 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Rn№4 отмечается объемной активностью радона Rn^{222} от 842 до 901 Бк/м³. Ширина зоны составила около 230 м. Профиль G5 имеет общее направление с северо-

запада на юго-восток. Длина профиля 192,0 м. В процессе выполнения работ было сделано 8 измерений. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} по профилю составило 229 Бк/м³, максимальное - 1290 Бк/м³. В краевой части профиля встречено разрывное нарушение - Рн№3. В результате исследований объемной концентрации почвенного радона Rn^{222} данное разрывное нарушение отражено в количественных показателях на рисунке 9. Разрывное нарушение (разлом) Рн№3 отмечается объемной активностью радона Rn^{222} от 743 до 910 Бк/м³. Ширина зоны составила около 68 м.

Результаты измерений содержания радона в почвенном воздухе по профилю G6. Профиль G6 имеет общее направление с юга на север. Длина профиля 635,3 м. В процессе выполнения работ было сделано 12 измерений. Данный профиль пересекает два разрывных нарушения – Рн№7/3, Рн№5. В результате исследований объемной концентрации почвенного радона Rn^{222} данные разрывные нарушения отражены в количественных показателях на рисунке 10. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} в районе Рн№7/3 составило 120 Бк/м³, максимальное - 1043 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Рн№7/3 отмечается объемной активностью радона Rn^{222} от 370 до 840 Бк/м³. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} в районе Рн№5 составило 218 Бк/м³, максимальное - 1309 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Рн№5 отмечается объемной активностью радона Rn^{222} от 227 до 711 Бк/м³. Ширина зоны разрывных нарушений Рн№7/3, Рн№5 составила около 297 м.



Рисунок 9. График изменения объемной активности почвенного радона Q вдоль профиля G5

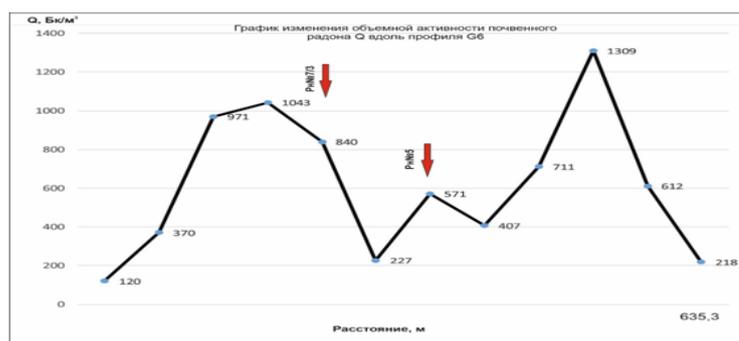


Рисунок 10. График изменения объемной активности почвенного радона Q вдоль профиля G6

Профиль G8 имеет общее направление с юга-запада на северо-восток. Длина профиля 1045,9 м. В процессе выполнения работ было сделано 23 измерения. Данный профиль пересекает два разрывных нарушения – Рн№7/3, Рн№5. В результате исследований объемной концентрации почвенного радона Rn^{222} данные разрывные нарушения отражены в количественных показателях на рисунке 11. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn^{222} в районе Рн№7/3 составило 200 Бк/м³,

максимальное - 1799 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Рн№7/3 отмечается объемной активностью радона Rn²²² от 489 до 587 Бк/м³. Минимальное значение концентрации почвенного радона Rn²²² в районе Рн№5 составило 401 Бк/м³, максимальное - 1459 Бк/м³. Разрывное нарушение (разлом) Рн№5 отмечается объемной активностью радона Rn²²² от 790 до 1200 Бк/м³. Ширина зоны разрывных нарушений Рн№7/3, Рн№5 составила около 766 м.

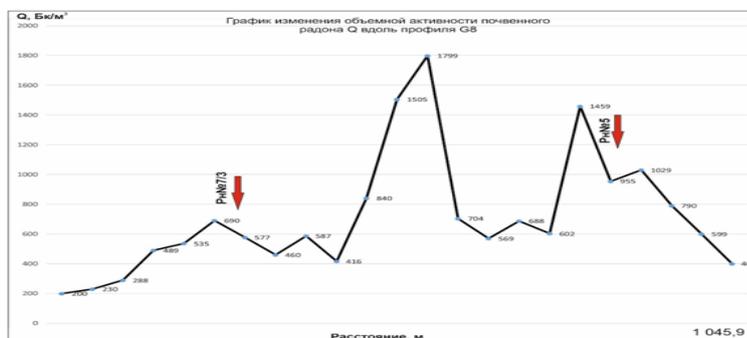


Рисунок 11. График изменения объемной активности почвенного радона Q вдоль профиля G8

В результате геологических маршрутов и анализа ДЗЗ был составлен каталог основных разрывных нарушений, где в Таблице 2 показаны примеры такой регистрации на территории исследования с основными характеристиками, а также составлены результирующие данных азимута простирания, азимута падения и угла падения. Основное азимутальное направление разрывных нарушений – северо-западное. Большая часть разрывных нарушений имеет крутой вертикальный угол наклона смесителя, азимуты падения в основном имеют юго-восточное простирание.

Таблица 2. Характеристика разрывных нарушений в пределах участка исследований

№	Наименование	Протяженность км	Тип	Параметры			Классификация по углу наклона смесителя
				Азимут простирания	Азимут падения	Угол падения	
1	Рн №1	6355.19	сдвиг	315	135	70	крутой
6	Рн № 5	9991.42	сдвиг	290	82	80	крутой
11	Рн №7/3	1690.31	сдвиг	210	86	71	крутой
16	Рн № 10	9385.80	сдвиг	190	30	62	крутой
23	Рн № 17	1698.71	сдвиг	220	160	71	крутой
31	Рн № 24	3184.84	сдвиг	260	175	58	крутой
40	Рн № 33	1827.70	сдвиг	290	160	80	крутой

Следует отметить, что по данным эманационной съемки и первичного анализа материалов отчетливо прослеживается неоднородное распределение концентрации почвенного радона вдоль и поперек простирания разломных зон, и наряду с этим, фиксируется четкое трассирование разрывных нарушений. Ведущую роль в распределении концентрации радона над разломными зонами играет структурно-геодинамический фактор. Аномалии радона над разломами отличаются пространственной неоднородностью, что связано с изменчивостью в проницаемости зоны разлома. Подчеркнем, что показатель радоновой активности разлома – KQ представляет отношение

интенсивности приразломной эманационной аномалии (Q_{\max}) к минимальной величине объемной активности радона за ее пределами. Этот относительный параметр меньше, чем Q_{\max} и зависит от мощности перекрывающих осадков и радиоактивности пород у разлома, который определяется, главным образом, степенью геодинамической активности.

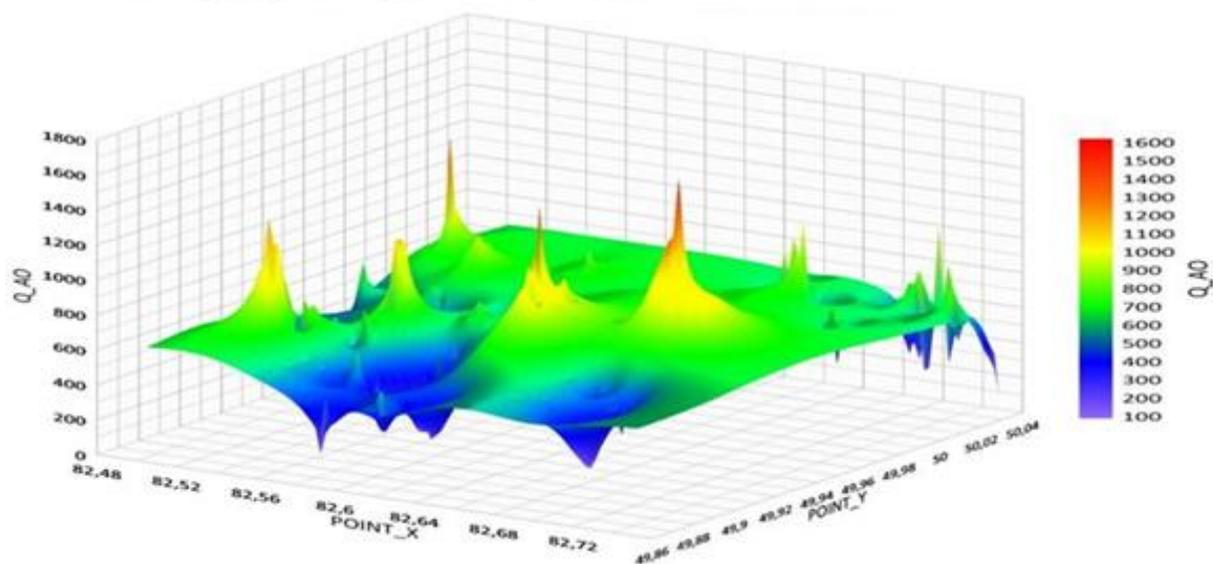


Рисунок 12. Площадное распределение объемной активности радона (Rn^{222})

Площадное распределение ОАР на территории г.Усть-Каменогорск изображен в 3D измерениях по данным статистической обработки данных 46 профилей (рис.12). Здесь мы видим, что разломная зона по протяженности представлена несколькими пико или горбообразными максимальными значениями (Q_{\max}) с постепенным снижением концентрации ОАР, переходящими в спокойные «мертвые» отрезки, что характеризуют неактивные участки разлома. Можно предположить, что современная активность разломов по показаниям радонового индикатора не однородна по простиранию, т.к. имеет место наличие неактивных (пассивных) отрезков разломов в современную эпоху, которые могут по протяженности растянуться на несколько сотен м. или км. Эта ситуация чрезвычайно важна при сейсмическом микрорайонировании территории города.

Заключение

В пределах Иртышской зоны смятия впервые проведены геохимические полевые исследования с целью уточнения положения разрывных нарушений и их активности с помощью профильных измерений объемной активности почвенного радона Rn^{222} .

В результате выполненного геохимического зондирования в районе г.Усть-Каменогорск выявлены разломные зоны, которые характеризуют современную тектоническую активность на изучаемой территории и позволяет трассировать погребенные разломы.

На геохимических профилях аномальные зоны повышенной эксхалации радона отличаются от фоновых значений радона на местности превышением концентрации ОАР в 3–4 раза. Такие аномальные зоны показывают о существовании в районе г.Усть-Каменогорск активных в современную эпоху тектонических разломов, как в целом, так и их отдельные фрагменты.

Полученная при эманационной съемке томография радоновых эманаций на территории г.Усть-Каменогорск показывает, что разломные зоны по простиранию отмечаются горбообразными экстремальными значениями, которые в отдельных отрезках «проваливаются» на значительные расстояния, характеризуя вероятно «мертвые», т.е.

неактивные участки этих разломов или разломных зон.

Эти факты указывают, что разломные зоны, отмеченные радоновыми аномалиями, по-видимому, характеризуются высокой степенью раздробленности отдельных участков, где происходит существенная конвекция радиоактивных газов из этих зон в приземную атмосферу.

Литература

1. Хорева Б.Я. «Геологическое строение, интрузивный магматизм и метаморфизм Иртышской зоны смятия», ВСЕГЕИ, 1963 г., 207 с.
2. Геология СССР, т. ХLI Восточный Казахстан, «Недра», Москва 1967 г.
3. ТОО «СОЛО ЛТД» Методика измерения объемной активности радона (Rn^{222}) в различных средах. Алматы. - 2010 г.
4. Козлова И.А., Юрков А.К., Бирюлин С.В. Вариации объемной активности радона при техногенных и тектонических сейсмических событиях. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2022 г., № 5., ч.1., с.119-130
5. Абаканов Т.Д., Ли А.Н., Садыкова А.Б., Методология разработки карт сейсмического районирования сейсмоопасных территорий Казахстана, Алматы, 2013, 127 с.
6. Абдуллаев А.У., Лагутин Г.Е., Жунисбеков Т.С., Сулова Т.П. и др. Первые результаты геохимического зондирования тектонических разломов на основе профильных измерений объемной активности почвенного радона на территории Алматинского мегаполиса. Известия НАН РК, серия геологических и технических наук №5, 2016г., с.79-91.
7. Абдуллаев А.У., Остапенко В.Ф. Отражение геодинамических процессов в вариациях объемной концентрации радона во флюидных системах Северного Тянь-Шаня. /Уральский геофизический вестник. -№ 8. -2005. -с.5-8.
8. Абдуллаев А.У. Геохимические индикаторы межгеосферных взаимодействий «Земная кора-атмосфера» в сейсмоактивных областях. /Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии. Алматы. -2010 г. - с.130-136.
9. Рудаков В.П. Мониторинг напряженно-деформированного состояния пород сейсмоактивного района эманационным методом. /Геохимия. -1986 г. -№ 9. -с.1337-1342.
10. Фирсов П.П., Макаров Е.О.. Динамика почвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. Петропавловск-Камчатский, 2018 г., с.145.
11. Яковлева В.С., Каратаев В.Д. Плотность потока радона с поверхности земли как возможный индикатор измерений напряженно-деформированного состояния геологической среды. /Вулканология и сейсмология. -2007 г. -№ 1. -с.74-77.

**Данабаева А. Т., Абдрахматов К. Е., Силачева Н.В.,
Сыдыков А., Нурмагамбетов А.**

ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК
пр.Аль- Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан
Телефон 8(727) 269-46-05, 87778269791, E-mail: danabaeva_aa@mail.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «OPENQUAKEENGINE» ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ (ВОСО) ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. Разработаны карты ВОСО территории Жонгаро-Балхашского региона в баллах шкалы MSK-64(К) с вероятностью превышения 10% за 50 лет (период повторяемости сейсмических сотрясений 475 лет) и -2% за 50 лет (период повторяемости сейсмических сотрясений 2475 лет). Использовано программное обеспечение OpenQuakeEngine, включающего модель затухания для случая расчетов макросейсмической интенсивности IPE (IntencityPredictionEquation) Bindi EtAl2011Rerидля Центральной Азии. Эта модель была адаптирована для территории Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратау Таласского регионов с использованием разработанной ранее для этого региона модели затухания интенсивности сотрясений с расстоянием. Показано, что адаптированная модель дает более детальную характеристику вероятностного поля интенсивности

сотрясений, чем при использовании параметров, рекомендованных в программе OpenQuakeEngine.

Summary. Maps of the probabilistic assessment of the seismic hazard of the territory of the Zhongaro-Balkhash region were developed in points of the MSK-64 (K) scale with a probability of exceeding 10% in 50 years (recurrence period of seismic shaking is 475 years) and -2% in 50 years (recurrence period of seismic shaking is 2475 years). The OpenQuakeEngine software was used, which includes the attenuation model for the case of calculations of macroseismic intensity IPE (Intensity Prediction Equation) Bindi EtAl2011Repi for Central Asia. This model was adapted for the territory of the Zhongaro-North Tien Shan and Karatau Talas regions using the model of attenuation of shaking intensity with distance developed earlier for this region. It is shown that the adapted model provides a more detailed description of the probabilistic field of shaking intensity than when using the parameters recommended in the OpenQuakeEngine program.

При разработке карт ВОСО Жонгаро-Балхашского региона был использован каталог CASHA «Представительный каталог землетрясений», выпущенный в начале 2022 г. в рамках проекта «Оценка сейсмической опасности в Центральной Азии» CASHA [1]. Для оценки сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы MSK-64 (K) необходим каталог землетрясений, величина которых классифицированы по магнитуде M_s . Переход от Кили от других систем шкал (mb, MPVA, M_w) к M_s осуществлен по соотношениям (1).

$$\begin{aligned} M_s &= 0.47K - 1.15 \\ M_s &= 1.34mb - 1.89 \\ M_s &= 1.14MPVA - 1.45 \\ M_s &= 1.37M_w - 2.28. \end{aligned} \quad (1)$$

В каталоге отсутствуют землетрясения с магнитудами ниже минимально представительной. Таким образом, для ВОСО Жонгаро-Балхашского региона подготовлен каталог, включающий землетрясения в границах региона и ее 300-километровой буферной зоне. На рисунке 1 показана зависимость магнитуды зарегистрированных землетрясений от времени. Видно, что количество землетрясений увеличивается с 1951 г., что связано с открытием новых сейсмических станций. Путем статистического анализа каталога по представительности землетрясений, весь период наблюдений был разделен на пять временных отрезков, в пределах которых диапазон магнитуд зарегистрированных землетрясений примерно постоянен. Каждый отрезок времени характеризуется своим минимальным уровнем магнитуд, начиная с которого землетрясения регистрируются без пропуска, т. е. каталог является полным или представительным. Если величина представительной магнитуды выбрана правильно, то график повторяемости землетрясений по M_s или соотношение Гутенберга-Рихтера (Gutenberg and Richter, 1941) имеет прямолинейный характер. Значение магнитуды, с которого график повторяемости становится прямым является представительной магнитудой M_s .

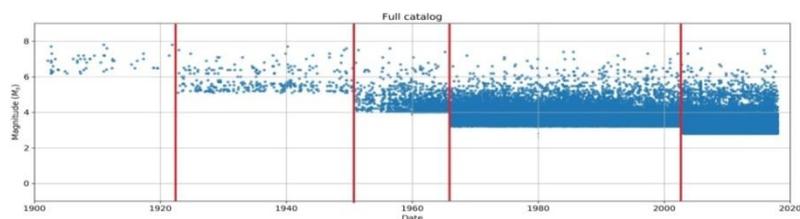


Рисунок 1 - Временные периоды (разделены линиями) с разными минимальными значениями M_s для территории Жонгаро-Балхашского региона и буферной зоны

Для окончательной оценки значения представительной магнитуды (M_{pr}) для каждого периода времени составлены графики повторяемости землетрясений по M_s (рисунок 2). Видно, что все графики прямолинейны за исключением графика, построенного для периода времени 1902-1922 гг, что связано с непредставительностью

землетрясений с $M_s \geq 5,0$ для этого периода времени. Поэтому $M_{пр}$ для него была принята равной 6,2.

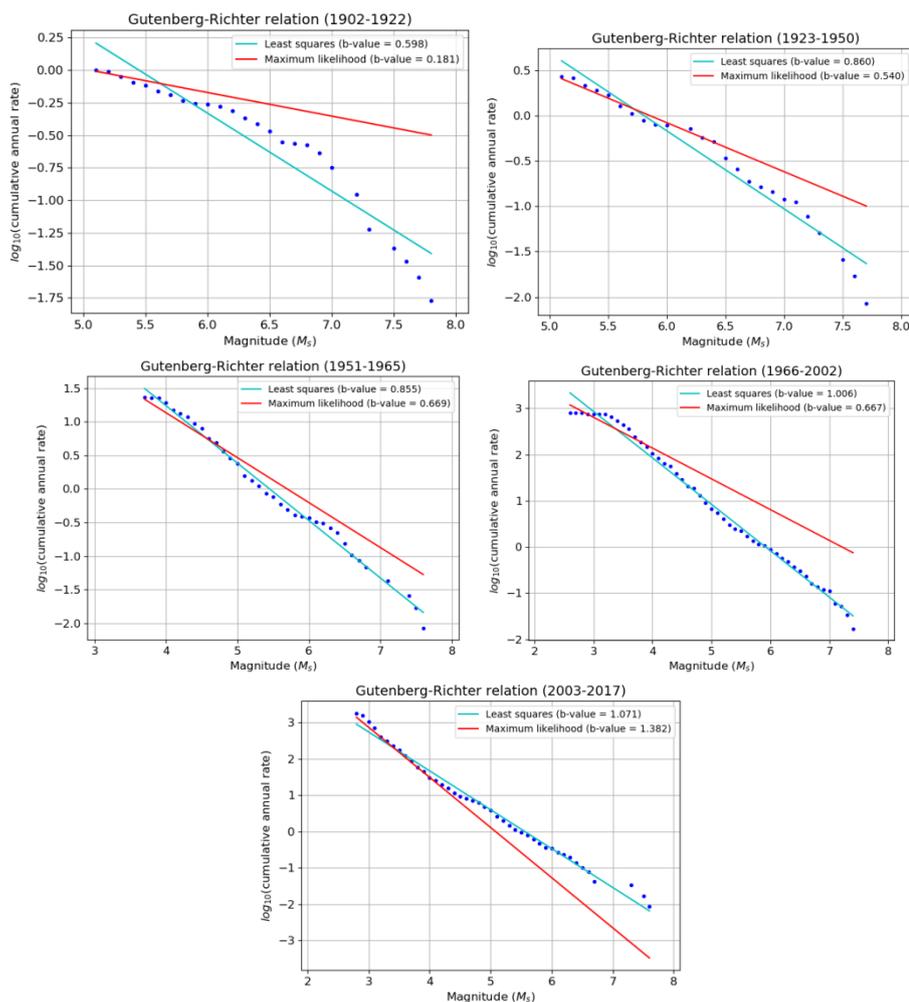


Рисунок 2 - Графики повторяемости землетрясений для 5-ти периодов времени

Наилучшая аппроксимация наблюдаемых данных прямой линией получена по методу наименьших квадратов. Использование для этой цели метода максимального правдоподобия дало худший результат. Полученные из данных рисунка 2 значения $M_{пр}$ за различные периоды времени даны в таблице 1.

Таблица 1- Значения $M_{пр}$ за разные периоды времени

Период времени	$M_{пр}$	Период наблюдения
1902-1922	$M_s \geq 6.2$	116 (1902-2017)
1923-1950	$M_s \geq 5.2$	95 (1923-2017)
1951-1965	$M_s \geq 4.0$	67 (1951-2017)
1966-2002	$M_s \geq 3.2$	52 (1966-2017)
2003-2017	$M_s \geq 2.8$	15 (2003-2017)

На рисунке 3, который получен путем совместного использования графиков повторяемости за пять отрезков времени, показано отношение Гутенберга-Рихтера для полного каталога (1902-2017 гг.). Видна почти идеальная линейная связь между магнитудой M_s и кумулятивной годовой частотой землетрясений, как по методу наименьших квадратов, так и по методу максимального правдоподобия. Значение угла наклона графика повторяемости (коэффициент в соотношении Гутенберга-Рихтера) близок к единице, что соответствует типичным значениям этого параметра. Таким образом, полученный представительный (полный) каталог землетрясений можно использовать для расчета ВОСО

рассматриваемого региона в баллах макросейсмической шкалы MSK-64 (К).

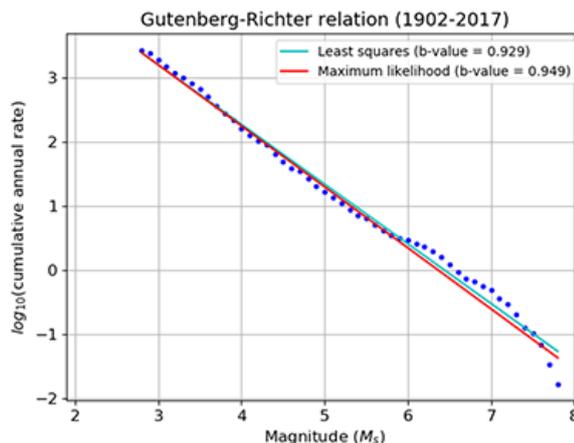


Рисунок 3 - Зависимость Гуттенберга-Рихтера для представительного каталога

При проведении ВОСО на территории Жонгаро-Балхашского региона и ее 300-километровой буферной зоны применялась методика гибридного подхода - использовалась не только модель площадных источников, но учитывались и линейные источники (активные разломы). Гибридный подход включает модели активных разломов и площадных источников, которые входят в схему расчета с использованием «логического дерева». Это позволило более реально представить картину сейсмичности и учесть изменчивость, связанную с различными методами моделирования.

При составлении *площадных сейсмических источников* использованы карты сейсмогенерирующих зон Казахстана [2], активных разломов (БДАР_АО)[2], рельефа местности (GoogleTerrain) и каталог землетрясений CASHA-BU[1] в границах Жонгаро-Балхашского региона и буферной зоны. Границы площадных источников с распределением сейсмичности показаны на рисунке 4. Построено 56 площадных зон в виде полигональных фигур на основе ГИС-технологий. Когда внутри площадных зон нет разломов, то величина M_{max} определяется по параметрам сейсмичности площадного источника.

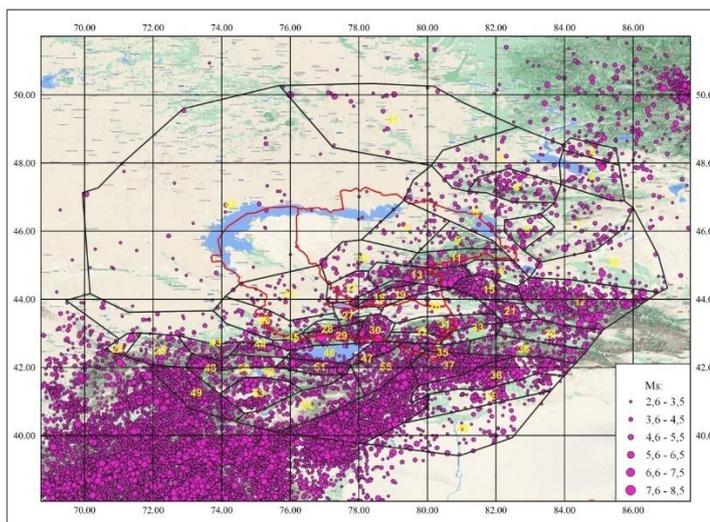


Рисунок 4– Распределение площадных сейсмических источников на территории Жонгаро-Балхашского региона и его буферной зоны по материалам [1, 2] (БДАР_АО), (GoogleTerrain), CASHA-BU

Если внутри площадной зоны находится активный разлом, то учитывается наибольшая магнитуда M_s землетрясения, произошедшего на этом разломе или вблизи

него. Крупные площадные источники выделяются там, где сейсмичность незначительна и нет тектонических или геологических особенностей. Основными параметрами площадных сейсмических источников, используемых в анализе опасности, являются их геометрия, тип тектоники, минимальная и максимальная (теоретическая) магнитуда, мощность сейсмоактивного слоя, кинематические параметры для преобладающего типа землетрясений, параметры магнитудно-частотного распределения (графика повторяемости).

На территории Жонгаро-Балхашского региона 54 зоны отнесены к типу, где происходят активные коровые деформации, а две – к стабильным. Минимальная магнитуда $M_{спри}$ ВОСО обычно принимается равной 4.0. Максимальная магнитуда зависит от потенциалов сейсмогенерирующих зон [2] и зон ВОЗ, полученных путем интегрированного анализа сейсмических и геолого-геофизических данных, а также магнитуды наблюдаемых землетрясений. При гибридном подходе внутри площадного источника моделируются разломы. В этом случае площадные источники представляют вклад землетрясений меньшей магнитуды, величина которой в нашем расчете ограничена значением $M_s \leq 6.0$.

Кинематические параметры нодальных плоскостей очага землетрясений (падение, простирание, наклон) оцениваются по механизмам очагов землетрясений в пределах зоны. Преобладающие механизмы очагов в зоне и их характеристики взяты из данных [3, 4], а также из материалов Проекта «Global Centroid Moment Tensor» (GCMT), которой включают данные Гарвардского университета (HRVD) и Международного сейсмологического центра (ISC). Эти данные приведены в таблице 2.

Для оценки параметров сейсмического режима для всех 56 площадных источников были построены графики повторяемости землетрясений. Здесь необходимо отметить, что в программе OpenQuakeEngine скриптиспользуется криволинейная (с загибом вниз в области M_{max}) форма графика повторяемости. В этом случае суммарное (кумулятивное) число землетрясений с магнитудами $M \geq M_i$ определяется по формуле (2):

$$N = e^{\alpha - \beta M_{min}} \times \frac{(e^{-\beta(M_w - M_{min})} - e^{-\beta(M_{max} - M_{min})})}{1 - e^{-\beta(M_{max} - M_{min})}} \quad (2)$$

где e – натуральное число; $\beta = b \ln 10$, β – параметр распределения Гумбеля; b – угол наклона графика повторяемости землетрясений по величине M ; M_{max} и M_{min} – максимальная и минимальная магнитуды; M_w – моментная магнитуда; $N(M)$ – ежегодное количество землетрясений больше представительной магнитуды.

Очень важным является предположение о линейности графика повторяемости, которое широко обсуждается в литературе [5, 6, 7]. Как показано в [8, 6] в пределах крупных сейсмоактивных регионов Северной Евразии землетрясения с $M \geq 6,5$ имеют более высокую повторяемость, чем следовало бы из традиционной линейной интерполяции левой части графиков вправо. Реальная частота возникновения крупных землетрясений в 3 и более раз выше, чем считалось прежде. В связи с этим уместно отметить факт плохого согласия повторяемости сильнейших землетрясений, имевших место на Северном Тянь-Шане, с более слабыми [9, 10, 11]. В этой ситуации использование криволинейных графиков повторяемости землетрясений с загибом вниз в области больших магнитуд приведет к занижению уровня сейсмического риска. Поэтому в настоящей работе при расчетах ВОСО использовались как криволинейные с загибом вниз в области больших землетрясений, которые предлагаются методами OpenQuakeEngine, так и прямолинейные формы графиков повторяемости. В последнем случае величина N определяется по формуле (3):

$$N = e^{\alpha - \beta M_{min}} \times e^{-\beta(M_w - M_{min})} \quad (3)$$

На рисунке 5 представлены графики повторяемости двух видов, на примере трех зон: Северно-Жонгарской (зона 11), Жонгарской (зона 13) и Боро-Хоринской (зона 15). На

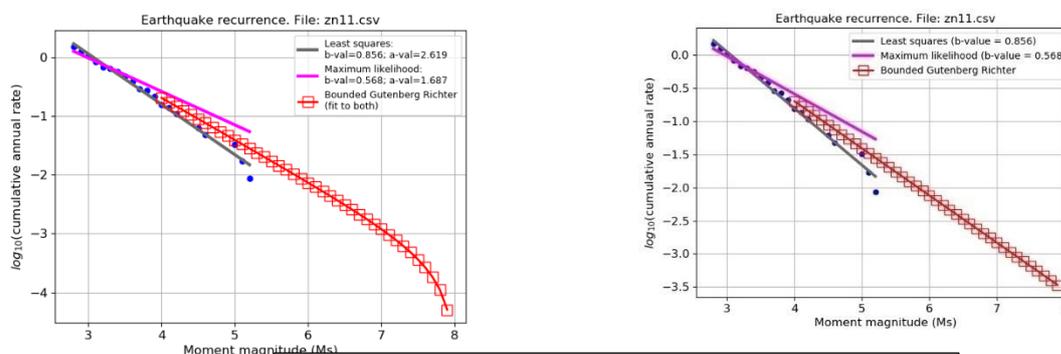
левых панелях рисунка приведены графики повторяемости, рассчитанные по формуле (2), а на правых панелях – по формуле (3). Определение параметров сейсмического режима α , β и N проводится как по методу наименьших квадратов, так и по методу максимального правдоподобия. Окончательные их значения оцениваются как среднее между двумя определениями. Как видно из рисунка 5 для Жонгарской и Боро-Хоринской зон оба метода дают сопоставимые оценки, тогда как для Северо-Жонгарской зоны они существенно разнятся, что возможно связано нехваткой первичных данных для этой зоны.

Красные квадраты-зависимость Гутенберга-Рихтера; серый цвет – линейная аппроксимация по методу наименьших квадратов; розовый цвет – линейная аппроксимация по методу максимального правдоподобия. Синие точки – наблюдаемые значения годового суммарного числа землетрясений с $M \geq M_i$. Кроме того необходимо отметить, что расчетные значения повторяемости землетрясений, определенные по прямолинейному графику, значительно выше (от 0,5 до 1 порядка), чем – по криволинейному графику. Таким образом, использование при ВОСО криволинейного графика приводит к занижению уровня сейсмического риска. Полученные значения параметров сейсмического режима, которые в дальнейшем используются для расчета ВОСО приводятся в таблице 2.

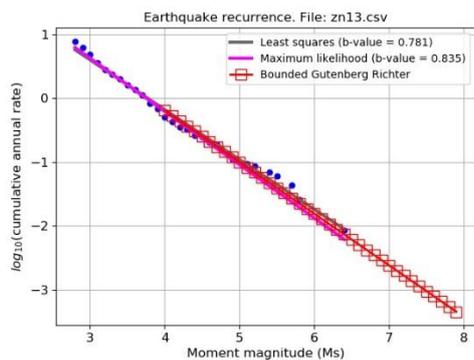
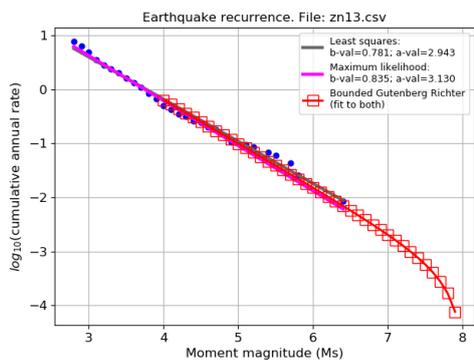
Модель линейных источников. Для расчетов линейных источников использована база данных активных разломов Алматинской области (БДАР_АО) [материалы сотрудников Института сейсмологии - Степаненко Н.П и Куриловой О.]. Прямое моделирование активных разломов на территории Казахстана значительно осложняется недостаточной изученностью характеристик большинства разломов и, как следствие, отсутствием требуемых входных параметров (например, кинематических параметров очага и скоростей скольжения по разлому). Линейными источниками модели являются активные разломы, в пределах которых возможны землетрясения от умеренных до сильных. При анализе сейсмической опасности с использованием гибридной модели сейсмических очагов, активные разломы рассматривались для землетрясений, начиная с магнитуды от $M_s \geq 6.0$.

При разработке карт ВОСО по модели Bindi Et Al 2011 Repi, предназначенной для Центральной Азии, расчет ведется в баллах макросейсмической шкалы MSK-64(K). Для построения моделей предсказания интенсивности IPE (Intensity Prediction Equation) были использованы данные по 66 сильным землетрясениям Центральной Азии, охватывающих диапазон магнитуд по поверхностным волнам от 4.6 до 8.3. Большинство IPE, разработанных по всему миру, используют либо эпицентральное расстояние R_{epi} , либо минимальное расстояние от разрыва R_{rup} , либо меру Джойнера-Бура R_{JB} – расстояние от источника до точки наблюдения [12, 13]. В модели Bindi Et Al 2011 Repi применена IPE с учетом эпицентрального расстояния R_{epi} , и используется уравнение [14]:

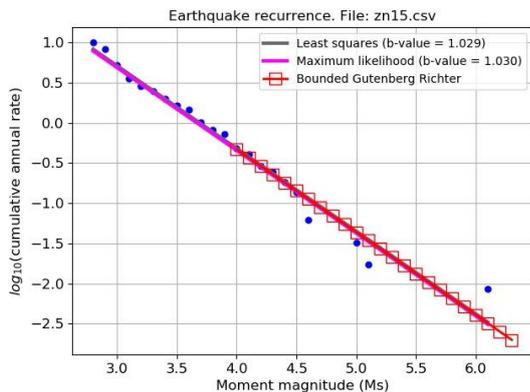
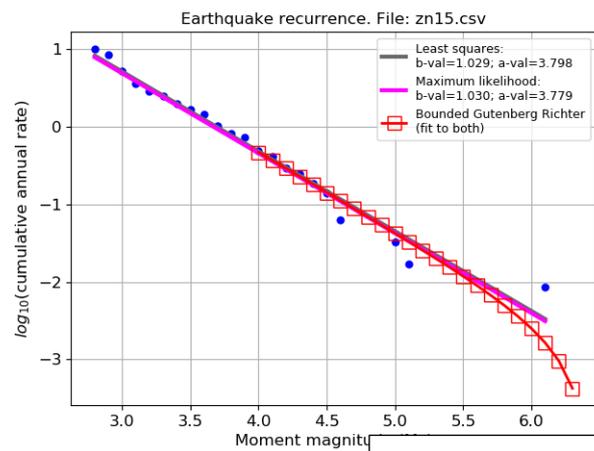
$$I = a_1 M + a_2 - a_3 \log_{10} \sqrt{\frac{R_{epi}^2 + h^2}{h^2}} - a_4 \left(\sqrt{R_{epi}^2 + h^2} - h \right), \quad (4)$$



Северо-Жонгарская зона (11)



Жонгарская зона (13)



Боро-Хоринская зона (15)

Рисунок 5 - Криволинейные и прямолинейные графики повторяемости.

Таблица 2 - Основные параметры площадных сейсмических источников для ВОСО в баллах макросейсмической шкалы MSK-64(К)

Зона	M_{min}	M_s		b^* (за закон Г-Р)	a	Глубина, км		Механизм очага	Простира ние	Падение	Угол наклона
		M_{max}	M_{max} набл			h_{min}	h_{max}				
1	4	6.5	4.6	0.81	2.5	5	35	Сбросо-сдвиг	139	67	-172
2	4	6.0	4.1	0.71	1.9	5	42	Сдвиг	28	58	16
3	4	7.0	6.5	0.6	1.6	5	35	Сдвиг	28	67	2
4	4	6.5	5.2	0.9	2.9	5	40	Сбросо-сдвиг	139	67	-172
5	4	5.5	4.6	0.9	2.9	5	35	Сдвиг	294	84	172
6	4	5.5	5.5	0.52	1.2	5	26	Сдвиг	303	81	175
7	4	7.0	5.7	0.9	2.8	5	35	Взбросо-сдвиг	68	36	51
8	4	6.0	4.5	1.1	3.2	5	35	сдвиг	320	70	10
9	4	8.1	4.2	1.3	3.7	5	35	сдвиг	40	51	15
10	4	6.0	5.6	0.7	1.8	5	39	Взбросо-сдвиг	74	44	112
11	4	8.0	5.2	0.9	2.6	5	35	Взбросо-сдвиг	303	51	146
12	4	5.5	4.4	0.97	2.8	5	35	Взбросо-сдвиг	74	44	112
13	4	8.0	6.4	0.78	2.94	5	39	Взбросо-сдвиг	290	55	145
14	4	6.0	5.3	0.89	2.65	5	36	Взбросо-сдвиг	46	102	123
15	4	6.4	6.1	1.03	3.77	5	55	Взброс	101	44	118
16	4	6.0	6.0	0.79	1.79	5	35	Взбросо-сдвиг	68	36	51
17	4	7.5	7.2	0.7	2.98	5	35	Взбросо-сдвиг	262	39	64
18	4	6.5	4.8	0.91	2.73	5	35	Взбросо-сдвиг	290	55	145
19	4	6.0	5.1	0.96	3.12	5	35	Взбросо-сдвиг	129	21	149
20	4	6.5	5.5	0.83	2.49	5	43	Взброс	73	37	80
21	4	5.4	5.5	0.8	2.61	5	42	Взброс	73	37	80

22	4	5.5	4.2	1.34	4.01	5	35	Взбросо-сдвиг	74	44	112
23	4	6.0	5.5	0.9	2.77	5	35	Взбросо-сдвиг	74	44	112
24	4	5.7	5.6	0.61	1.36	5	31	Взброс	79	35	57
25	4	5.4	5.2	0.88	2.87	5	35	Взброс	79	35	57
26	4	6.0	5.2	1.008	3.12	5	35	Взбросо-сдвиг	74	44	112
27	4	5.0	5.1	0.94	2.76	5	35	Взбросо-сдвиг	129	21	149
28	4	7.3	4.3	1.28	3.9	5	35	Взброс	58	23	64
29	4	8.2	7.7	0.63	2.14	5	35	Взброс	29	12	25
30	4	8.3	6.8	0.76	2.79	5	40	Взбросо-сдвиг	211	65	23
31	4	7.5	5.9	0.92	3.21	5	41	Взброс	73	37	80
32	4	6.5	4.5	1.2	3.74	5	35	Взброс	73	37	80
33	4	6.5	4.3	1.06	3.18	5	35	Взброс	73	37	80
34	4	5.7	5.5	0.93	3.22	5	40	Взброс	281	14	122
35	4	6.0	5.6	0.85	2.51	5	40	Взброс/сдвиг	265/324	39/66	118/175
36	4	6.6	6.4	0.73	2.46	5	35	Взброс	249	44	75
37	4	5.7	7.0	0.9	3.49	5	40	Взброс	251	37	90
38	4	6.7	6.3	0.88	3.66	5	40	Взброс	279	29	107
39	4	7.5	5.3	0.97	3.39	5	35	Взбросо-сдвиг	39	27	129
40	4	6.3	5.2	0.89	2.99	5	40	Взбросо-сдвиг	48/132	56/46	24/128
41	4	5.8	5.8	0.61	1.55	5	35	Сдвиг	153	71	167
42	4	6.1	5.1	0.97	2.86	5	40	Взбросо-сдвиг/ Сдвиг	74/153	44/71	112/112
43	4	6.9	4.6	0.95	2.85	5	35	Взброс	79	35	57
44	4	6.4	5.1	0.87	2.92	5	25	Взброс	84	40	97
45	4	6.9	6.9	0.59	1.62	5	35	Взброс	237	38	81
46	4	5.8	4.5	1.21	3.84	5	40	Взброс	77	42	102
47	4	6.8	6.5	0.86	2.92	5	40	Взбросо-сдвиг	270	44	33
48	4	7.5	7.1	0.72	2.76	5	35	Взброс	250	31	74
49	4	7.5	5.7	1.15	4.7	5	46	Взбросо-сдвиг	268	30	114
50	4	5.0	4.9	0.96	3.04	5	35	Взброс	250	31	74
51	4	5.8	5.7	0.88	5.7	5	35	Взбросо-сдвиг	48	51	51
52	4	5.0	4.5	1.18	4.5	5	35	Взброс	79	40	107
53	4	5.9	5.9	0.88	5.9	5	40	Взброс	270	33	90
54	4	5.8	5.6	1.02	5.6	5	48	Сдвиг	220	48	13
55	4	6.7	6.1	1.05	6.1	5	35	Сдвиг/Взброс	148/288	81/41	178/180
56	4	7.6	7.6	0.92	7.6	5	48	Взброс	262	36	91

В уравнении (4): h – глубина очага землетрясения; a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты, где a_1, a_2 – определяют значение интенсивности сотрясений (J) в источнике; a_3, a_4 – описывают затухание значений J с расстоянием. В [15] приводятся несколько вариантов уравнения (1) в зависимости от вида используемых в расчетах расстояний (эпицентральных, гипоцентральных и др). При этом в расчетах по формуле (5) наиболее часто используются эпицентральные расстояния при фиксированной глубине очагов $h=15$ км. Для этого случая значения коэффициентов равны: $a_1=1,049$; $a_2=0,686$; $a_3=2,706$; $a_4=1,811 \cdot 10^{-4}$. Стандартное отклонение составляет $\sigma=0,689$.

Региональная модель затухания интенсивности сотрясений с расстоянием была создана для территории Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратау Таласского регионов [9, 10, 16, 17, 18, 19]. Для этого привлекались наиболее надежные карты изосейст (более 20) сильных ($M=4,5-6,0$) и разрушительных ($M=6,1-8,3$) землетрясений рассматриваемой территории. Использовались значения радиусов изосейст, как средние, так и вдоль и вкост основных геологических структур, как с учетом, так и без учета размера очага. Для математического описания модели использовалось уравнение (5):

$$J_1 = bM - \gamma_0 \lg \sqrt{R_{epi}^2 + h^2} + c, \quad (5)$$

$b=1,5$, γ_0 , c – коэффициенты, численные значения которых приведены в таблице 3 для всех рассмотренных нами случаев.

Таблица 3 – Значения коэффициентов γ_0 , c , для Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратау Таласского регионов

Интервал расстояний, км	Среднее без учета размера очага		Вкрест структур		Вдоль структур, без учета размера очага		Вдоль структур, с учетом размера очага		Среднее с учетом размера очага	
	γ_0	c	γ_0	c	γ_0	c	γ_0	c	γ_0	c
До 180	3,6	3,3	3,7	3,1	3,3	2,9	3,0	2,2	3,3	2,6
>180	-	-	6,65	10,0	6,6	10,9	5,6	8,1	6,4	9,7

В анализе сейсмической опасности, модели приняты со следующим весовыми коэффициентами: линейных сейсмических источников-50%, площадных сейсмических источников -50%. С помощью программного обеспечения OpenQuakeEngine с учетом площадных и линейных источников, рассмотренных выше, были получены вероятностные карты оценки сейсмической опасности Жонгаро-Балхашского региона для двух уровней вероятности 10% и 2% за 50 лет в баллах шкалы MSK-64(K), которые представлены в масштабе 1:1 000 000. Расчеты выполнены для территории включающей Жонгаро-Балхашский регион в пределах 42.0°- 48.0° с. ш. и 74.0°-83.0° в. д. по сетке с интервалом 5 км в обоих направлениях, что определяет пространственное разрешение карт. Грунтовые условия характеризуются скоростью распространения поперечных волн на глубине 30 м $V_{S30}=410$ м/с, что соответствует средним значениям II категории грунтов по сейсмическим свойствам [20]. Сначала была проанализирована зависимость конечных результатов от типа и характеристик используемых моделей сейсмического режима и затухания интенсивности сотрясений с расстоянием. Расчет БОСО был проведен для двух вариантов, в первом из которых использовалась модель BindiEtAl2011Rep сейсмического режима и затухания интенсивности сотрясений с расстоянием, рекомендованная в OpenQuakeEngine. В этом варианте принята криволинейная форма графика повторяемости - с загибом вниз в области больших землетрясений, а во втором варианте – адаптированная к местным сейсмотектоническим условиям модель затухания BindiEtAl2011Rep – прямолинейная форма графика повторяемости. Повторяемость землетрясений с очагами разных энергий (магнитуд) определялась при помощи прямолинейного графика повторяемости, а интенсивность сотрясений - региональной (местной) моделью затухания балльности, задаваемой формулой (2) со средними (с учетом размера очага) значениями коэффициентов γ_0 , c , (таблица 2). Для этого случая были определены новые значения коэффициентов в формуле (4): $a_1=1,5$; $a_2=-1,33$; $a_3=3,3$; $a_4=0,0014$.

На рисунках 6,7 приведены карты БОСО для Жонгаро-Балхашского региона и сопредельных территорий в баллах шкалы микросейсмической интенсивности сотрясений MSK-64 (K) с вероятностью превышения расчетной интенсивности 10% (средний период повторяемости сотрясений 475 лет), для первого и второго вариантов, соответственно. Для сравнения там же приведены зеленым цветом изолинии максимальной наблюдаемой интенсивности сотрясений для указанной территории за последние 150 лет. Совместный их анализ показывает, что на рисунке 7 расчетные значения БОСО существенно ниже, чем наблюдаемые, тогда как на рисунке 8 они в целом соответствует друг к другу.

Таким образом, можно утверждать, что учет адаптированных к местным сейсмотектоническим условиям входных параметров модель BindiEtAl2011Rep приводит к вполне реалистичным оценкам.

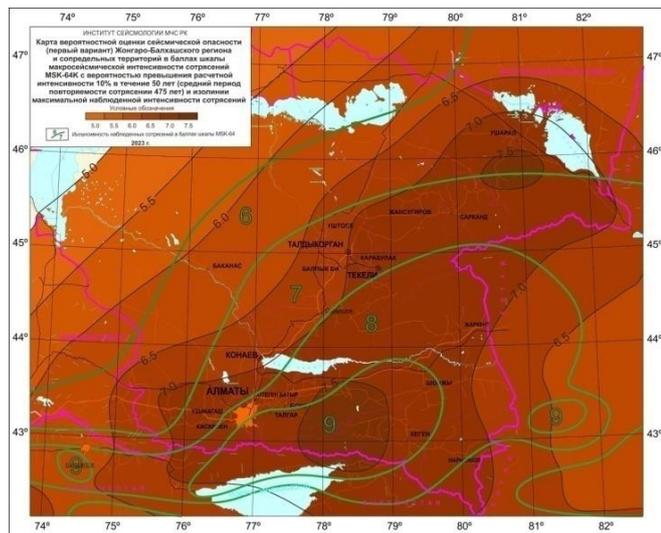


Рисунок 6 – Карта ВОСО (первый вариант) Жонгаро-Балхашского региона и сопредельных территорий в баллах шкалы макросейсмической интенсивности сотрясений MSK-64(К) с вероятностью превышения расчетной интенсивности 10% в течение 50лет (средний период повторяемости сотрясения 475 лет) и изолинии максимальной наблюдаемой интенсивности сотрясений

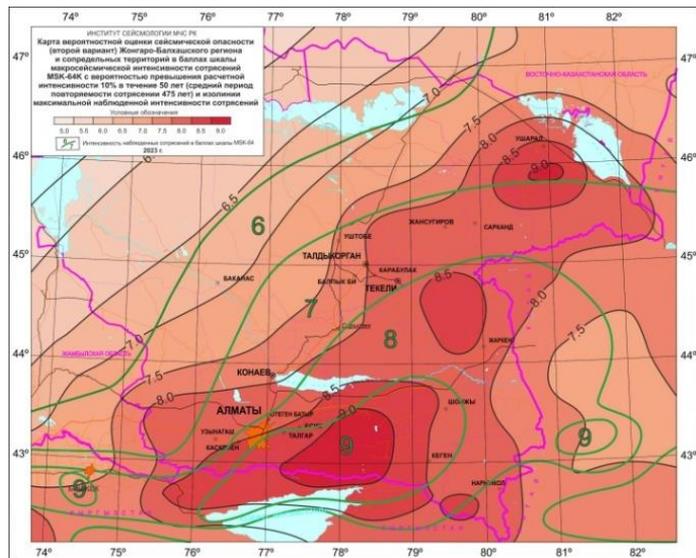


Рисунок 7 – Карта ВОСО (второй вариант) Жонгаро-Балхашского региона и сопредельных территорий в баллах шкалы макросейсмической интенсивности сотрясений MSK-64(К) с вероятностью превышения расчетной интенсивности 10% в течение 50лет (средний период повторяемости сотрясения 475 лет) и изолинии максимальной наблюдаемой интенсивности сотрясений

На рисунке 8, 9 приведены окончательные карты ВОСО для территории Жонгаро-Балхашского региона в баллах шкалы MSK-64 (К) с вероятностью превышения 10% за 50 лет (период повторяемости сейсмических сотрясений 475 лет) (рисунок 9) и -2% за 50 лет (период повторяемости сейсмических сотрясений 2475 лет) (рисунок 10). Из приведенных данных следует, что на обоих картах наблюдается плавное увеличение значений макросейсмической интенсивности (J) с юго-запада на северо-восток. При этом максимальные значения J достигаются в районе Жонгарского хребта: $J_{\max}=8,5 - 9,0$ для периода повторяемости сейсмических сотрясений 475 лет (рисунок 9) и $J_{\max}=9,5$ для периода повторяемости сейсмических сотрясений 2475 лет (рисунок 10).

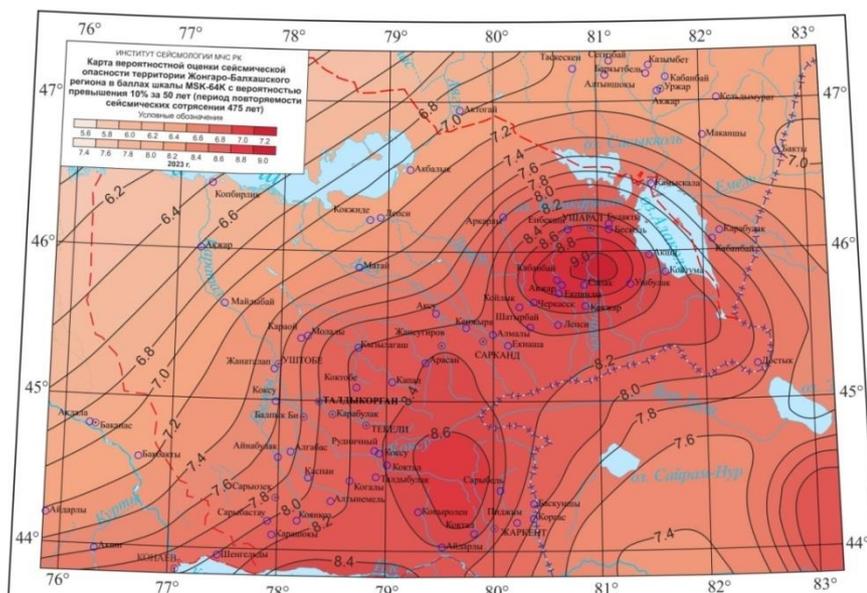


Рисунок 8 – Карта вероятностной оценки сейсмической опасности территории Жонгаро-Балхашского региона в баллах шкалы MSK-64(K) с вероятностью превышения 10% за 50лет (период повторяемости сейсмических сотрясени 475 лет)

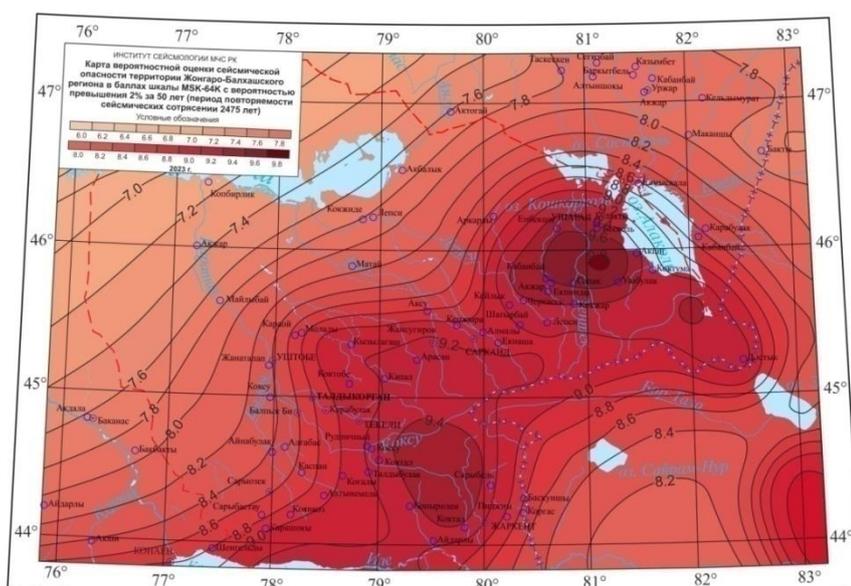


Рисунок 9 – Карта вероятностной оценки сейсмической опасности территории Жонгаро-Балхашского региона в баллах шкалы MSK-64(K) с вероятностью превышения 2% за 50лет (период повторяемости сейсмических сотрясени 2475 лет)

Выводы

Разработаны Карты ВОСО (детального сейсмического зонирования) территории Жонгаро-Балхашского региона в баллах макросейсмической шкалы MSK-64(K) с вероятностью превышения расчетной интенсивности 10% и 2% в течение 50 лет (средний период повторяемости 475 и 2475 лет соответственно) в масштабе 1:1 000 000.

Проанализирована зависимость конечных результатов расчета ВОСО от типа и характеристик используемых моделей сейсмического режима и затухания интенсивности сотрясений с расстоянием; показано, что, при разработке ВОСО, учет адаптированных к местным сеймотектоническим условиям входных параметров BindiEtAl2011Rep1 (значений интенсивности сотрясений в источнике (J) и затухания их величины с расстоянием), приводит к вполне реалистичным оценкам сейсмической опасности и дает более детальную характеристику вероятностного поля интенсивности сотрясений, чем при использовании

входных параметров, рекомендованных в программе OpenQuakeEngine.

Литература

1. Onur T., Gök R., Mackey K., Abrams K., Berezina A., Mikhailova N., Bekturganova B., Murodkulov. Sh., Bondar I., Herrera C. Central Asia Seismic Hazard Assessment (CASHA) “Complete” Catalog Of Earthquakes. 2021. LLNL-TR-828313.
2. Тимуш А. В., Тарадаева Т. В., Степаненко Н. П., Садыкова А. Б., Сыдыков А. Сейсмогенерирующие зоны земной коры Казахстана – Изв. НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2012. №5. – С.45-57
3. Михайлова Н.Н., Полешко Н. Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана// Вестник НЯЦ РК, 2005. – С.142-146.
4. Михайлова Н.Н., Полешко Н. Н. Сейсмичность и характер напряженно-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана// Вестник НЯЦ РК. 2013. Вып. 2. – С. 140-154.
5. Завьялов А. Д. Наклон графика повторяемости как предвестник сильных землетрясений на Камчатке// Прогноз землетрясений. – Душанбе: Дониш, 1984. - №5. – С. 173-184.
6. Уломов В. И. Очаговая сейсмичность и долгосрочный прогноз землетрясений // Проблемные вопросы сейсмологии Средней Азии. – Ташкент: Фан, 1988. – С. 32-87.
7. Востриков Г. А. К методике неотектонических и геодинамических исследований (Использование графиков повторяемости землетрясений при изучении геодинамики сейсмоактивных районов) // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. – М.: Наука, 1988. – С. 5-66.
8. Гусев А. А., Шумилина Л. С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования// Сейсмичность и сейсмического районирование Северной Евразии. Вып. 2-3. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – С. 9-26
9. Сыдыков А. Сейсмическое районирование территории юга и юго-востока Казахстана: автореф. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М: 1977 – 25 с.
10. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: Гылым, 2004. – 270 с.
11. Садыкова А. Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана– Алматы, 2012. – 267 с.
12. Allen, T.I. & Wald, D.J., 2009. Evaluation of ground-motion modeling techniques for use in Global ShakeMap—A critique of instrumental groundmotion prediction equations, peak ground motion to macroseismic C 2011 The Authors, GJI, 187, 327–337 Geophysical Journal International C 2011 RAS Intensity attenuation model for Central Asia 337 intensity conversions, and macroseismic intensity predictions in different tectonic settings, U.S. Geological Survey Open-File Report 2009–1047, 114pp.
13. Cua G., Wald D.J., Allen, T.I., Garcia, D., Worden, C.B., Gerstenberger, M., Lin, K. & Marano, K., 2010. ‘Best Practices’ for using macroseismic intensity and ground motion-intensity conversion equations for hazard and loss models in GEM1. GEM Technical Report 2010–4, GEM Foundation, Pavia, Italy.
14. Sørensen, M., Stromeyer, D. & Grunthal, G., 2009. Attenuation of macro- seismic intensity: a new relation for the Marmara Sea region, northwest Turkey, Bull. seism. Soc. Am., 99, 538–553.
15. D. Bindi, S. Parolai, A. Oth, K. Abdrakhmatov, A. Muraliev and J. Zschau (2011). Intensity prediction equations for Central Asia. Geophys. J. Int. (2011) 187, – p. 327-337.
16. Сыдыков А. Удельная мощность источников сейсмической энергии земной коры Казахстана // Доклады МОН РК. 2000а. – №1. – С. 74-78.
17. Сейсмическое районирование Казахстана Уразаев Б.М., Акишев Т.А., Нурмагамбетов А., Досымов А., Малинин Е.Г., Попов К.А., Розенблат М.М., Сыдыков А. Алма-Ата: Наука, 1979. 119 с.
18. Нерсесов И. Л., Нурмагамбетов А., Сыдыков А. Детальное изучение сейсмического режима Казахстана и прилегающих территорий-Алма-Ата: Наука, 1982. –160 с.
19. Сыдыков А. Макросейсмика и оценка сейсмической опасности // Геология Казахстана. 2000в. – №5-6. – С.180-186.
20. Сейсмикалық аймақтардағы құрылыс. СП РК 2.03-30-2017. – Астана 2017

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация. При реализации национальных программ по уменьшению ущерба от сильных землетрясений длительное время оценка сейсмической опасности территории Узбекистана проводилась в рамках вероятностно-детерминистического подхода, основанного на теории макросейсмической и спектрально-временной сотрясаемости, Ю.В. Ризниченко. Данный подход не учитывает алеаторные неопределенности в уравнениях движения грунта, в результате чего сейсмическая опасность недооценивается. В настоящее время оценка сейсмической опасности территории Узбекистана проведена в рамках вероятностного подхода Cornell с использованием программного комплекса CRISIS-R. В статье обсуждаются методика и результаты вероятностного анализа сейсмической опасности территории Узбекистана.

Abstract. When implementing national programs to reduce damage from strong earthquakes for a long time, the assessment of the seismic hazard of the Uzbekistan's territory was carried out within the framework of a probabilistic deterministic approach based on the theory of macroseismic and spectral-temporal shaking, Yu.V. Riznichenko. This approach does not take into account aleatory uncertainties in the equations of soil motion, as a result of which the seismic hazard is underestimated. Currently, the assessment of the seismic hazard of the Uzbekistan's territory has been carried out within the framework of the Cornell probabilistic approach using the CRISIS-R software package. The article discusses the methodology and results of the probabilistic analysis of the seismic hazard of the Uzbekistan's territory.

Введение. За последние 30 лет сейсмическое районирование территории Узбекистана проводилось как в рамках национальных программ по уменьшению последствий сильных землетрясений, так и в рамках крупных международных проектов по оценке сейсмической опасности Центральной Азии. При реализации национальных программ оценка сейсмической опасности территории Узбекистана, как и в ряде других стран постсоветского пространства, длительное время осуществлялась с использованием так называемого вероятностно-детерминистического подхода, основанного на теории макросейсмической и спектрально-временной сотрясаемости Ю.В. Ризниченко [1]. Карта сейсмического районирования в баллах макросейсмической шкалы для вероятности $P=0.98$ не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет (период повторяемости сейсмических воздействий 2500 лет) [2], построенная в рамках данного подхода, в 2019 году была утверждена Министерством Строительства РУз в качестве нормативной для проведения антисейсмических мероприятий на территории Республики. При реализации практически всех международных проектов (не считая проект GSHAP, 1999 г.) оценка сейсмической опасности проводилась в рамках классического вероятностного анализа сейсмической опасности (BACO) Cornell [3]. Детальный сопоставительный анализ подхода Ю.В. Ризниченко с классическим вероятностным подходом к оценке сейсмической опасности проведен во множестве исследований (см., например, [4], [5] и др.). Оба подхода примерно в равной степени позволяют учитывать эпистемические неопределенности в параметрах моделей сейсмических источников и сейсмических воздействий. Эффективным инструментом такого учета является построение логического дерева. Вместе с тем, в упомянутых выше работах отмечается, что в рамках подхода Ю.В. Ризниченко не учитывается алеаторная изменчивость в уравнениях движения грунта, в результате чего сейсмическая опасность недооценивается. В [5] показано, что различия в оценках опасности для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана при применении упомянутых подходов следующие: для вероятности $P=0.90$ не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет $\Delta I=0.39$ балла, для вероятности $P=0.95$ - $\Delta I=0.54$ балла, для вероятности $P=0.98$ - $\Delta I=0.61$

балла и для вероятности $P=0.99$ - $\Delta I=0.76$ баллов. Аналогичное сопоставление оценок сейсмической опасности в значениях величин максимальных ускорений колебаний грунта дает следующие цифры: при $P=0.90$ $\Delta a_{\max}=75$ см/с²; при $P=0.95$ - $\Delta a_{\max}=111$ см/с²; при $P=0.98$ - $\Delta a_{\max}=167$ см/с²; при $P=0.99$ - $\Delta a_{\max}=273$ см/с². В данной статье в краткой форме излагаются применявшаяся методика и результаты ВАСО для территории Узбекистана, полученные с использованием программного комплекса CRISIS-R [6].

Используемые сейсмологические данные и сеймотектоническая основа. Информационной базой при изучении сейсмичности исследуемой территории являлся каталог землетрясений Узбекистана и прилегающих к нему областей, составленный в Институте сейсмологии АН РУз. Каталог включает в себя параметры исторических и инструментальных землетрясений. В качестве основной характеристики для классификации землетрясений по величине, в региональном каталоге длительное время (до 2003 года) использовался энергетический класс землетрясений K [7]. В настоящее время в региональном каталоге используется магнитуда mb . Данные о сейсмических событиях, произошедших в прилегающих к Узбекистану территориях, были заимствованы из каталога землетрясений Центральной Азии ЕМСА [8]. Для оценки сейсмической опасности в значениях макросейсмической интенсивности осуществлялся переход к магнитуде M_S , поскольку как используемая в данном исследовании зависимость Н.В.Шебалина [9] затухания макросейсмической балльности с расстоянием, основанная на макросейсмических данных из различных сейсмоактивных регионов земного шара, так и ряд авторских зависимостей затухания [10], использованных при расчете опасности, получены для данного типа магнитуды. Наконец, для нахождения оценок сейсмической опасности территории Узбекистана в инженерных характеристиках сейсмических воздействий осуществлялся переход к магнитуде M_W , поскольку все современные уравнения движения грунта (GMPE), как правило, используют моментную магнитуду. Переход от энергетического класса K к различным типам магнитуд, используемым в данном исследовании, проводился по зависимостям Мукамбаева А.С. и Михайловой Н.Н [11] для территории Центральной Азии.

При оценке представительности землетрясений различного энергетического уровня базисом послужили исследования [12], в которых на основе данных о географическом положении сейсмических станций, функционировавших в различные годы на территории Узбекистана и в сопредельных областях, и увеличении сейсмических приборов на каждой них, построена серия карт изолиний нижнего энергетического порога представительных землетрясений на каждом участке исследуемой территории. Декластеризация каталога проводилась с использованием пространственно-временных окон различных для землетрясений различного энергетического уровня. Размеры этих окон заимствованы из работы [13]. В качестве моделей сейсмических источников рассматривались источники трех типов: активные разломы земной коры, сейсмогенерирующие зоны (буферные зоны активных разломов) и площадные источники (рисунок (1)). На основе сейсмологических и сеймотектонических данных на территории Узбекистана выделено порядка 30 сейсмогенерирующих зон с сейсмическим потенциалом $M_{\max} \geq 5.5$ [14] и более десяти крупных сейсмологических провинций (мегазон), которые, в свою очередь, исходя из плотности распределения эпицентров, были поделены на подзоны - участки с различной сейсмической активностью [2]. Оценка параметров повторяемости землетрясений каждого сейсмического источника проводилась различными способами. Для выделенных квазиоднородных сейсмологических провинций и сейсмогенерирующих зон, где статистика сейсмических событий достаточно велика, параметры a и b в зависимости Гутенберга–Рихтера находились непосредственно из графиков повторяемости землетрясений. Для сейсмогенерирующих зон, где число сейсмических событий не столь большое, принималось региональное значение угла наклона графика повторяемости (параметр b), а сейсмическая активность (параметр a) при заданном значении угла

наклона графика повторяемости, рассчитывалась по выборке землетрясений, попадающих непосредственно в пределы сейсмического источника. Расчет параметров повторяемости землетрясений проводился отдельно по сильным ($M \geq 5.0$) и умеренным ($3.0 \leq M \leq 5.0$) землетрясениям. Комбинирование таких оценок осуществлялось впоследствии путем построения логического дерева. Сейсмический потенциал сейсмогенных зон оценивался комплексом сейсмологических и сеймотектонических методов [14, 2]. Расчет сейсмической опасности проводился по наибольшему значению при сейсмологическом и сеймотектоническом определении величины M_{max} .

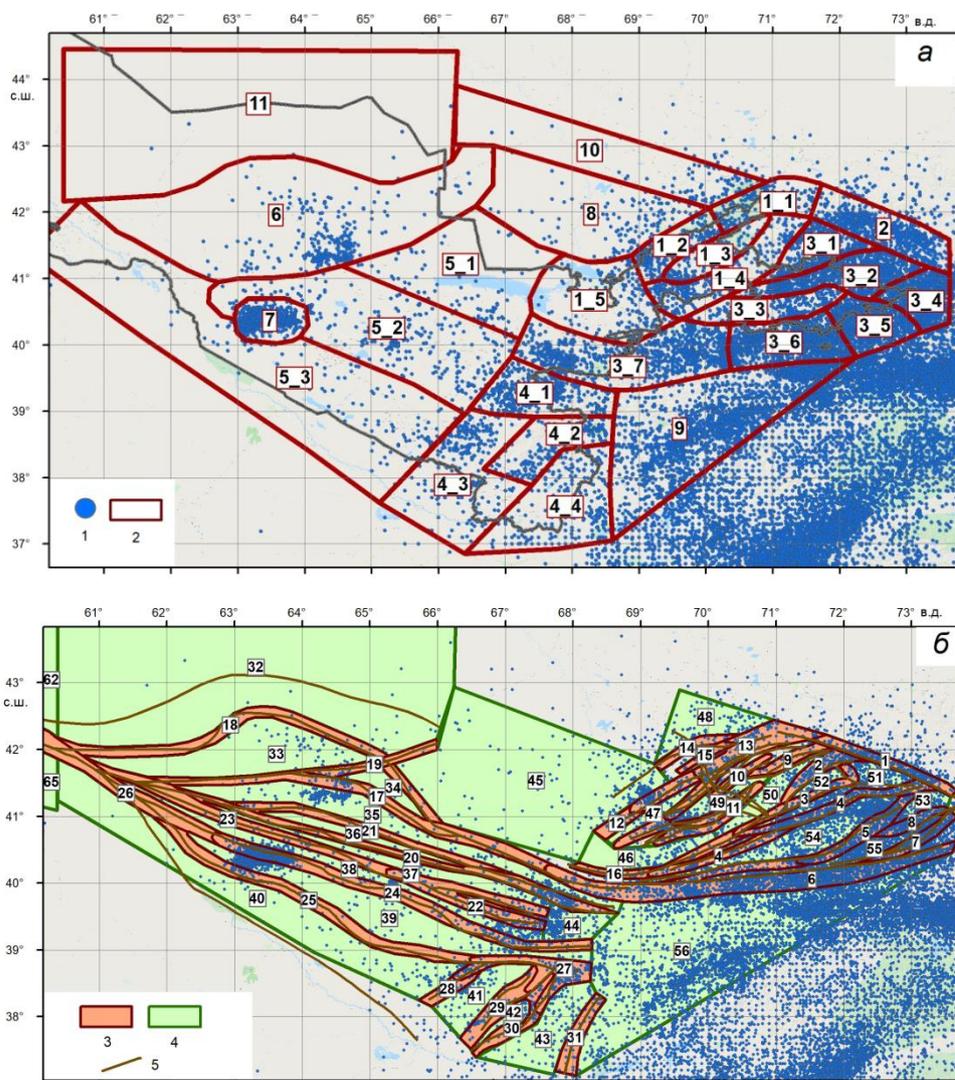


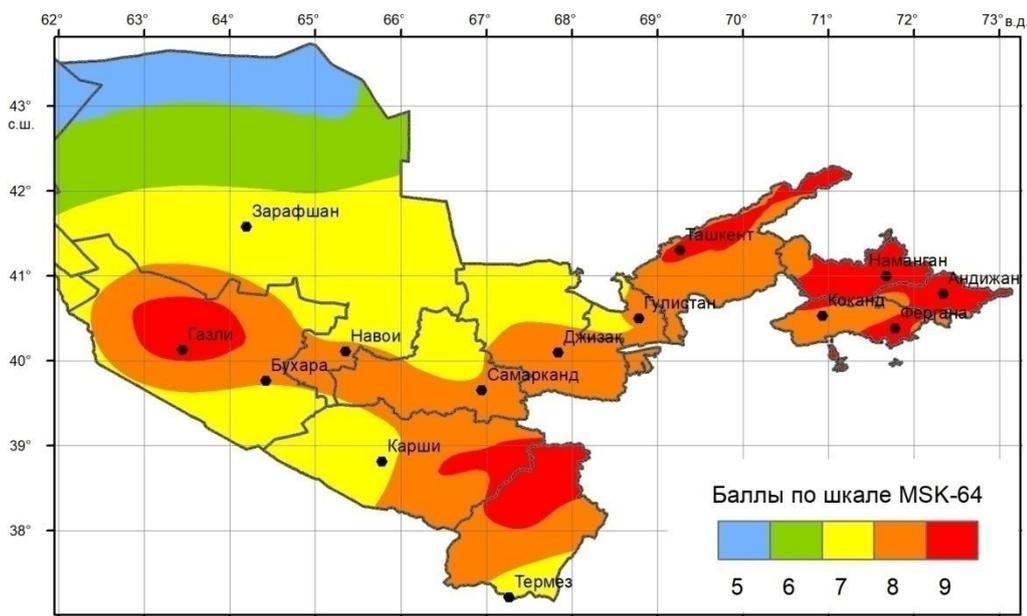
Рисунок 1. Карта эпицентров землетрясений и конфигурация сейсмических источников, использованных для оценки сейсмической опасности: а) площадные источники; б) активные разломы земной коры по версии Р.Н.Ибрагимова [14] и ассоциированные с ними сейсмогенные зоны 1 – эпицентры землетрясений; 2 – площадные источники; 3 – сейсмогенные зоны; 4 – источники, расположенные вне сейсмогенных зон; 5 – активные разломы

Сейсмический потенциал и параметры повторяемости землетрясений в модели источников в виде активных разломов земной коры оценивались по соотношениям [15, 16]. В качестве оценки сейсмического потенциала площадных источников использовалось значение, полученное добавлением половины магнитуды к магнитуде максимального наблюдаемого землетрясения в этом источнике. Преобладающим кинематическим типом подвижки в очагах землетрясений территории Узбекистана является взброс [17].

Используемые уравнения движения грунта.

При оценке сейсмической опасности территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы, наряду с зависимостью Н.В. Шебалина [9], полученной по мировым данным ($I=1.5M-3.5 \lg R+3$), использовался ряд авторских зависимостей затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием, установленных на основе анализа схем изосейст порядка 200 землетрясений, произошедших на территории Центральной Азии [10]. Следует подчеркнуть, что все зависимости затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием относятся к средним грунтовым условиям (для территории Узбекистана это грунты второй категории по сейсмическим свойствам). Соответственно и оценки сейсмической опасности, получаемые с применением этих зависимостей, справедливы для средних грунтов. При оценке сейсмической опасности Узбекистана в инженерных показателях сейсмических воздействий, в качестве законов затухания использовались уравнения движений грунта (GMPE) для неглубокой активной коры и стабильных регионов, разработанные за последние 10-12 лет и встроенные в программный комплекс CRISIS. Для учета грунтовых условия территории Узбекистана, расчет параметров сейсмических воздействий проводился при различных значениях параметра V_{S30} .

Конечным результатом проведенного исследования стал набор вероятностных карт сейсмического районирования в баллах макросейсмической шкалы (для средних грунтовых условий), в значениях максимальных ускорений колебаний грунта (для трех грунтовых категорий), а также кривые опасности и спектры реакции для ряда крупных годов и населенных пунктов Республики. На рисунке 2, для примера, приведены карты сейсмического районирования территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы ($P=0.98$) и значениях максимальных ускорений колебаний грунта ($P=0.98$, $V_{S30} = 450$ м/с).



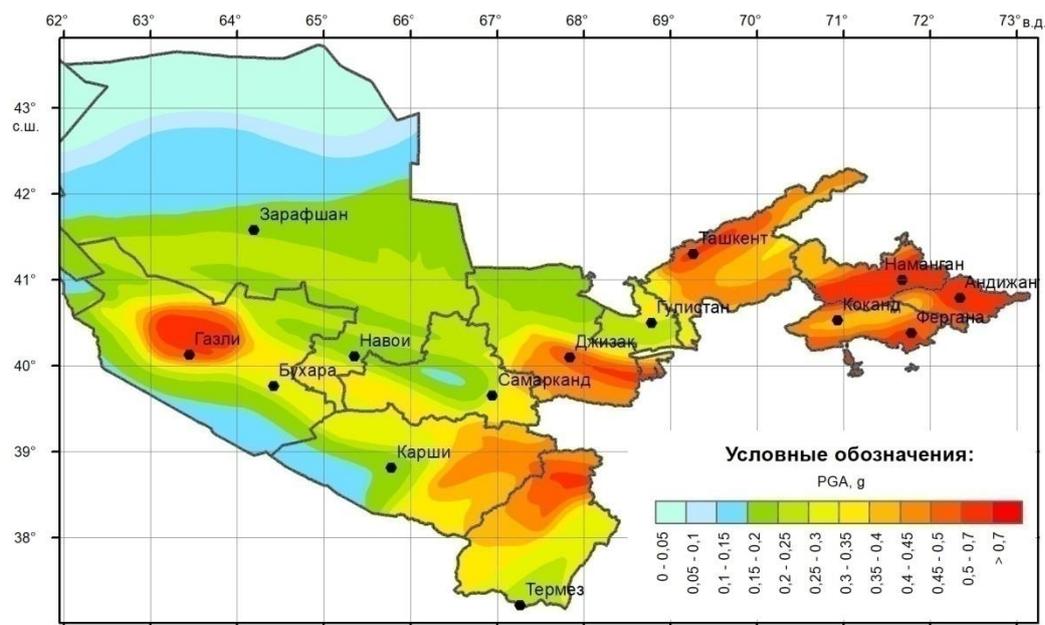


Рисунок 2. Карты сейсмического районирования территории Узбекистана для вероятности $P=0.98$ не превышения уровня сейсмического воздействия в течение 50 лет: а) в баллах макросейсмической шкалы; б) в значениях максимальных ускорений колебаний грунта ($V_{S30} = 450$ м/с)

Литература

1. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. Москва: Наука, 1984. 182 с.
2. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Complex of general seismic zoning maps OSR-2017 of Uzbekistan // Geodesy and Geodynamics, 2020. doi.org/10.1016/j.jeog.2020.03.004
3. Cornell CA Engineering seismic risk analysis // Bull. Seismol. Soc. Am. 1968. V. 58. P 1583-1606.
4. Bindi, D., and S. Parolai (2015) и др. Total probability theorem versus shakeability: A comparison between two seismic-hazard approaches used in central Asia, Seismol. Res. Lett. 86, no. 4, 1178–1184
5. Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Ashurov S.H. Comparison of seismic hazard assessments obtained within the probabilistic and probabilistic-deterministic approaches for the territory of Uzbekistan// Seismic Instruments. 2022. V. 58. N. 7. ISSN: 0747-9239 (Print), 1934-7871 (Online).
6. Ordaz, M., A. Aguilar, and J. Arboleda (2007). CRISIS2007. Program for Computing Seismic Hazard, Institute of Engineering UNAM, Mexico, available at www.iingen.unam.mx (last accessed March 2016).
7. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. М.: Изд-во АН СССР, 1960. № 176. С. 75–114.
8. Mikhailova, Natalya; Poleshko, N.N.; Aristova, I.L.; Mukambayev, A.S.; Kulikova, G.O. (2015): EMCA Central Asia Earthquake catalogue. V. 1.1. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/GFZ.EWS.2015.001> (последняя версия 26.09.2019)
9. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 95–111.
10. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Models of the macroseismic field earthquakes and their influence on seismic hazard assessment values for Central Asia. Geodynamics & Tectonophysics. 2020;11(3):606-623. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0494>
11. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Решение проблемы неоднородности магнитуд в работах по сейсмическому зондированию территории республики Казахстан // Вестник НЯЦ РК, 2014. Вып. 4. С. 86-92.
12. Якубов М.С., Соколов М.В., 1990. Анализ эффективности сети сейсмических станций Узбекистана на основных этапах ее развития. В кн. под ред. К.Н. Абдуллабекова, Сейсмичность

территории Узбекистана. Фан, Ташкент, с. 19-28.

13. Knopoff L. and Gardner J., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California with aftershocks removed poissonian. Bull Seism. Soc. Am. 64, No. 5, p. 1363-1367.

14. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент, Изд-во Гидроингео, 2002, с. 59–74.

15. Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bulletin of the Seismological Society of America, 84, no. 4, 974-1002.

16. Youngs, R.R., Coppersmith, K.J., 1985. Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates // Bulletin of the Seismological Society of America, 75, 939–964.

17. Ибрагимова Т.Л., Ибрагимов Р.С., Мирзаев М.А., Ребецкий Ю.Л. Современное напряженное состояние земной коры территории Узбекистана по данным сборного каталога механизмов очагов землетрясений// Геодинамика и Тектонофизика, 2021, т.12. №3. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3-0532>

Литовченко И.Н.

Институт сейсмологии МЧС РК, Алматы, Казахстан
8-(727)-269-46-08, e-mail: litovira@rambler.ru

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОЧАГАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. Оценка сейсмической опасности для конкретных сейсмоактивных территорий Земли, является первоочередной задачей в комплексе мероприятий, направленных на снижение возможного ущерба от землетрясений, когда они происходят. Сейсмическое районирование является одной из наиболее важных и сложных задач современной сейсмологии. В этом плане, одной из ключевых целей исследования является расчет термодинамических и реологических характеристик в очагах землетрясений для сейсмоактивных регионов Земли.

Annotation. The assessment of seismic hazard for specific seismically active areas of the Earth is a top priority in a set of measures aimed at reducing the possible damage from earthquakes when they occur. Seismic zoning is one of the most important and complex tasks of modern seismology. In this regard, one of the key objectives of the study is the calculation of thermodynamic and rheological characteristics in earthquake sources for seismically active regions of the Earth.

Введение. Оценка сейсмической опасности для конкретных сейсмоактивных территорий Земли, является первоочередной задачей в комплексе мероприятий, направленных на снижение возможного ущерба от землетрясений, когда они происходят. Как известно, землетрясения по своей величине и частоте повторения подчиняются фундаментальным закономерностям. Такие закономерности очень важны для исследований по сейсмическому районированию. Как известно, чем больше масштаб явления, тем реже оно возникает. В этом плане, в разных странах мира сейсмическая опасность территорий (сейсмический риск) оценивается по-разному, а именно, в баллах шкал сейсмической интенсивности, параметрами сейсмических колебаний грунта, величиной максимальной горизонтальной (сейсмической) силы, которая может воздействовать на здание в момент землетрясения, условными категориями, которым в нормах приписываются расчетные коэффициенты. Под сейсмическим районированием будем понимать разделение территорий на районы, отличающиеся по степени потенциальной сейсмической опасности и ее картирование. Анализ современных сейсмических данных [1] и осуществление сейсмического районирования является одной из наиболее важных и сложных задач современной сейсмологии. В этом плане, одной из ключевых целей исследования является расчет термодинамических и реологических

характеристик в очагах землетрясений для сейсмоактивных регионов Земли. Для решения поставленных задач применялась методика [2]. Данная методика применялась на примерах четырех регионов Кавказа, Эгейского моря, Курильской островной дуги и центральной и южной Калифорнии [2], Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий [4]. На рисунке 1 представлена сейсмичность Земли [1]. В целом, она очень неравномерна за 1973-2023 гг. с магнитудой больше 2.5. Красным цветом представлены очаги землетрясений с $M \geq 6.0$ за тот же период. В результате применения вычислительной методики [2, 4] получены численные значения реологических и термодинамических характеристик в очагах землетрясений Земли.

Землетрясения являются источниками информации о физических параметрах земной коры и ее расслоенности, что необходимо знать для оценки сейсмического риска. Исходными данными для определения термодинамических параметров являются магнитуда и энергетический класс землетрясения. Термодинамические параметры в очаговых зонах сильных землетрясений могут быть рассчитаны с применением известных и оригинальных уравнений из [2, 4]. Уравнения удовлетворяют особенностям сейсмичности в любом регионе Земли.

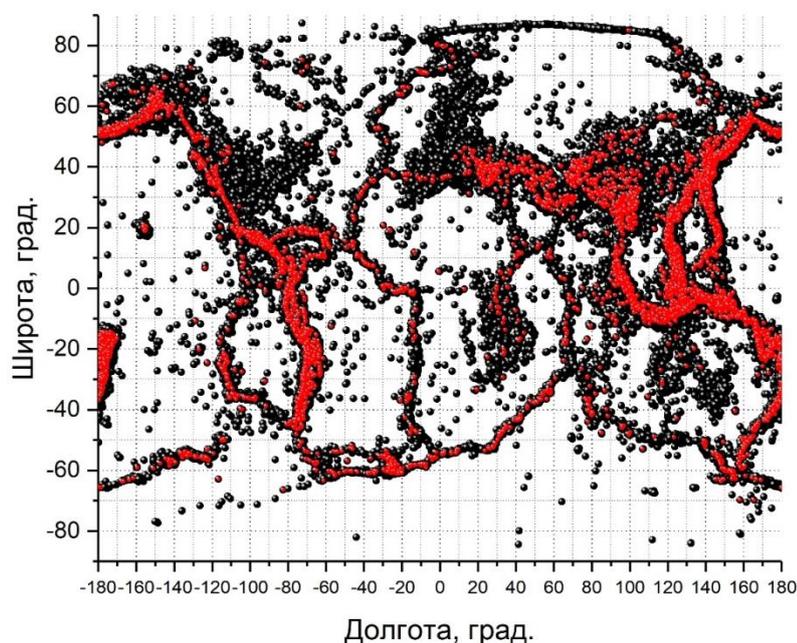


Рисунок 1 – Сейсмичность Земли за 1973-2023 гг. с магнитудой $M \geq 2.5$ (черным цветом – слабые землетрясения, красным цветом – сильные землетрясения с магнитудой $M > 6.0$) по мировому каталогу (NEIC) [1]

На рисунке 2 приводятся соотношения термодинамических параметров в очагах землетрясений от расчетной температуры и магнитуды землетрясений, которые выполняются для всех землетрясений мирового каталога [1]. Как показано на рисунке 2, параметры E и M – энергия и магнитуда землетрясений, V – критическая величина объема очага, U – плотность потенциальной энергии сейсмических волн в единице объема ($\text{эрг}/\text{см}^3$), E_k – удельная энергия изменения формы очага, G – объемный модуль упругости, k – постоянная Больцмана, α_v – коэффициент объемного теплового расширения, $\tau_{кр}$ – сбрасываемые очагом добавочные напряжения, σ – нормальная компонента эффективных напряжений, η – вязкость пород в очаге, η_{\max} – максимальное значение вязкости верхних слоев Земли.

На примере соотношений термодинамических параметров в очагах выяснены условия формирования землетрясений в зависимости от магнитуд. Численные результаты расчетов термодинамических и реологических параметров землетрясений приведены в таблице 1. Термодинамические параметры землетрясений рассматриваются в такой

последовательности :магнитуда (M), энергетический класс (K), логарифм энергии $\lg E$ (Эрг), логарифм объема $\lg V$ (см³), логарифм плотности энергии $\lg U$, температурные напряжения E_k , температура среды очага (Т°С); модуль упругости $G \cdot 10^{11}$ (дин/см²),коэффициент объемного деформирования $\alpha_v \cdot 10^{-5}K^{-1}$, касательные критические напряжения $\tau_{кр} \cdot 10^8$ (дин/см), деформация ϵ , нормальные напряжения $\sigma \cdot 10^9$, логарифм вязкости $\lg \eta$, величина вязкости среды η (П) (см. таблицу 1).

Для оценки сейсмической опасности прогнозирование и расчет термодинамических параметров имеет существенное теоретическое значение: для количественной оценки геодинамических процессов в коре, а также для целей детализации сеймотектонического районирования. Необходимо определить достоверность полученных результатов. Критерием их правомерности и заключения о физической или, точнее, реологической принадлежности может служить сопоставление с выводами других исследователей [2-4]. Для каждой магнитуды были рассчитаны по соответствующим формулам из [2,4] значения приведенных термодинамических и реологических параметров (см. табл.1). Согласно данным[2,3,4],анализ распределения гипоцентров землетрясений с магнитудами $M < 5.0$ по глубине показывает их концентрацию в вытянутых квазивертикальных больших и малых объемах. Расчетные значения температур для землетрясений с магнитудами $5.0 \leq M \leq 9.0$ соответствуют температурам кристаллизации составных элементов коры [2-4]. На практике расчетные данные по сбрасываемым (эффективным касательным) напряжениям $\tau_{кр}$, полученным по уравнению из [2,4], отвечает характерным напряжениям в очагах большинства катастрофических землетрясений. Взаимосвязи между значениями магнитуды, энергии сейсмических волн и модулем сдвига, с одной стороны, температурой и эффективными напряжениями—с другой, находятся между собой в обратных соотношениях. С увеличением температуры и, соответственно, эффективных напряжений уменьшаются значения магнитуд, энергии сейсмических волн и модуля сдвига. Эти соотношения в областях сейсмоактивных орогенов создают благоприятную геодинамическую обстановку для развития неотектонических деформаций, частичного плавления вещества коры.

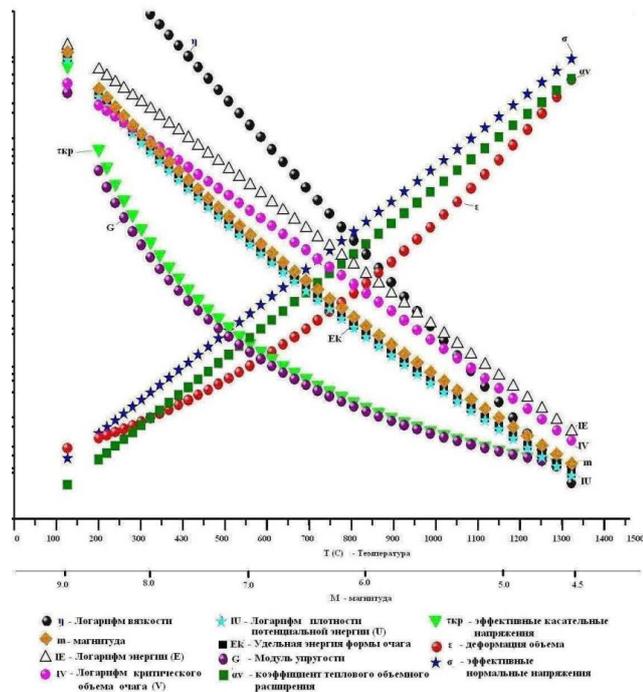


Рисунок 2 - Графики взаимодействия термодинамических параметров очагов землетрясений (с магнитудой больше 4.0 для Земли), относительно температуры T(°С) и магнитуды M[4]

Таблица 1– Термодинамические и реологические параметры в очагах землетрясений

M	K	lgE(Эпр)	lgV(см ³)	lgU	Ek	T(С)	G*10 ¹¹ дин/см ²	α_v 10 ⁻⁵ К ⁻¹	$\tau_{кр}$ *10 ⁸ дин/см ²	ϵ	σ *10 ⁹ дин/см ²	lgη(П)	η(П)
2.5	8.5	15.38	12.44	2.947	2.95	2109.854	1.1544	3.99E-05	1.67	0.09495	10.961	15.892	7.7983E+15
2.6	8.68	15.6	12.64	2.957	2.96	2066.755	1.17566	3.91E-05	1.7	0.09155	10.763	16.111	1.29122E+16
2.7	8.86	15.82	12.85	2.967	2.97	2024.05	1.19752	3.84E-05	1.74	0.08824	10.566	16.328	2.12814E+16
2.8	9.04	16.03	13.06	2.977	2.98	1981.738	1.21999	3.77E-05	1.77	0.08502	10.372	16.543	3.4914E+16
2.9	9.22	16.25	13.26	2.987	2.99	1939.819	1.24311	3.70E-05	1.8	0.08188	10.179	16.756	5.70164E+16
3	9.4	16.46	13.46	2.997	3	1898.294	1.26688	3.63E-05	1.84	0.07884	9.988	16.967	9.2683E+16
3.1	9.58	16.67	13.66	3.007	3.01	1857.163	1.29134	3.56E-05	1.87	0.07588	9.799	17.176	1.49968E+17
3.2	9.76	16.87	13.86	3.017	3.02	1816.426	1.31652	3.49E-05	1.91	0.07301	9.611	17.383	2.41546E+17
3.3	9.94	17.08	14.05	3.027	3.03	1776.082	1.34244	3.43E-05	1.95	0.07021	9.426	17.588	3.87258E+17
3.4	10.12	17.28	14.24	3.037	3.04	1736.131	1.36913	3.36E-05	1.99	0.0675	9.242	17.791	6.18016E+17
3.5	10.3	17.48	14.44	3.047	3.05	1696.574	1.39663	3.29E-05	2.03	0.06487	9.06	17.992	9.81748E+17
3.6	10.48	17.68	14.62	3.057	3.06	1657.411	1.42496	3.23E-05	2.07	0.06232	8.88	18.191	1.55239E+18
3.7	10.66	17.88	14.81	3.067	3.07	1618.642	1.45417	3.16E-05	2.11	0.05984	8.702	18.388	2.44343E+18
3.8	10.84	18.07	15	3.077	3.08	1580.266	1.48428	3.10E-05	2.15	0.05744	8.525	18.583	3.82825E+18
3.9	11.02	18.27	15.18	3.087	3.09	1542.283	1.51534	3.04E-05	2.2	0.05511	8.35	18.776	5.97035E+18
4	11.2	18.46	15.36	3.097	3.1	1504.694	1.54738	2.97E-05	2.24	0.05285	8.177	18.967	9.2683E+18
4.1	11.38	18.65	15.54	3.107	3.11	1467.499	1.58045	2.91E-05	2.29	0.05066	8.006	19.156	1.43219E+19
4.2	11.56	18.83	15.72	3.117	3.12	1430.698	1.61459	2.85E-05	2.34	0.04854	7.837	19.343	2.20293E+19
4.3	11.74	19.02	15.89	3.127	3.13	1394.29	1.64984	2.79E-05	2.39	0.04649	7.67	19.528	3.37287E+19
4.4	11.92	19.2	16.06	3.137	3.14	1358.275	1.68627	2.73E-05	2.45	0.0445	7.504	19.711	5.14044E+19
4.5	12.1	19.38	16.24	3.147	3.15	1322.654	1.72391	2.67E-05	2.5	0.04258	7.34	19.892	7.7983E+19
4.6	12.28	19.56	16.4	3.157	3.16	1287.427	1.76283	2.61E-05	2.56	0.04072	7.178	20.071	1.17761E+20
4.7	12.46	19.74	16.57	3.167	3.17	1252.594	1.80308	2.55E-05	2.61	0.03892	7.018	20.248	1.77011E+20
4.8	12.64	19.91	16.74	3.177	3.18	1218.154	1.84472	2.49E-05	2.67	0.03718	6.859	20.423	2.6485E+20
4.9	12.82	20.09	16.9	3.187	3.19	1184.107	1.88783	2.44E-05	2.74	0.0355	6.703	20.596	3.94457E+20
5	13	20.26	17.06	3.197	3.2	1150.454	1.93246	2.38E-05	2.8	0.03388	6.548	20.767	5.8479E+20
5.1	13.18	20.43	17.22	3.207	3.21	1117.195	1.97869	2.33E-05	2.87	0.03232	6.395	20.936	8.62979E+20
5.2	13.36	20.59	17.38	3.217	3.22	1084.329	2.0266	2.27E-05	2.94	0.03081	6.244	21.103	1.26765E+21
5.3	13.54	20.76	17.53	3.227	3.23	1051.858	2.07627	2.22E-05	3.01	0.02935	6.094	21.268	1.85353E+21
5.4	13.72	20.92	17.68	3.237	3.24	1019.779	2.12779	2.16E-05	3.09	0.02795	5.947	21.431	2.69774E+21
5.5	13.9	21.08	17.83	3.247	3.25	988.0942	2.18125	2.11E-05	3.16	0.02659	5.801	21.592	3.90841E+21
5.6	14.08	21.24	17.98	3.257	3.26	956.8033	2.23675	2.06E-05	3.24	0.02529	5.657	21.751	5.63638E+21
5.7	14.26	21.4	18.13	3.267	3.27	925.9059	2.2944	2.01E-05	3.33	0.02404	5.515	21.908	8.09096E+21
5.8	14.44	21.55	18.28	3.277	3.28	895.4017	2.3543	1.95E-05	3.41	0.02283	5.375	22.063	1.15611E+22
5.9	14.62	21.71	18.42	3.287	3.29	865.2914	2.41658	1.90E-05	3.5	0.02167	5.236	22.216	1.64437E+22
6	14.8	21.86	18.56	3.297	3.3	835.5743	2.48136	1.85E-05	3.6	0.02055	5.099	22.367	2.32809E+22
6.1	14.98	22.01	18.7	3.307	3.31	806.2511	2.54877	1.81E-05	3.7	0.01948	4.965	22.516	3.28095E+22
6.2	15.3	22.27	18.94	3.325	3.328	754.4611	2.67725	1.72E-05	3.88	0.01765	4.726	22.77916	6.01395E+22
6.3	15.34	22.3	18.97	3.327	3.33	748.7855	2.69212	1.71E-05	3.9	0.01746	4.7	22.808	6.42688E+22
6.4	15.52	22.44	19.1	3.337	3.34	720.6432	2.76837	1.66E-05	4.01	0.01651	4.571	22.951	8.93305E+22
6.5	15.7	22.58	19.24	3.347	3.35	692.8942	2.8479	1.62E-05	4.13	0.0156	4.443	23.092	1.23595E+23
6.6	15.88	22.72	19.36	3.357	3.36	665.5391	2.9309	1.57E-05	4.25	0.01473	4.317	23.231	1.70216E+23
6.7	16.06	22.86	19.49	3.367	3.37	638.5776	3.01759	1.52E-05	4.38	0.0139	4.193	23.368	2.33346E+23
6.8	16.24	22.99	19.62	3.377	3.38	612.0096	3.10818	1.48E-05	4.51	0.0131	4.071	23.503	3.1842E+23
6.9	16.42	23.13	19.74	3.387	3.39	585.8353	3.2029	1.44E-05	4.64	0.01233	3.951	23.636	4.32514E+23
7	16.6	23.26	19.86	3.397	3.4	560.0544	3.30203	1.39E-05	4.79	0.01161	3.832	23.767	5.8479E+23
7.1	16.78	23.39	19.98	3.407	3.41	534.6672	3.40582	1.35E-05	4.94	0.01091	3.715	23.896	7.87046E+23
7.2	16.96	23.51	20.1	3.417	3.42	509.6735	3.51458	1.31E-05	5.1	0.01024	3.6	24.023	1.05439E+24

7.3	17.14	23.64	20.21	3.427	3.43	485.0735	3.62863	1.27E-05	5.26	0.00961	3.487	24.148	1.40605E+24
7.4	17.32	23.76	20.32	3.437	3.44	460.8673	3.74832	1.23E-05	5.44	0.00901	3.376	24.271	1.86638E+24
7.5	17.5	23.88	20.43	3.447	3.45	437.0544	3.87402	1.19E-05	5.62	0.00843	3.266	24.392	2.46604E+24
7.6	17.68	24	20.54	3.457	3.46	413.6353	4.00615	1.15E-05	5.81	0.00788	3.159	24.511	3.2434E+24
7.7	17.86	24.12	20.65	3.467	3.47	390.6096	4.14516	1.11E-05	6.01	0.00736	3.053	24.628	4.2462E+24
7.8	18.04	24.23	20.76	3.477	3.48	367.9777	4.29152	1.07E-05	6.22	0.00687	2.948	24.743	5.5335E+24
7.9	18.22	24.35	20.86	3.487	3.49	345.7391	4.44576	1.04E-05	6.45	0.0064	2.846	24.856	7.17794E+24
8	18.4	24.46	20.96	3.497	3.5	323.8942	4.60847	9.98E-06	6.68	0.00596	2.746	24.967	9.2683E+24
8.1	18.58	24.57	21.06	3.507	3.51	302.4432	4.78026	9.62E-06	6.93	0.00554	2.647	25.076	1.19124E+25
8.2	18.76	24.67	21.16	3.517	3.52	281.3856	4.96183	9.27E-06	7.19	0.00514	2.55	25.183	1.52405E+25
8.3	18.94	24.78	21.25	3.527	3.53	260.7216	5.15394	8.93E-06	7.47	0.00476	2.455	25.288	1.94089E+25
8.4	19.12	24.88	21.34	3.537	3.54	240.4511	5.35741	8.59E-06	7.77	0.00441	2.362	25.391	2.46037E+25
8.5	19.3	24.98	21.43	3.547	3.55	220.5743	5.57316	8.25E-06	8.08	0.00407	2.27	25.492	3.10456E+25
8.6	19.48	25.08	21.52	3.557	3.56	201.0909	5.80219	7.93E-06	8.41	0.00376	2.181	25.591	3.89942E+25
8.8	19.84	25.27	21.7	3.577	3.58	163.3055	6.30468	7.30E-06	9.14	0.00318	2.007	25.783	6.06736E+25
9	20.2	25.46	21.86	3.597	3.6	127.0943	6.8753	6.69E-06	9.97	0.00268	1.84	25.967	9.2683E+25
9.1	20.38	25.55	21.94	3.607	3.61	109.5793	7.19006	6.40E-06	10.43	0.00245	1.76	26.056	1.13763E+26
9.2	20.42	25.56	21.95	3.609	3.612	106.1233	7.2556	6.34E-06	10.52	0.0024	1.744	26.07356	1.18457E+26

Результаты

1) Логарифм удельной (объемной) плотности энергии сейсмических волн ($\lg U$) в отличие от ($\lg V$) находится в прямолинейной зависимости от магнитуды (см. рис.2). Существует два вида удельной энергии очага землетрясения, связанные с: 1) изменением объема, 2) изменением формы очага, которые для одной и той же магнитуды отличаются на один порядок величины.

2) Величина потенциальной энергии сейсмических волн зависит от величины объема очага и практически не зависит от удельной плотности энергии U . Это следует из различий в изменениях V и U для диапазона магнитуд от 2.5 до 9.2. Рассматривая соотношение между энергией и температурой в очаге землетрясения, в теоретическом плане вероятность взаимосвязи между энергией и магнитудой землетрясения с термодинамическими параметрами очага может предполагаться из самой природы накопления термоупругих напряжений в верхних оболочках Земли. Такое накопление, по мнению некоторых авторов, является следствием неравномерного распределения температур и различия физических свойств геологической среды [2,3,4]. Показателем концентрации напряжений на глубине служит их разрядка в виде землетрясения [2, 3, 4]. Эмпирические уравнения связи по [2, 4], температуры в очаге землетрясения в момент сбрасывания добавочных упругих напряжений с энергией в очаге выражается формулой: $T(K)=196.8K(\lg E_{\max}-\lg E)$, где 196.8K – константа, определяющая количество градусов, соответствующее изменению энергии (Δpr) на один порядок; $\lg E$ – логарифм энергии сейсмических волн. $\lg E_{\max}$ – логарифм максимального значения энергии сейсмических волн используются и при расчете вязкости $\eta(\Pi)$ (см. табл. 1).

3) Сопоставление значений логарифма энергии сейсмических волн, рассчитанных по методике и температур, вычисленных по уравнениям из [2, 4] обнаруживает, прежде всего обратное соотношение между E и T , а также между значениями магнитуд и температур (см. рис.2).

По мере увеличения температуры уменьшаются магнитуды и, соответственно, значения энергии сейсмических волн. Сопоставление расчетных значений α_v с данными его измерения, например, при температурах 800⁰, 1200⁰С обнаруживает одинаковый характер возрастания значения α_v в зависимости от t роста температуры (T), хотя при однозначности порядка величины отмечается некоторое расхождение в самой величине коэффициента.

4) Увеличение значений α_v с ростом температур вызвано тем, что ориентировки

максимального теплового расширения и максимальной сжимаемости обычно близки. Одновременно изменение температуры и давления в единице объема приводит к частичному взаимному уничтожению их воздействия, что определяет параметр α_v , как среднее значение термоупругого изменения объема.

5) Изменение деформации ϵ , объемного модуля упругости G и нормальной компоненты эффективных напряжений σ в очаге землетрясений определяются по уравнениям [2,3,4] с подстановкой полученных значений α_v и соответствующих температур $T(K)$.

6) Сопоставление расчетных данных размеров ϵ , σ и G с температурой обнаруживает, что два первых из них испытывают увеличение по мере роста температур, а третий – объемный модуль упругости G – напротив, уменьшение. Зависимости параметров σ , α_v от температуры T представлены прямыми линиями (см. рис.2).

Таким образом, на современных сейсмических данных получены численные результаты расчета термодинамических и реологических характеристик в очагах землетрясений Земли с целью оценки сейсмической опасности.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов в рамках ПЦФ «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе», шифр программы Ф.0980. Источник финансирования - Министерство образования и науки Республики Казахстан

Литература

1. Мировой каталог землетрясений //Электронный ресурс.- http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html
2. Тулиани Л.И. Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы. - М.:Научный мир, 1999.-216с.
3. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы,2004.- 504с.
4. Литовченко И.Н. Физические параметры очаговых зон сильных землетрясений земной коры Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий//ИзвестияНАН РК.Сериягеологическая.-N5.- Алматы,2009-с.59-67.

Михайлова Н.Н., Узбеков А.Н.

Институт Геофизических исследований НЯЦ РК, Казахстан

К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Рассматривается сейсмическая обстановка Центрального Казахстана. На карте общего сейсмического районирования 2003 г, эта территория относилась к асейсмичной, однако, по данным сформированной в 1994-2006 гг. сети станций НЯЦ в этом регионе с 2003 по 2023 гг. зарегистрировано 7133 сейсмических событий, часть из которых обусловлена взрывами на разрабатываемых здесь месторождениях. Исследования показали, что наибольшее количество землетрясений приурочено к разломам, разграничивающим тектонические блоки с разными по интенсивности и знаку аномалиями и по периметру Центрального Казахстанского гравитационного минимума. Сделан вывод, что для оценки сейсмической опасности слабоактивных областей Казахстана первостепенное значение имеет изучение и прогнозирование потенциальных мест генерации тектонических землетрясений в будущем.

Summary. The seismic environment of Central Kazakhstan is considered. On the map of the general seismic zoning of 2003, this territory was classified as aseismic, however, according to the data formed in 1994-2006 network of NNC stations, from 2003 to 2023 in this region 7133 seismic events

were registered, some of which were caused by explosions at the fields being developed here. Studies have shown that the greatest number of earthquakes is confined to faults delimiting tectonic blocks with anomalies of different intensity and sign and along the perimeter of the Central Kazakhstan gravitational minimum. It is concluded that in order to assess the seismic hazard of low-active regions of Kazakhstan, the study and forecasting of potential places for the generation of tectonic earthquakes in the future is of paramount importance.

Введение. Открытие на территории Казахстана в конце 90-х - начале 2000-х годов станций мониторинга ядерных взрывов и землетрясений позволило по-новому взглянуть на сейсмичность и сейсмическую опасность Центрального Казахстана. По карте общего сейсмического районирования территории Казахстана 2003 года этот район относился к асейсмичным (Рис.1). Анализ данных и составление сейсмических бюллетеней производится в Казахстанском национальном центре данных (KNDC). За последние десятилетия на этой территории зарегистрированы сейсмические события разной природы. Наибольшее количество событий составляют карьерные взрывы, произведенные на месторождениях твердых полезных ископаемых. Имеются также техногенные землетрясения, связанные с производственной деятельностью в шахтах и карьерах, а также индуцированные землетрясения из-за продолжительной взрывной деятельности. Большой интерес представляют и зарегистрированные редкие, но при этом достаточно сильные природные землетрясения, для которых изучена их взаимосвязь с глубинным строением, тектоникой, распределением аномалий геофизических полей.

Методика, данные. Для исследований использованы данные сети станции НЯЦ РК. Сеть сформировалась в основном в 1994-2006 г.г. В состав сети входят пять сейсмических групп и восемь трехкомпонентных станций. Четыре станции входят в IMS (три группы и одна трёхкомпонентная станция). В KNDC проводятся детектирование и обработка всей поступающей информации, составление автоматического и интерактивного бюллетеня, а также распознавание природы событий. Используется программное обеспечение DATASCOPE, Seatools и др (Рис.2).

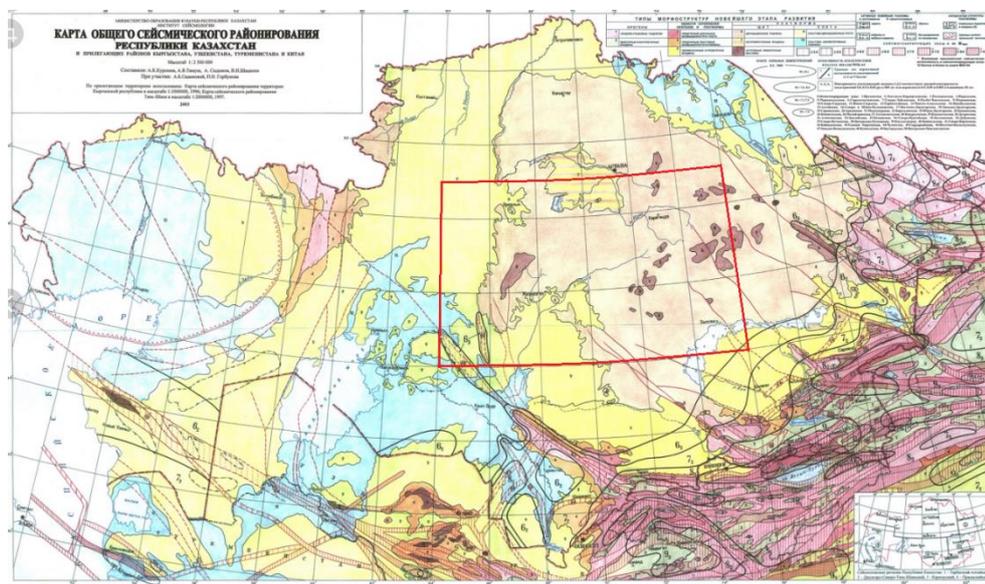


Рисунок 1. По карте общего сейсмического районирования территории Казахстана 2003 года район Центрального Казахстана относился к асейсмичным.

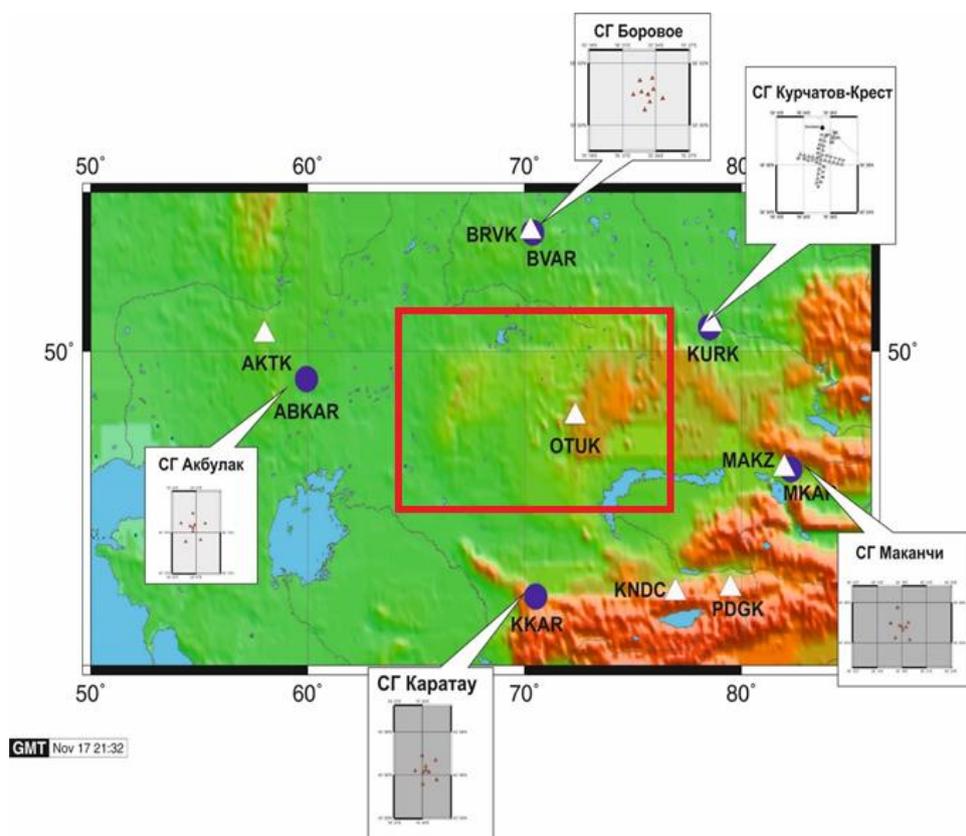


Рисунок 2. Круги – сейсмические группы, треугольники – трехкомпонентные станции. Красный контур – исследуемый район Центрального Казахстана.

Цифровые записи сейсмических станций используются для определения положения гипоцентра, а также для определения магнитуд m_{rv} , m_b и энергетического класса (К). Сбор данных по карьерам осуществляется на основе изучения информации по геологии, картам полезных ископаемых, космоснимкам, а также выездами полевых экспедиций. Имеется база данных по карьерам и взрывам. Сильные природные землетрясения – Шалгинское, 2001 г., Карагандинское, 2014 г. изучались полевыми экспедициями для регистрации афтершоков и составления карт изосейст по макросейсмическим данным. С 2003 по 2023 г.г. в этом районе согласно каталогам KNDC произошло 7133 сейсмических события, большая часть которых является взрывами на разрабатываемых месторождениях. Активная взрывная деятельность в Центральном Казахстане проводится на месторождениях полезных ископаемых Жезказган (медь), Жаман-Айбат, Жайрем-Западный, Каражал (железомарганец), Майкаин и Северном Прибалхашье (медь), Карагандинском угольном бассейне и др. Сейсмичность с 1920 по 2022 годы. и карьерные взрывы и сейсмические события с 2002 по 2023 года представлены на рисунке 3а,б,в.

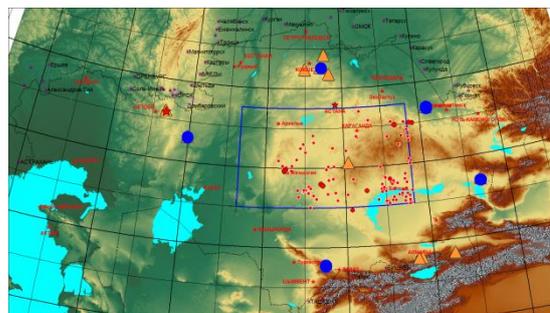


Рисунок 3а. Карта эпицентров землетрясений ЦК с 1920 по 2023 г. (#110 землетрясений).

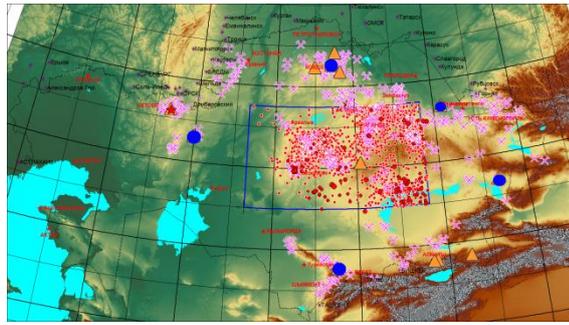


Рисунок 3б. Карта эпицентров сейсмических событий. По данным сети НЯЦ РК 2003 – 2023 г. (#7133 события - карьерные взрывы, техногенные и природные землетрясения).

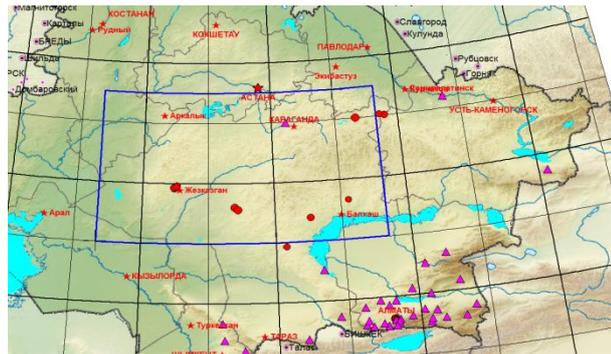


Рисунок 3в. Сейсмичность ЦК с 1920 по 2002 г.г. (до начала составления бюллетеней KNDC). Треугольники – 3-х компонентные станции других организаций.

Техногенные и техногенно-индуцированные землетрясения Центрального Казахстана. Техногенные землетрясения зарегистрированы вблизи городов Жезказган с 1994 по 2005 гг., Сатпаев, Караганды. На территории ЦК произошли сильные техногенные землетрясения на месторождениях добычи твердых полезных ископаемых. Примеры – Жезказганские землетрясения 1994 и 1996 г.г. Магнитуды $m_{prv}=3,9-4,6$. (Рис.4а,б,в).

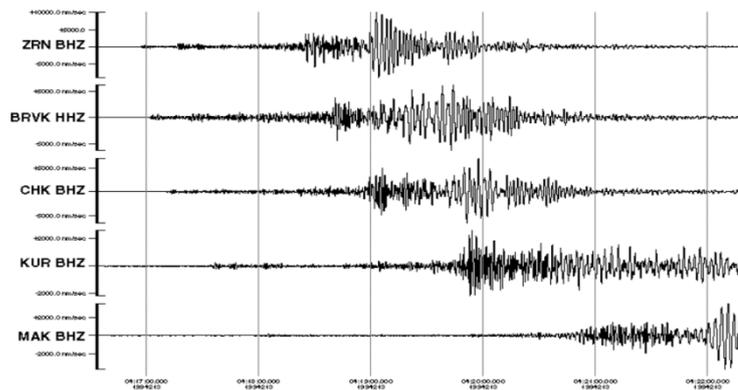


Рисунок 4 а. Запись 1 августа 1994г., $t_0=04:15:39,7$.

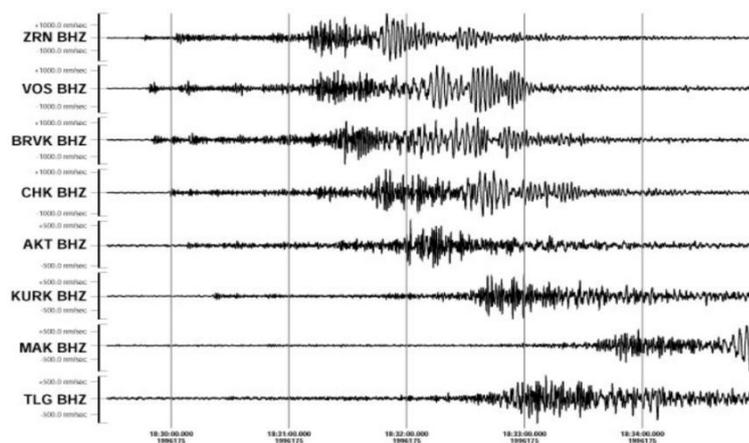


Рисунок 4 б. Запись 23 июня 1996, $t_0=18:28:26,7$



Рисунок 4 в. Последствия техногенного землетрясения

Природные землетрясения. В 2001 году зарегистрировано сильное Шалгинское с $m_b=5,0$ (интенсивность в эпицентре 6 баллов). Полевой экспедицией зарегистрировано 7 слабых афтершоков. В 2014 году зарегистрировано сильное Карагандинское с $m_{pva}=5,2$ (интенсивность в эпицентре 5 баллов). Было зарегистрировано 3 афтершока. Изучены критерии возникновения природных событий в слабосейсмичном районе Центрального Казахстана с точки зрения тектоники и аномалий геофизических полей. Очаги землетрясений приурочены к глубинным разломам или узлам пересечения разломов, к местам резкой смены знака напряжённости и ориентации аномалий геофизических полей. Наибольшее количество сейсмических событий приурочено к разломам, разграничивающим тектонические блоки с разными по интенсивности и знаку аномалий. По периметру Центрального Казахстанского гравитационного минимума, наблюдается увеличенная концентрация очагов землетрясений. Построены механизмы очагов землетрясений Центрального Казахстана.

Следует отметить, что знаки первых вступлений Р-волн, полученные для Джезказганских землетрясений на одних и тех же станциях наблюдений абсолютно одинаковы, их распределение позволило получить, соответственно, подобные решения фокальных механизмов с высокой степенью надежности. Характер подвижек в очагах этих землетрясений определён как сдвиго-взброс по обеим нодальным плоскостям.

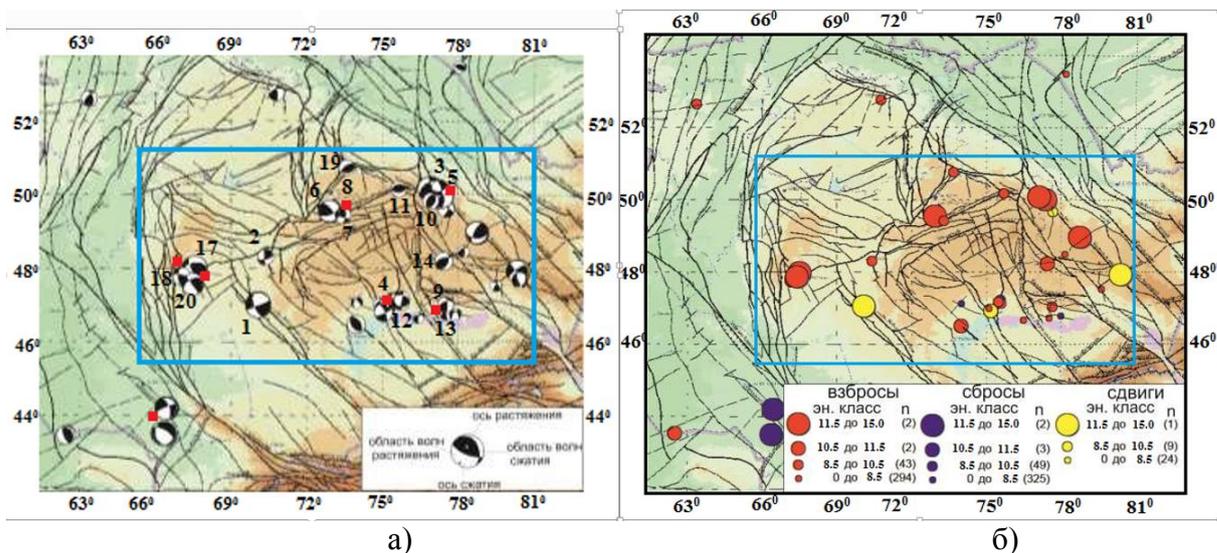


Рисунок 5 а - Механизмы очагов землетрясения Центрального Казахстана. Всего определено 20 механизмов очагов, б - Карта типов подвижек в очагах землетрясений по механизмам очагов: красные кружки – взбросы. Синие кружки- сбросы, желтые кружки – сдвиги.

Геофизические поля, новейшие движения земной коры и сейсмичность Центрального Казахстана. Рассмотрения сейсмичности в комплексе данных показало, что сейсмические очаги концентрируются в зонах переменных значений аномалии на рисунках б а, б, в.

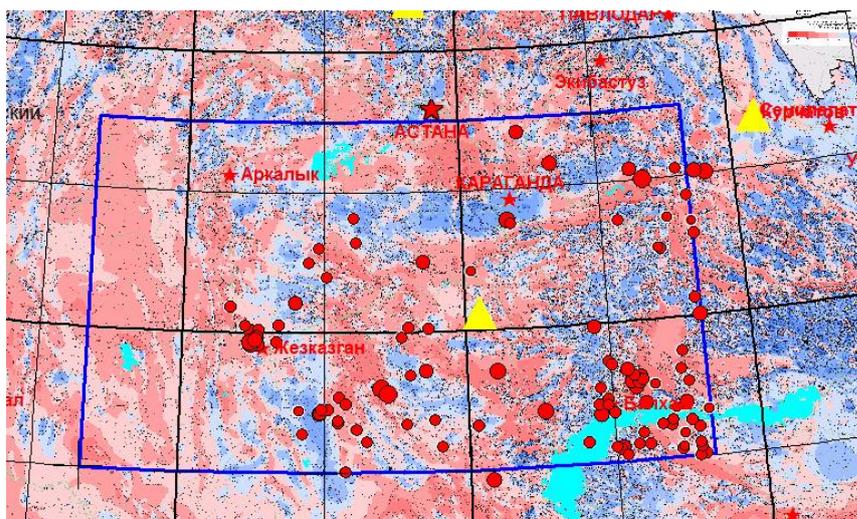


Рисунок 6а. Аномальное геомагнитное поле ЦК

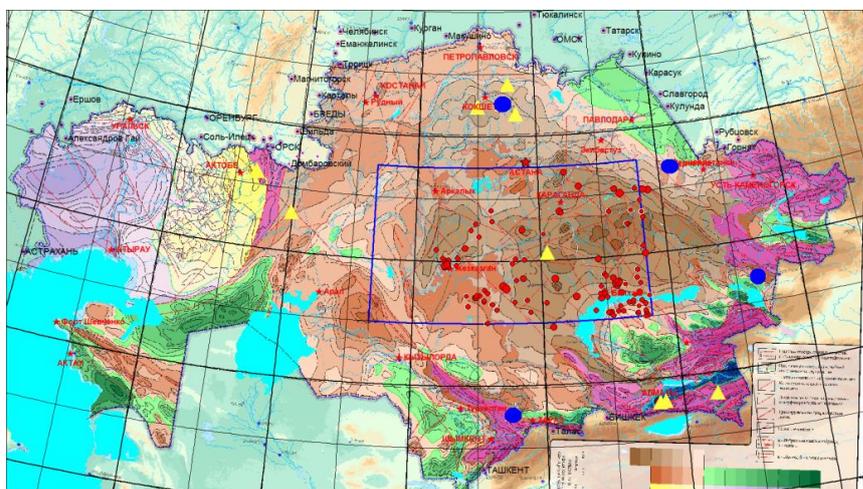


Рисунок 6б - Карта новейших движений земной коры Центрального Казахстана

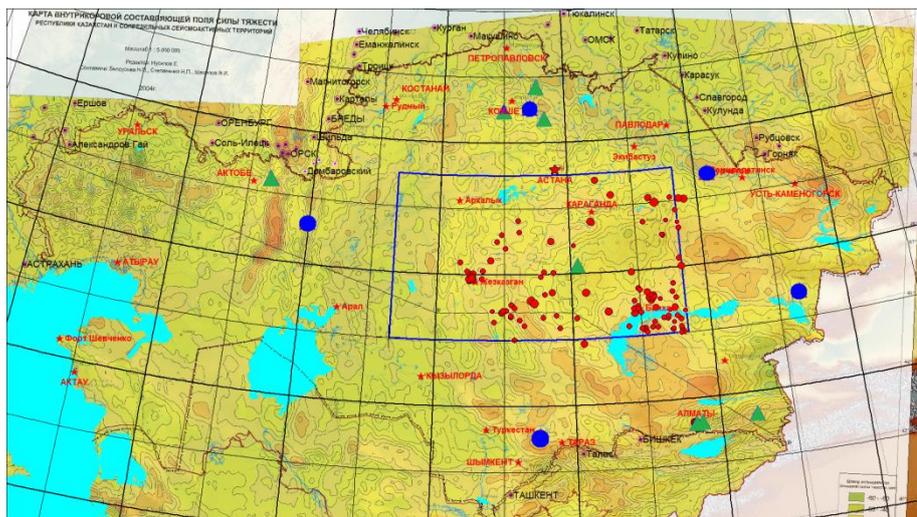


Рисунок бв - Карта локальной составляющей гравитационного поля Центрального Казахстана

Заключение.

Ввод в действие станций мониторинга НЯЦ РК, в том числе станций IMS, позволил начать систематический мониторинг за сейсмичностью Центрального Казахстана. Зарегистрировано большое количество сейсмических событий разной природы. Большая часть из них связана с активной разработкой полезных ископаемых в этом индустриальном районе Казахстана.

Для оценки сейсмической опасности слабоактивных областей Казахстана первостепенное значение имеет изучение тектонических землетрясений, прогнозирование потенциальных мест генерации сильных землетрясений в будущем. Установлены некоторые важные критерии выделения мест их возникновения.

Результаты работы вошли в новую карту сейсмического зонирования территории Казахстана. Даны рекомендации по организации специальных сетей мониторинга на месторождениях.

Литература

1. Abetov A.E., Uzbekov A.N. Abnormal magnetic field of Central Kazakhstan Алматы. *Геология и охрана недр*. Алматы, 2018. №4(69) С. 86–95
2. Узбеков А.Н., Михайлова Н.Н. Сейсмичность Центрального Казахстана и направления развития мониторинга этого региона. *Вестник НЯЦ РК*. Курчатов, 2018. Вып. 3. С. 73-82
3. Абетов А.Е., Узбеков А.Н. Аномалии гравитационного поля Центрального Казахстана. Алматы. *Геология и охрана недр*. Алматы, 2019. 2(71). С. 51-60.
4. Abetov A.E., Uzbekov A.N., Grib N.N., Imaev V.I. Newest Tectonics and Modern Geodynamics of Mining Industrial Areas of Central Kazakhstan. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2020. 459. 042011.
5. Узбеков А.Н., Полешко Н.Н. Напряженно-деформированное состояние Казахского щита по данным механизмов очагов землетрясений. *Геодинамика и тектонофизика*. 2022;13(1). <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-1-0571>

STRONG MOTION OBSERVATIONS IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN

Abstract. Networks of strong motion instruments currently operating in the territory of Kazakhstan are presented. Significant progress has been made over the past year in their development and spread to previously uncovered territories. The areas of application of strong motion records are considered and some results of strong motion monitoring and analysis of waveforms are shown.

Аннотация. Представлены сети сильных движений, действующие в настоящее время на территории Казахстана. За последний год достигнут значительный прогресс в их развитии и распространении на ранее не охваченные территории. Рассмотрены области применения записей сильных движений и приведены некоторые результаты мониторинга сильных движений и анализа волновых форм.

Strong motion records provide information about the real parameters of ground shaking in specific conditions and allow reasonable modeling of seismic effect during possible future earthquakes. These data are basic in solving problems of seismic hazard assessment, seismic microzoning, serve as input parameters in the design of earthquake-resistant buildings and structures.

In 1980 - 1996 regional and Almaty local strong motion (SM) networks operated on the territory of Kazakhstan, which stopped working due to wear of equipment. The first digital network of SM instruments was deployed in 2000 on the territory of Almaty and its environs within the framework of scientific and technical cooperation with Japan [1]. For more than 20 years, it remained practically the only SM network not only in Kazakhstan, but throughout Central Asia. Several 6-channel stations with registration of both velocity and acceleration were available at KNDS, partly in wells and partly in low-seismic areas, several analog stations - on buildings in Almaty at the Kazakh Institute of Earthquake Engineering and Architecture.

Recently, the situation has begun to change drastically. By the end of 2022, within the framework of the international ISTC project “Seismic Network Expansion in the Caucasus and Central Asia” (SNECCA) [2], the Kazakhstan’s regional monitoring network, now digital, resumed operation. Some stations of the previously operating network have been upgraded, and also new stations have been created in areas previously not covered by seismic monitoring. The Kazakhstan part of the SNECCA network includes 13 stations equipped with accelerometers. 9 of them are six-channel, including a seismometer and an accelerometer, 4 more are stations of only strong motions.

Installation of the local SM network of 8 stations is completed this year in Ust-Kamenogorsk city in the east of the country within the Institute of Seismology project “Seismic Hazard Assessment of Regions and Cities in the Territory of Kazakhstan on a Modern Scientific and Methodological Basis”. It is planned to start deployment of the local strong motion network of 7 stations in Taldykorgank city in 2023-2024 within a new similar project.

The network of accelerometers of the Early Warning System around Almaty is at the stage of development. Now it is 9 stations operating in a test mode, but the number will increase. Figure 1 shows strong motion stations (or stations with 6-channel registration, including acceleration) already operating in Kazakhstan.

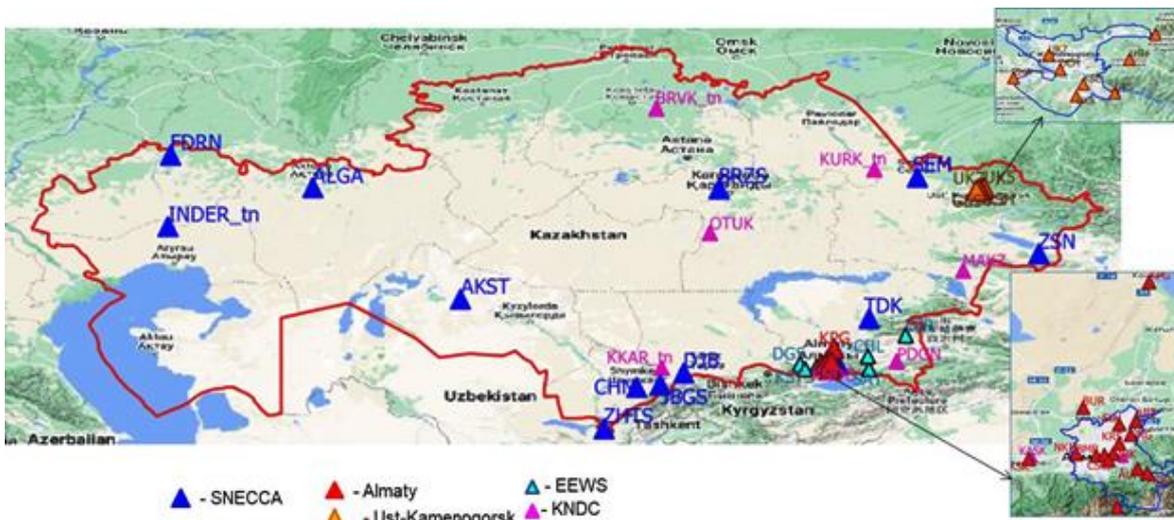


Figure 1. Strong motion stations (or 6-channels stations) in the territory of Kazakhstan.

Institute of Seismology researches accumulate and analyze SM records, study seismic effect distribution, soil amplification, soil response and distribution of predominant periods for local network records, select records of engineering interest and test with their help Ground Motion Models for Seismic Hazard Assessment and seismic effect prediction. The results of these studies carried out in local and international projects were published in papers, presented at conferences, the catalog of events and waveform parameters was issued in printed editions [3,4]. The material presented in the Catalog of ground motion parameters [4] includes a summary catalog of earthquakes and the main and spectral parameters of the accelerograms obtained during these earthquakes, a table of characteristics of soil conditions in the area of SM stations, and a characteristic of the recording equipment. It supplemented by a seismological bulletin for records with $PGA \geq 10 \text{ cm/s}^2$.

An examples of some results of SM data usage are given below. Seismic source and ground motion parameters of the stronger ground motions recorded during more than 20 years operation of the Almaty SM network are presented in Table 1. Distribution of ground motions over Almaty territory is shown in Figure 2 [5] on example of the 14.02.2005 earthquake ($M_w 5.9$, $Rep=250 \text{ km}$, $h=5 \text{ km}$). The study of the spectral characteristics of soils on the example of the VRG station of the Almaty local network is shown in Figure 3 [6].

Table 1. Parameters of the stronger ground motions recorded by the digital SM network in Almaty city

N of rec. in DB	Date	MPV	Ms	Mw	h, km	Mechanism	Station	Repi, km	PGAew, g	PGAns, g
1	01.12.2003	5.9	5.7	6.0	10	normal	SLHQZ	295.5	0.020	0.031
2	01.12.2003	5.9	5.7	6.0	10	normal	ARZQZ	292	0.020	0.037
3	09.10.2005	4.9	3.1	4.2*	11	reverse	KRPQZ	34	0.039	0.027
4	29.12.2007	4.9	3.6	4.3*	20	normal - strike-slip	VRGQZ	44.7	0.036	0.054
5	01.05.2011	5.9	4.8	5.2	20	reverse	SLHQZ	65.8	0.033	0.032
6	01.05.2011	5.9	4.8	5.2	20	reverse	ARZQZ	60.7	0.050	0.037
7	30.05.2012	6.0	5.3	5.4	20	reverse	SLHQZ	148	0.042	0.037
8	30.05.2012	6.0	5.3	5.4	20	reverse	ARZQZ	143	0.035	0.042
9	15.08.2014	5.4	4.3	4.7	15	reverse	8MRQZ	47.3	0.044	0.031
10	15.08.2014	5.4	4.3	4.7	15	reverse	MDOQZ	31.8	0.023	0.039
11	15.08.2014	5.4	4.3	4.7	15	reverse	CSOQZ	43.3	0.022	0.064

12	15.03.2015	4.9	3.6	4.5	15	reverse	KRSQZ	32.3	0.031	0.016
13	25.06.2017	4.7	2.9	3.9*	20	normal	KPGQZ	3.2	0.024	0.040
14	02.02.2018	4.1		3.6*	15	reverse	MRVQZ	4.1	0.034	0.027
15	26.03.2018	5.5	3.6	4.5*	20	strike-slip	SLHQZ	57	0.023	0.038
16	26.03.2018	5.5	3.6	4.5*	20	strike-slip	BURQZ	58.1	0.047	0.035
17	26.03.2018	5.5	3.6	4.5*	20	strike-slip	KPGQZ	26	0.017	0.031
18	26.03.2018	5.5	3.6	4.5*	20	strike-slip	KRSQZ	63	0.031	0.016
19	29.12.2007	4.9	3.6	4.3*	20	normal - strike-slip	KNDCCKZ	21	0.033	0.035

* Mw magnitude is converted from other magnitude types

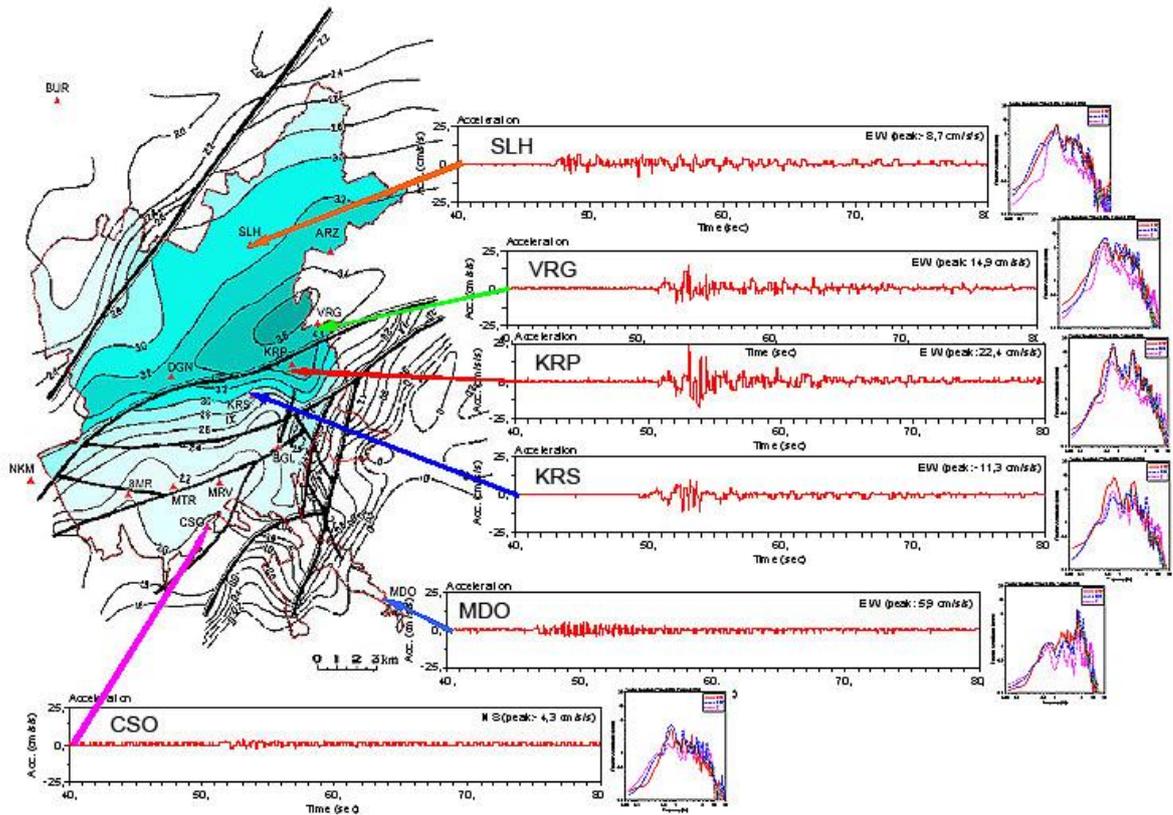


Figure 2. Accelerograms and Fourier spectra obtained in Almaty territory during the 14.02.2005 earthquake [5]. The isolines on the map show the change in the depth of the sedimentary cover.

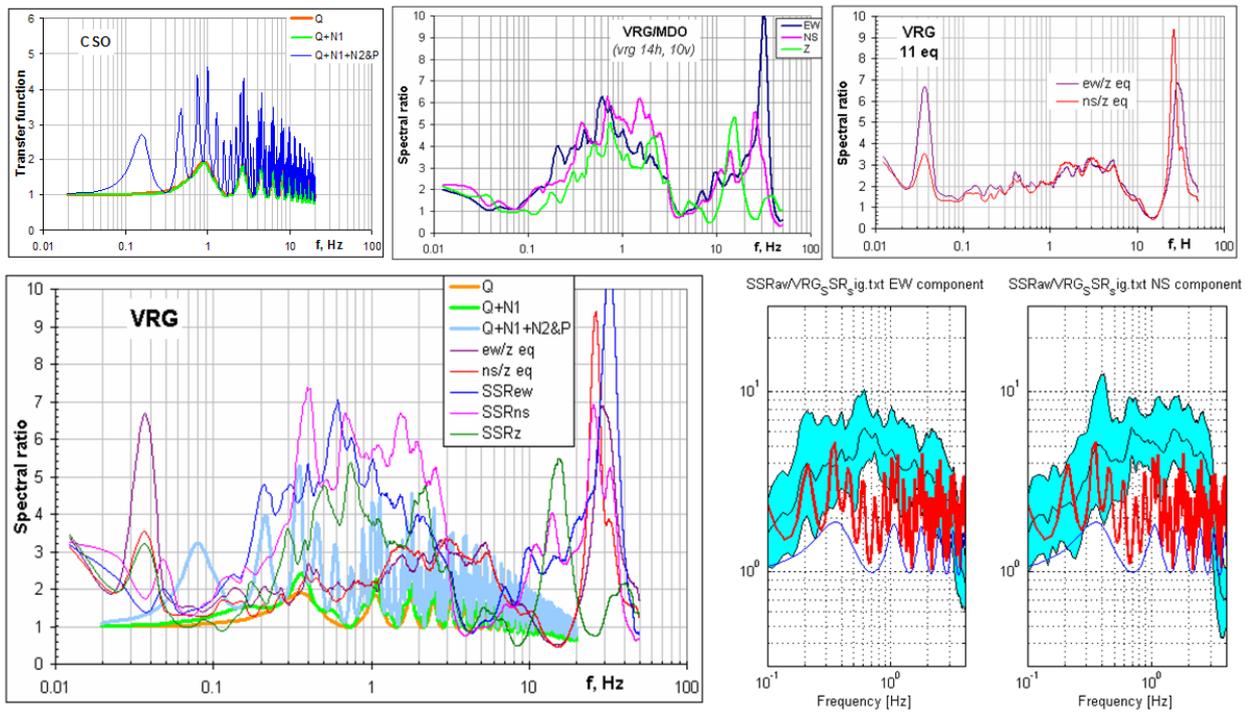


Figure 3. Model and empirical response functions for VRG station [6].

The lower left graph includes the arithmetic mean curves of the Standard Spectral Ratio, the right one includes the geometric mean SSR with standard deviations for the horizontal components.

We extensively use the accumulated digital and analog data (waveforms and their parameters) of the stronger ground motions in probabilistic seismic hazard assessment and seismic microzoning actively developing in Kazakhstan last years. Analog and digital records were used in the development of maps of the General seismic zoning of the territory of Kazakhstan [7], Microzoning maps of the territory of Almaty [8], detailed seismic zoning of Kazakhstan regions (ongoing project) in particular, when selecting and testing predictive attenuation models and verifying the calculated ground shaking amplification factors.

References

- [1] Abakanov T., Sudo K., Dosymov A., Silacheva N., Kulbayeva U., Kravchenko N. Network of strong motion seismic stations in Almaty // Problems of preventing the consequences of destructive earthquakes. Proceedings of the second Kazakh-Japanese seminar September 23-25, 2002. Almaty. P.370-375.
- [2] Seismic Network Expansion in the Caucasus and Central Asia. URL: https://www.iris.edu/hq/programs/is/seismic_network_expansion_in_the_caucasus_and_central_asia
- [3] Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A., Voetsky A.E. Catalog of ground motion parameters according to the data of the digital strong motion network in the territory of Almaty for 2000-2010. Almaty: 2011. 134 p. (in Russian)
- [4] Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A., Kudabayeva A.D., Voetsky A.E. Catalog of ground motion parameters according to the data of the digital strong motion network in the territory of Almaty for 2000-2021. Almaty: 2022. 180 p. (in Russian)
- [5] Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A. Seismic ground motion variations resulting from site conditions. Geodesy and Geodynamics Vol.5 No. 2 May 2014. P.9-15.
- [6] Silacheva N., Bindi D., Pilz M., Parolai S. Assessment of the impact of local conditions in Almaty on the basis of available microvibration and earthquake data. Proceedings of the NAS of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Engineering Sciences. 2011. 3. P. 54-61. (in Russian)
- [7] SPRK 2.03-30-2017*. Construction in seismic zones. Nur-Sultan, 2021. 110 p. (in Kazakh, in Russian)
- [8] SPRK 2.03-31-2020. Development of the territory of Almaty taking into account seismic microzoning. Nur-Sultan, 2020. 61 p. (in Russian)

PROBABILISTIC DETAILED SEISMIC ZONING OF REGIONS IN KAZAKHSTAN (PGA CASE)

Abstract. The main results of a probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) of the territories of East Kazakhstan (since 2022 EKO and Abay), Almaty (since 2022 Almaty and Zhetysu) and Zhambyl regions of Kazakhstan are presented for the case of seismic effect representing in peak ground accelerations. The study was carried out within the framework of the research project "Seismic hazard assessment of regions and cities of Kazakhstan on the modern scientific and methodological basis" in 2021-2023. The state of PSHA in Kazakhstan is characterized. The technique and stages of the probabilistic analysis and the detailed seismic zoning in accelerations are considered. The developed maps are shown and characterized.

Аннотация. Представлены основные результаты вероятностного анализа сейсмической опасности (ВОСО) территорий Восточно-Казахстанской (с 2022 г Жамбылской и Абайской), Алматинской (с 2022 г. Алматинской и Жетысуской) и Жамбылской областей Казахстана для случая представления сейсмического эффекта в пиковых ускорениях грунта. Работа выполнена в рамках исследовательского проекта "Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе" в 2021-2023 гг. Охарактеризовано состояние оценки сейсмической опасности в Казахстане. Рассмотрены методика и этапы выполнения вероятностного анализа и детального сейсмического зонирования в ускорениях. Представлены полученные карты.

Until recently, Kazakhstan's regulatory documents regulating construction in seismic areas were based on a deterministic assessment of seismic hazard, and the main parameter describing the seismic effect was the macroseismic intensity [1]. With the transition of the construction state standards of the Republic of Kazakhstan to the basic principles of Eurocode 8 [2], seismic zoning maps corresponding to these principles were developed. The new general seismic zoning of the territory of Kazakhstan [3, 4] and seismic microzoning Almaty city [5, 6] (most high seismic city in our country) were carried out on a fundamentally new for the country methodical basis. The new zoning maps became probabilistic and expressed both in macroseismic intensities and quantitative parameters – peak ground accelerations (PGA).

In the new research project, carried out by the Institute of Seismology of Kazakhstan in 2021-2023 "Seismic hazard assessment of regions and cities of Kazakhstan on the modern scientific and methodological basis" all elements of PSHA have been updated. We use the comprehensively revised and updated catalog. A seismic source model includes not only areal sources as before, but also active faults. Sets of ground motion models (GMMs) have been updated. The OpenQuake software was used both for calculations in PGA and macroseismic intensities. The project is the first stage of ongoing work and includes detailed seismic zoning (DSZ) of three administrative regions (oblasts) – East-Kazakhstan (East-Kazakhstan and Abay since 2022), Almaty (Almaty and Zhatysu since 2022) and Zambyl oblasts and seismic microzoning (SMZ) of Ust-Kamenogorsk city. In this paper we will focus on the issues of DSZ.

The whole scopes of study on the project covered such areas as geological-geophysical criteria of SHA, structural-tectonic criteria of SHA, seismicity and seismic regime, macroseismic data, GMMs selection and testing, source mechanisms and parameters of seismo-tectonic deformations, regional map of seismo-generative zones, map of active faults, catalog of earthquakes and seismic regime, seismic source model (active fault, areal and hybrid), PSHA and mapping in PGA and macroseismic intensities, etc.

Probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) procedure included identification and characterization of faults and area zones and creation of seismic source model; magnitude-frequency distribution in seismic sources; evaluation of the generated ground motion and estimation of the probability that the ground motion will be exceeded during a particular time

period. We applied Cornell's [7] methodology, but using the methodological formalism of Field et al. [8], implemented in the OpenQuake Engine software [9]. Mathematically PSH is described by the expression

$$\lambda(a) = \sum_i v_i \iint P[A > a | m, r] f_{M_i}(m) f_{R_i|M_i}(r; m) dr dm,$$

where a is the specified ground motion amplitude, $\lambda(a)$ – annual frequency of earthquakes that produce a ground motion amplitude A higher than a (PGA, PGV, SA, MSK, etc). The summation extends over all source zones, v_i is the annual rate of earthquakes with magnitudes higher than a threshold m_i source i . $f_{M_i}(m)$ and $f_{R_i|M_i}(r; m)$ are probability density functions on m and r respectively. $P[A > a | m, r]$ is the probability that an earthquake of magnitude m at distance r produces a ground motion magnitude A at the site that is greater than a . Calculations were made for two probabilities of exceedance 10% and 2% in 50 years.

We used the comprehensively improved earthquake catalog for Central Asia, developed in the international ISTC Project “Central Asia Seismic Hazard Assessment and Bulletin Unification” (CASHA-BU). In that project completed last year a huge volume of data, collected by several generations of seismologists, was digitized, systematized, reprocessed, and converted to a format suitable for different tasks of seismology. Full catalog includes about 442.500 earthquakes. The work on the full catalog is not finished yet, but for the needs of PSHA in Central Asia and Kazakhstan, a complete catalog has been created on its basis [10].

Source model includes active faults and areal sources. Areal polygons were outlined taking into account the seismicity pattern, important topographic and tectonic characteristics and theoretically estimated seismic potential.

Modeling of active faults in the territory of Kazakhstan is complicated due to insufficient knowledge of the characteristics of most faults and, as a consequence, the lack of the required parameters for hazard analysis input (like, kinematic parameters or slip rates). To decrease errors we used two models of active faults, one based on the Active Fault Data Base created in this project with use of materials accumulated in our Institute for long period of previous geological-geophysical studies and another based on the Data Base of active faults of Eurasia (AFEAD) created by the Geological Institute of Russian Academy of Sciences [11].

Available analog records of the regional strong motion network operated in 1980-1996 were digitized in addition to later digital records for testing selected GMMs. We performed a comprehensive study on GMMs selection for seismically active regions of Kazakhstan, and tested their applicability with use of the regional data. The territory of the considered oblasts is characterized by active and partially by stable seismotectonic regimes. The upgraded GMM logic tree for active regions included weighted models of Akkar and Bommer, 2010 [12], Zhao et al, 2016 [13], Abrahamson et al, 2014, Boore et al, 2014, Chiou and Youngs, 2014 (NGA-WEST2 models [14], for stable areas –Boore, 2015, Darragh et al, 2015, Spahjouei and Pezeschk, 2015 and Yenier and Atkinson, 2015 (NGA East models [15]).

Probabilistic analysis was carried out with use of the OpenQuake Engine software [9]. The seismic source logic tree included two models - a combination of areal sources with two active fault models. The GMM logic tree included sets of five models for active crustal earthquakes and four for earthquakes in stable regions.

The analysis was carried out for two probabilities of exceedance - 10% and 2% in 50 years (return period 475 and 2475 years, respectively). The calculations were performed in the average values of the geometric mean peak ground accelerations (PGA in fractions of g) for the territory of the considered oblast on a grid with an interval of 5 km in both directions. For each calculated point, the impact from seismic sources located within a radius of 300 km was taken into account, with respect to their seismotectonic regime. Soil conditions correspond to rocky and rock-like geological formations, for the surface 30-meter strata of which are typical shear wave propagation velocities $V_{s30} \geq 800$ m/s.

The obtained DSZ maps of the East Kazakhstan (since 2022 EKO and Abay) oblast are shown in Figure 1, hazard curves and uniform hazard spectra for the main cities in the region -

Ust-Kamenogorsk and Semey - are shown in Figure 2. The maximum PGA level is predicted in the east of the region and is caused by highly seismic seismogenerative zones - Saur and Tarbagotai in the southeast, Naryn and Rakhmanov in the east, as well as by a high density of strong earthquakes in the south-eastern part.

DSZ maps of the Almaty oblast are shown in Figure 3, hazard curves and uniform hazard spectra for the main cities in the oblast - Almaty and Taldykorgan - in Figure 4. The maximum PGA values are expectedly obtained for areas located southeast of Almaty, which corresponds to the location of the most seismically dangerous Zaili, Kemin and North Kungeiseismogenerative zones, as well as in the area of the South Dzhungarseismogenerative zone.

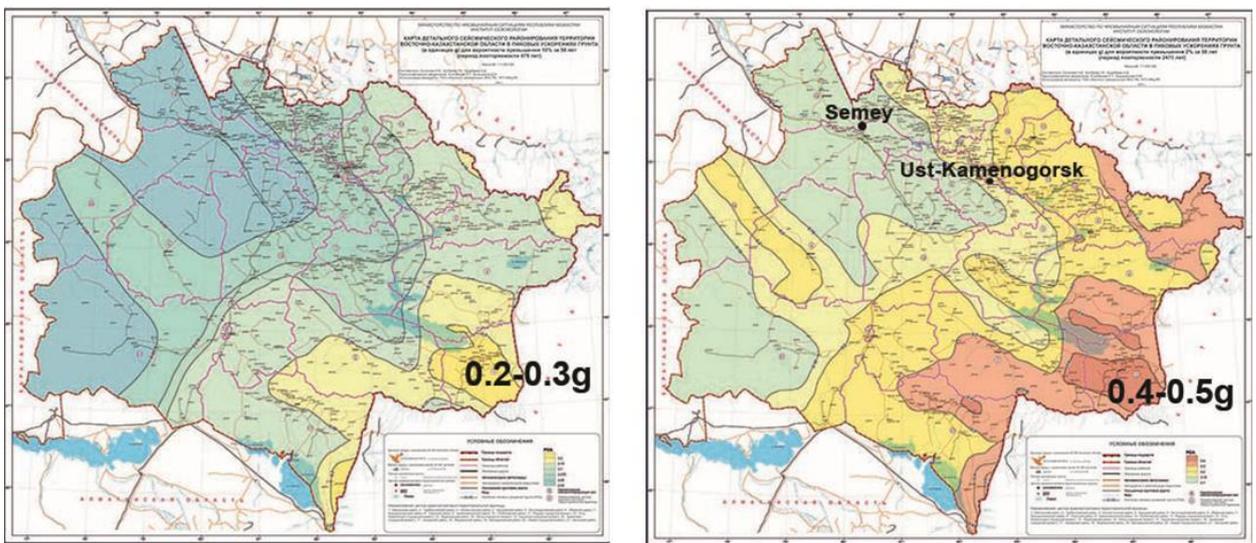


Figure 1. DSZ map of East Kazakhstan Oblastin PGA for 10% (left) and 2% (right) probability of exceedance in 50 years. Maximum PGA values are shown

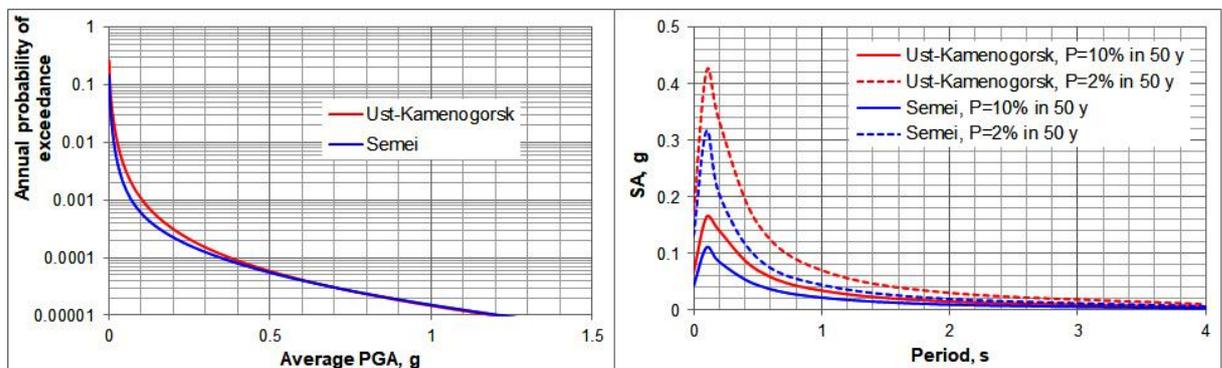


Figure 2. Hazard curves (left) and uniform hazard spectra (right) for the main cities in theEast Kazakhstan oblast

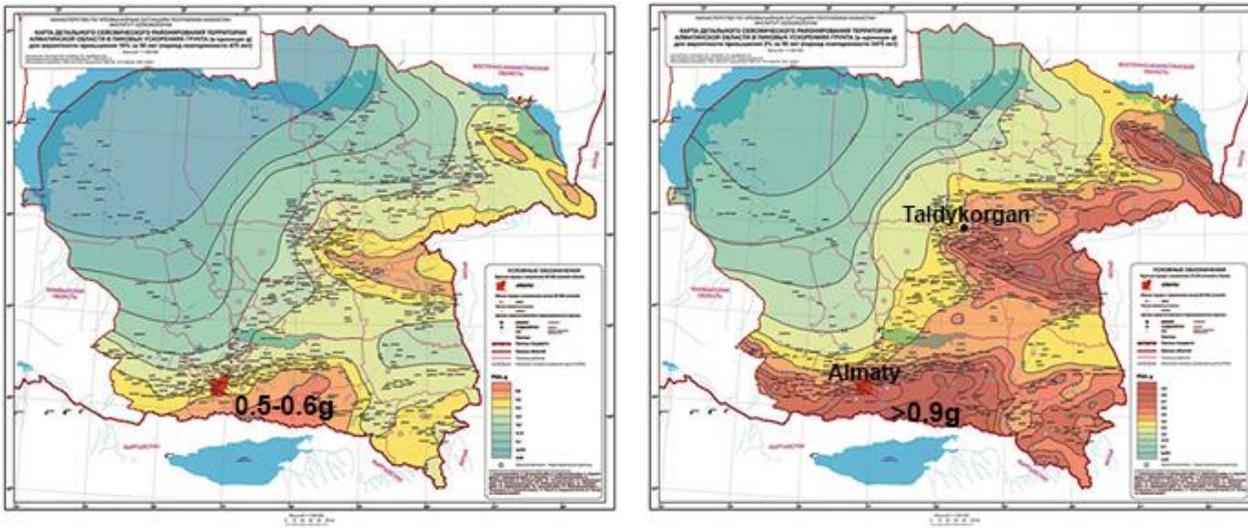


Figure 3. DSZ map of Almaty Oblast in PGA for 10% (left) and 2% (right) probability of exceedance in 50 years. Maximum PGA values are shown

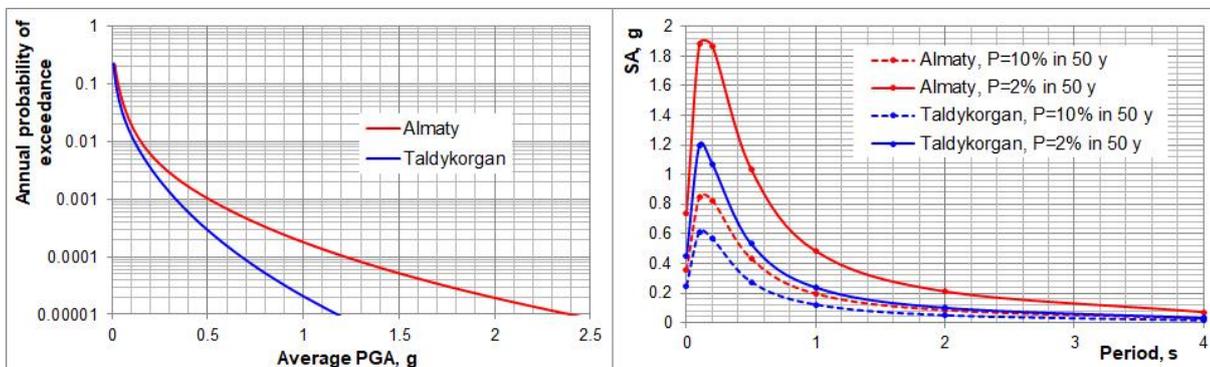


Figure 4. Hazard curves (left) and uniform hazard spectra (right) for the main cities in the Almatay oblast

The study on Zhambyl oblast is carried out this year and not finished yet. Preliminary schemes of PGA distribution for the Zhambyl Oblast are shown in Figure 5, hazard curves and uniform hazard spectra for the main cities in the oblast – Taraz, Zhanatas, Shu, Karatau - in Figures 6 and 7. The PGA level increases from north to south towards the highly seismic regions at southern border of Kazakhstan. The maximum values are predicted in the southeast in the zone of the Zhetyzhol and Kendyktas active faults.

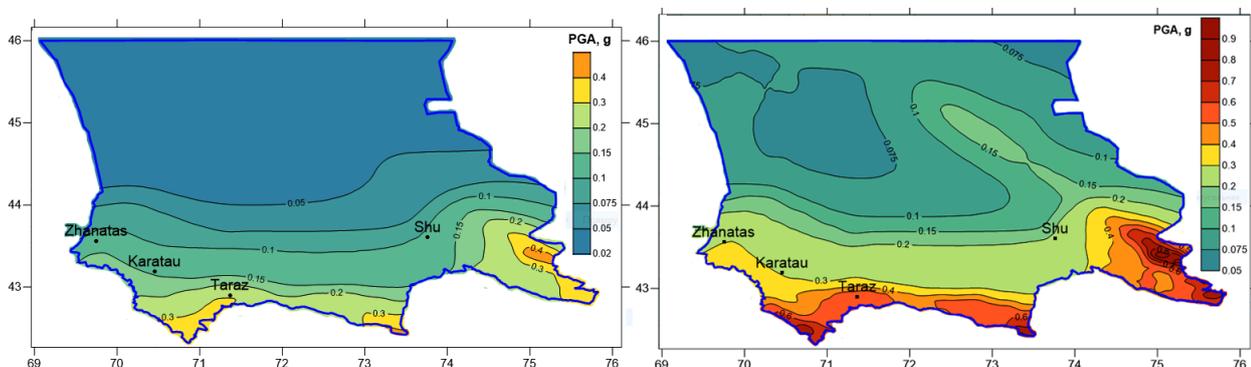


Figure 5. Preliminary DSZ schemes for the Zhambyl oblast in PGA for 10% (left) and 2% (right) probability of exceedance in 50 years

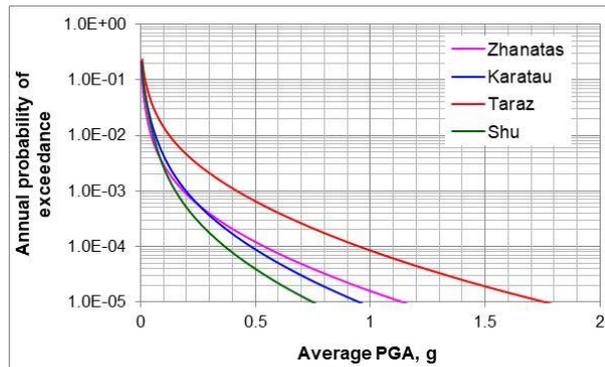


Figure 6. Hazard curves for the main cities in the Zhambyl oblast (rock conditions)

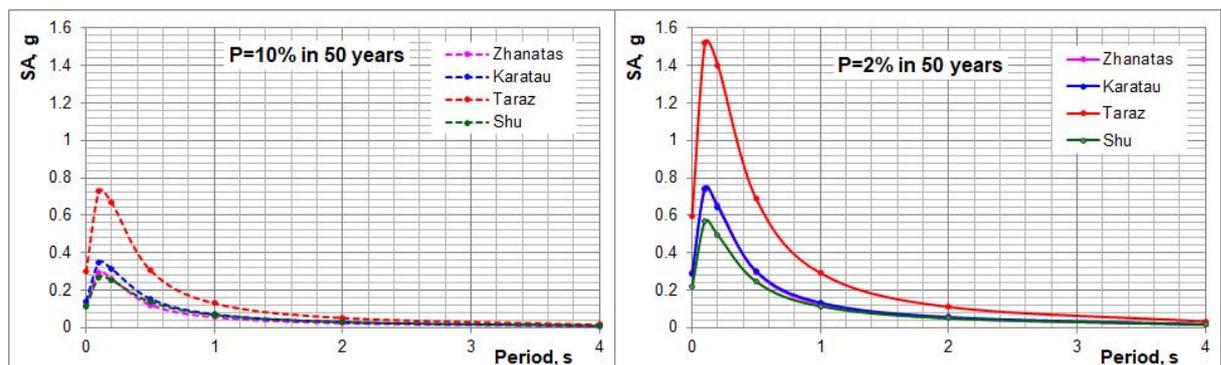


Figure 7. Uniform hazard spectra for the main cities in the Zhambyl oblast (rock conditions)

Work on DSZ of other oblasts and SMZ of some earthquake prone cities of Kazakhstan is expected to be continued within the framework of a new project in 2024-2026 to further improve the country's seismic safety and preparedness for probable future strong earthquakes.

References

- [1] Silacheva, N. On the Probabilistic Seismic Hazard Assessment in Kazakhstan. *GeotechGeolEng* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02345-w>
- [2] SN RK EN 1998-1:2004/2012, Eurocode 8: Design of earthquake-resistant structures - Part 1: General rules, seismic impacts and rules for buildings. BR of the Republic of Kazakhstan, Almaty, 2011.
- [3] Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A. (2018) Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations. *Geodesy and Geodynamics*, 9(2),131-141.
- [4] SP RK 2.03-30-2017. Construction in seismic zones.Code of Rules of the Republic of Kazakhstan.Astana, 2017.110 p.
- [5] Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A. (2020) On the realization of seismic microzonation of Almaty (Kazakhstan) in ground accelerations based on the “continual” approach.*Geodesy and Geodynamics*, 11(1), 56-63 (in Eng.)
- [6] SP RK 2.03-31-2020. Development of the territory of the city of Almaty, taking into account seismic microzoning, Code of Rules of the Republic of Kazakhstan.Astana, 2021.61 p.
- [7] Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58, 1583–1606
- [8]Field, E.H., Jordan, T.H., Cornell, C.A., 2003. OpenSHA: A Developing Community-modeling Environment for Seismic Hazard Analysis. *Seismol. Res. Lett.* 74, 406–419
- [9]Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., others, 2014. OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model. *Seismol. Res. Lett.* 85, 692–702.
- [10] Onur T., Gök R., Mackey K., Abrams K., Berezina A., Mikhailova N., Bekturganova. B., Murodkulov. Sh., Bondar I., Herrera C. Central Asia Seismic Hazard Assessment (CASHA) “Complete” Catalog Of Earthquakes. LLNL-TR-828313.
- [11] Zelenin E.A, Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I. The Active

Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. 2022. vol. 14. p. 4489-4503

[12] Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Bommer, J.J. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East, *Bull. Earthq. Eng.* 12(1) (2014) 359–387

[13] Zhao, J.X., Zhou, Sh., Zhou, J., Zhao, Ch., Zhang, H., Zhang, Y., Gao, P., Lan, X., Rhoades, D., Fukushima, Y., Somerville, P. G., Irikura, K. Ground-Motion Prediction Equations for Shallow Crustal and Upper-Mantle Earthquakes in Japan Using Site Class and Simple Geometric Attenuation Functions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 2016. V. 106(4). P.1552–1569.

[14] Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Campbell, K.W., Rowshandel, B., Y., Shantz, T. NGA-West2: A Comprehensive Research Program to Update Ground Motion Prediction Equations for Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regions. Proceedings of the 15 WCEE, Lisboa (2012).

[15] Goulet, C.A., Bozorgnia, Y., Kuehn, N., Al Atik, L., Youngs, R.R., Graves, R.W., Atkinson, G.M. NGA-East Ground-Motion Characterization model part I: Summary of products and model development, Earthquake Spectra, 2021. <https://doi.org/10.1177/87552930231173454>

Степаненко Н.П., Кайдаш Т.М., Курилова О.К., Еркинова А.Б.

ТОО «Институт сейсмологии»МЧС РК

пр. Аль-Фараби 75а, 050060, г. Алматы, Казахстан

Телефон 8(727) 269-46-05, 87055070108, E-mail: kurilova.o@mail.ru

СТРУКТУРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. По комплексу геофизических, геолого-тектонических и сейсмологических данных выявлены структурно-геофизические, структурно-тектонические критерии оценки сейсмической опасности Восточного Казахстана. Охарактеризованы наиболее принципиальные элементы глубинной структуры коры орогенов и платформенных территорий, определяющие формирование сейсмогенерирующих структур. Создана карта тектонических разломов с атрибутивной базой данных, активность которых подтверждается современной сейсмичностью. Разработана региональная сеймотектоническая модель реальных и потенциальных зон возникновения очагов землетрясений (сейсмогенерирующих зон), являющихся источником возможных сейсмических воздействий на жилые и промышленные объекты исследуемой территории.

Annotation. According to the complex of geophysical, geological-tectonic and seismological data, structural-geophysical, structural-tectonic criteria for assessing the seismic hazard of East Kazakhstan have been identified. The most fundamental elements of the deep structure of the crust of orogens and platform territories that determine the formation of seismogenerating structures are characterized. A map of tectonic faults with an attribute database has been created, the activity of which is confirmed by modern seismicity. A regional seismotectonic model of real and potential zones of occurrence of earthquake foci (seismogenerating zones), which are a source of possible seismic impacts on residential and industrial facilities of the studied territory, has been developed.

Решающий вклад в разработку объективных моделей формирования сейсмогенерирующих зон и оценку физических условий подготовки землетрясений вносят результаты глубинных геофизических исследований, которые позволяют выделить в земной коре и верхней мантии структурные неоднородности, играющие важную роль в современной сейсмической активности. Геофизические данные, подтверждая основные закономерности тектонического строения земной коры, установленные геологическими исследованиями, позволяют оценить их количественно. При этом ведущая роль в проведении геофизических исследований принадлежит сейсмическим методам, обеспечивающим объективным информационным каркасом процесс комплексной

интерпретации геофизических материалов. Одной из составных частей геофизической основы геодинамического районирования литосферы являются данные, характеризующие внутреннюю структуру земной коры и верхней мантии – скорость распространения продольных волн [1].

Территория Восточного Казахстана покрыта сетью профилей глубинных многоволновых сейсмических наблюдений, для которых разработаны двумерные Р-скоростные модели коры и верхней мантии до глубины 70 км в цифровом виде и в изолиниях. Исходной информацией для их формирования явились материалы глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ, МОВЗ) [1]. В труднодоступных высокогорных областях Джунгарии, Алтая, где из-за сложности рельефа невозможно провести глубинное сейсмическое зондирование, применялась методика профильной сейсмической томографии, основанная на обработке данных о вступлении продольных волн, регистрируемых от местных землетрясений [2].

Однако, при интерпретации скоростных характеристик исследуемой среды двумерные модели не дают полного представления о морфологии выделенных структур, что снижает информативность таких моделей и не позволяет получить объективные признаки для реконструкции геодинамических процессов, в том числе землетрясений. Решение задачи по созданию объемной Р-скоростной модели земной коры и верхней мантии на основе двумерных профильных Р-скоростных моделей позволяет создать наиболее полную геолого-геофизическую модель строения исследуемой среды и дать оценку внутренней структуры в трехмерном пространстве.

Модель, в зависимости от решаемых задач, может быть представлена в виде срезов на различных гипсометрических уровнях, разрезов в любом требуемом направлении или набором структурных схем характерных скоростных уровней и мощности слоев между ними. Наиболее информативными, с позиций возможности выявления контрастных внутрикоровых неоднородностей, влияющих на формирование пространственного режима сейсмичности, являются: мощность сиалического (гранито-гнейсового) слоя между скоростными уровнями $V_p=5,6-6,4$ км/с, мощность базитового слоя ($V_p=6,4-7,2$ км/с), рельеф подошвы коры, мощность активной мантии (между подошвой коры и скоростным уровнем 8,0 км/с) [3].

Мощность верхнего сиалического слоя на территории Восточного Казахстана (рисунок 1а) варьирует в пределах 0-35 км. Количественная оценка значений этого параметра устойчиво связана с сейсмичностью: меньшие характерны для асейсмичной или слабосейсмичной нормальной платформенной коры, аномально высокие – для высокосейсмичной коры орогенов. При этом слабая сейсмичность платформенной территории преимущественно приурочена к зонам локальных аномалий мощности слоя Центрально-Казахстанского свода, Алакольской впадины, Северо-Казахстанского свода. Его аномально повышенная мощность (более 35 км) отмечена в пределах Рудного Алтая, является одним из наиболее характерных структурно-геофизических признаков ее высокой сейсмичности, что подтверждается концентрацией очагов землетрясений, произошедших на этой территории. На Алтае в зоне сочленения Кальбинского и Нарымского хребтов в разное время были зафиксированы землетрясения с магнитудой $M=4-5$. Эта область совпадает с локальным повышением мощности сиалического слоя до 20 км. На территории Зайсанской впадины, где были зафиксированы землетрясения с $M=5,5-6,5$, также отмечены зоны повышенных значений до 25 км.

Для обобщенного базитового слоя консолидированной коры (рисунок 1б) в общих чертах характерно обратное соотношение мощности на платформе и в орогенах. Однако, в деталях диапазон значений мощности этого слоя на платформе варьирует в больших пределах (15-35 км), чем в орогенах (15-25 км). Пониженные значения мощности слоя отмечаются на локальном участке в Южно-Прибалхашской впадине и на Алтае (<15 км). Аномально высокая мощность отмечена в пределах слабосейсмичного Центрально-Казахстанского свода (>35 км). Более дифференцированная структура обобщенного

базитового слоя определяется, в основном, сложной формой рельефа поверхности скоростного уровня 6,4 км/с, разделяющего этот слой с вышележащим сиалическим, обусловленной структурными выступами и включениями в него. Несмотря на отмеченные осложнения, в целом структура поверхности скоростного уровня 6,4 км/с характеризуется более плавными формами, а также повышенным гипсометрическим положением на платформе и пониженным – в пределах орогенов на юге территории. Основное достоинство схемы обобщенного базитового слоя, заключается в том, что осложнения выявлены не только в пределах орогенов, где они ожидаемы, но и на платформе.

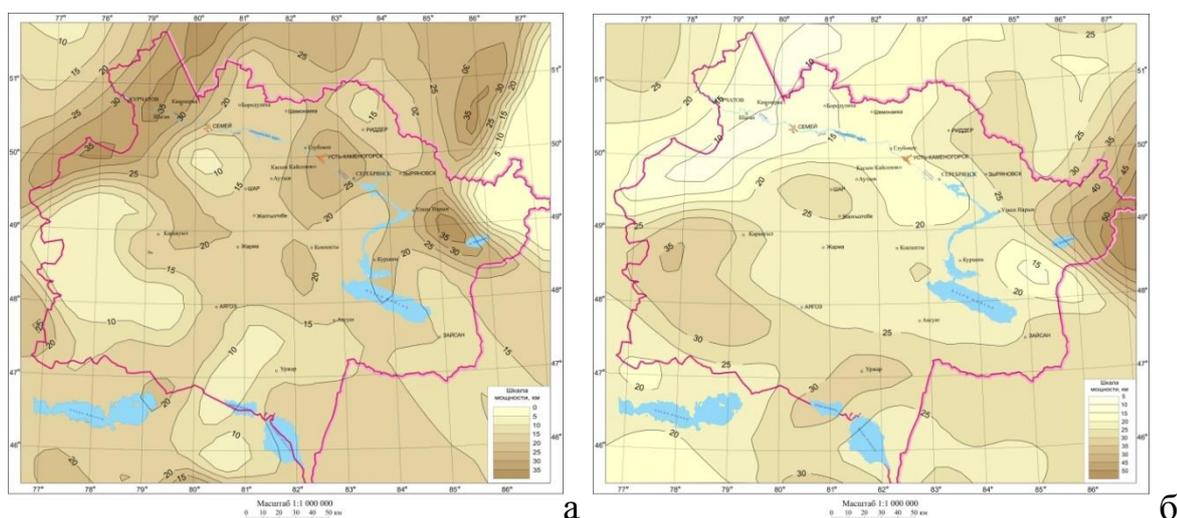


Рисунок 1– Структурные схемы: а – мощности сиалического слоя консолидированной коры, б – мощности обобщенного базитового слоя консолидированной коры Восточного Казахстана

Важным критерием сейсмичности является рельеф поверхности Мохо (подошвы земной коры), структурная схема которого (рисунок 2а) разработана в результате обобщенных построений с единых методических позиций и увязки различных материалов глубинных сейсмических зондирований с учетом опубликованных и фондовых данных большого числа авторских данных [3].

Гипсометрическое положение подошвы коры отражает глубинные геодинамические процессы и находится в соответствии с распределением альпийских структур региона, причем области ее наибольшего погружения приурочены к орогеническим поясам. Глубина залегания подошвы коры колеблется в пределах 40-46 км в западной, северной, южной и центральной частях планшета. В восточном горном регионе Алтая она увеличивается до 55 км. В обоих случаях на описываемой территории наблюдается увеличение мощности коры в восточном и юго-восточном направлениях с частым чередованием и сложной формой изолиний в Рудном Алтае и их относительно плавной – в Горном Алтае. Ее сложная форма со значительными колебаниями глубины залегания, пространственно контролируемые обновленными в новейшее время зонами глубинных разломов, является однозначным признаком высокой сейсмической активности центральной и северо-восточной частей территории Восточного Казахстана.

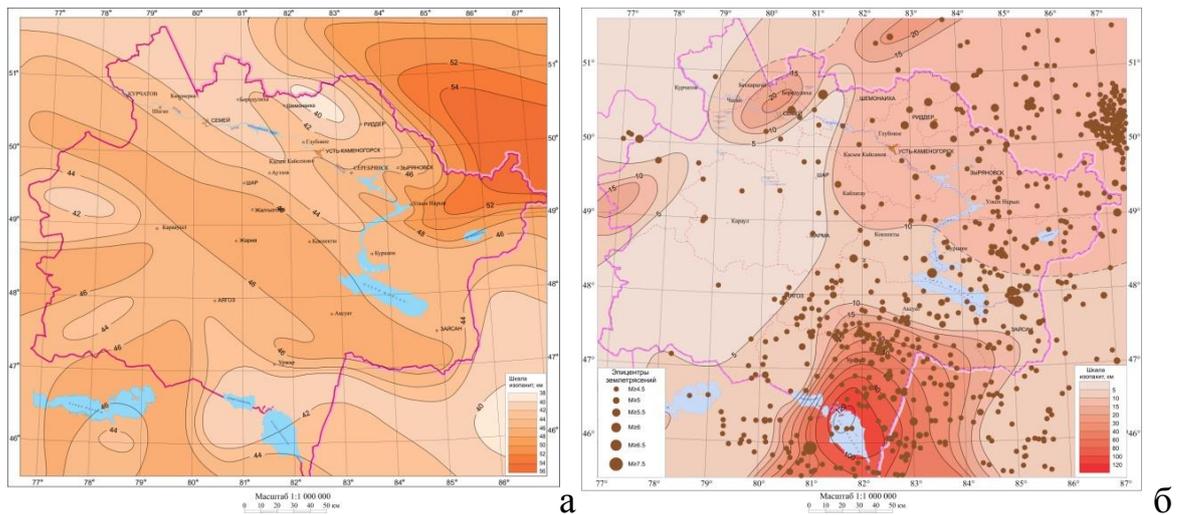


Рисунок 2 – Структурные схемы: а – подошвы земной коры, б – мощности активной мантии Восточного Казахстана

При сопоставительном анализе результатов объемного моделирования с распределением в геологической среде очагов сильных землетрясений установлено, что одним из важнейших критериев геодинамической (в том числе сейсмической) активности литосферы является наличие активной мантии, характеризующейся низкими значениями скорости и аномально высокой температурой. Понятие активной мантии и его экспериментальное обеспечение обоснованы в работах [4-7]. В верхней мантии выявлено сложное гетерогенное поле скорости V_p , характеризующееся серией чередующихся неоднородностей, аномально высоко- и низкоскоростных по отношению к нормальным значениям (рисунок 2б). Высокоскоростные включения интерпретируются как охлажденные протоплюмы (слэбы), испытывающие в настоящее время опускание под действием гравитации, а низкоскоростные – как восходящие потоки (плюмы) разогретого вещества мантии (глубинные энерговоды). При продвижении вверх разогретое вещество мантии постепенно занимает весь подкоровый объем в пределах орогена, контролируя его высокосейсмичные территории. Низкоскоростные неоднородности ($V_p=7,6-8,0$ км/с) отнесены к активной мантии, как отличающиеся повышенной интенсивностью физико-химических преобразований, обуславливающих спектр геодинамических процессов. При сопоставлении структурной схемы активной мантии с картами эпицентров землетрясений установлена устойчивая зависимость: очаги сильных землетрясений ($M \geq 6$) повсеместно фиксируются в пределах орогенов, подстилаемых слоем активной мантии повышенной мощности ($H > 8$ км). На асейсмичных территориях активная мантия отсутствует ($H = 0$ км), а в переходных зонах от асейсмичных к высокосейсмичным активная мантия выклинивается ($0 \text{ км} \leq H \leq 8 \text{ км}$).

На обширной территории между Джунгарским Алатау и Тарбагатаем, где мощность активной мантии достигает 120 км, отмечено наибольшее скопление очагов сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6$. Практически всю казахстанская часть Алтая подстилается активной мантией мощностью более 10 км. В Южном и Рудном Алтае также были зафиксированы землетрясения $M=5-6$. Локальные участки повышенной мощности до 15 км отмечаются на западной и юго-западной границах планшета: между северным окончанием гор Агузбель и хребтом Канчингиз, расположенных на восточной окраине Казахского мелкосопочника, на границе с Южно-Прибалхашской впадиной. Меньшие по площади локальные участки выделены в Прииртышской равнине, расположенной на севере планшета в зоне сочленения Западно-Сибирской синеклизы с Северо-Казахстанским сводом. Здесь мощность активной мантии достигает 20 км. Этот регион традиционно считался асейсмичным, но с получением новых данных о строении коры и мантии его следует отнести к сейсмически активным. На платформенных территориях

(Туранская низменность, Казахский щит), где мощность активной мантии составляет менее 5 км, зафиксированы землетрясения с магнитудой не более 4,5.

Связь пространственного положения очагов сильных и умеренных землетрясений с наличием объемов активной мантии подтверждает возможность рассматривать присутствие активной мантии в качестве одного из критериев современной геодинамической нестабильности литосферы Восточного Казахстана и выделения по ним сейсмогенерирующих зон.

При выявлении структурно-тектонических критериев сейсмичности проведен анализ новейших тектонических движений и их интенсивности в различных неотектонических областях. Важным показателем сейсмичности региона является наличие активных разломов. Активные разломы различных морфокинематических типов играют ключевую роль в контроле сейсмичности региона исследований. Разрывные дислокации ограничивают подвижные блоки и образуют закономерно ориентированные системы, изучение которых создает предпосылки для выявления структурных критериев локализации очагов землетрясений [8]. Современные ГИС-системы баз данных представляют удобную форму для работы и интерпретации больших объемов информации. Исследовались разломы, активность которых подтверждается современной сейсмичностью по данным инструментальных исследований и анализа космоснимков, снимков ДЗЗ (рисунок 3а). Атрибутивная база данных содержит сведения по 26 географически привязанным объектам (разломам и их сегментам с признаками последних перемещений в позднем плейстоцене и голоцене): их названия, сегментацию, длину сегментов и их географические координаты, данные о кинематике (направлении перемещений), азимут простирания, угол падения, скорости движений, расчетную магнитуду M_w [9].

Бюллетени инструментальных сейсмологических исследований и анализ архивных данных показали, что на территории Восточного Казахстана происходили и происходят тектонические землетрясения [10]. Из-за того, что сильные землетрясения редки, многие очаговые зоны, постоянно действующие в геологическом масштабе времени, мало изучены. В редких случаях имеются сейсмостатистические данные за промежутки времени, измеряемые сотнями или тысячами лет; но срок, в течение которых проводились инструментальные наблюдения в данном регионе, не превышает 80 лет. Максимальная магнитуда зарегистрированных землетрясений составляет $M=6,5$ и фоновая сейсмичность позволяет отнести регион к сейсмоопасным.

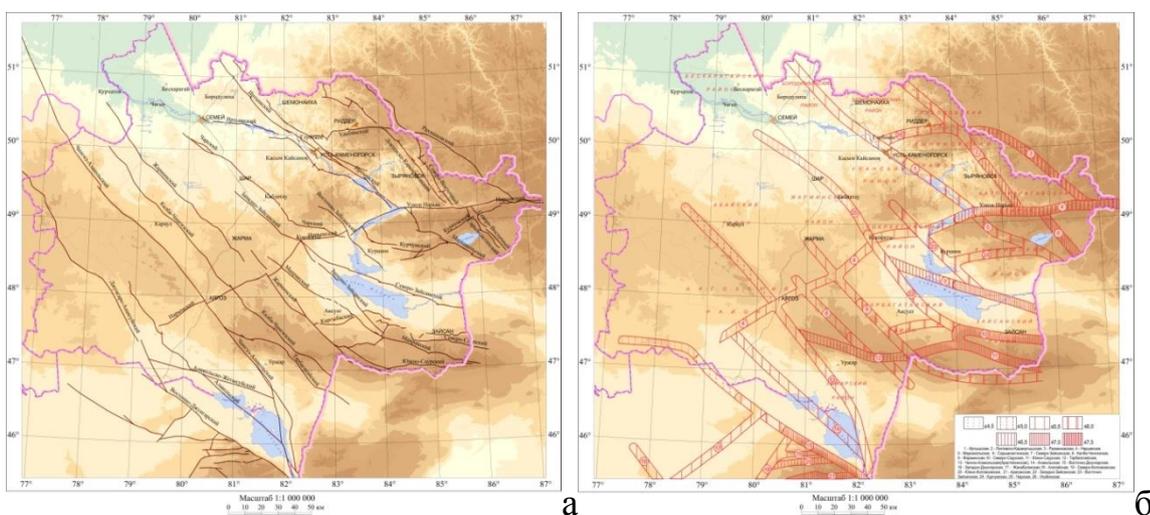


Рисунок 3: а – карта активных разломов, б – карта сейсмогенерирующих зон Восточного Казахстана

Обобщенный анализ и интерпретация геолого-геофизического, сейсмологического материала с позиции активной тектоники и ее роли в сейсмическом процессе исследуемого района позволили выявить закономерности размещения очагов

землетрясений и обосновать сейсмическую активность региона, оценить геотектонические элементы на разных глубинных уровнях установленные геологическими и геофизическими методами (мощность земной коры; региональные глубинные разломы; вещественный состав), выявить направленность движения основных геологических структур на неотектоническом этапе [11]. В результате проведенных исследований разработана сеймотектоническая модель (Карта сейсмогенерирующих зон) (рисунок 3б) территории Восточного Казахстана. Установленные геофизические, тектонические и сейсмологические критерии послужили основой дифференциации сейсмогенерирующих зон по максимальной магнитуде ожидаемых землетрясений.

Литература

- 1 Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Степаненко Н.П. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана // Алматы, "ЕВРАЗИЯ", 1993. - 105 с.
- 2 Шацлов В.И., Сайипбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии. // Доклады НАН РК. 1994. №6. - С. 47-52.
- 3 Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. / Под ред. Б.С. Ужкенова, Е. Нусипова. - Алматы, 2007. - 411 с.
- 4 Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Рахымбаев М.М. и др. Особенности структуры активной мантии территории Казахстана в связи с сейсмичностью // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. - Иркутск, 2005. Вып. 3. - С. 54-59.
- 5 Нусипов Е.Н., Шацлов В.И., Тимуш А.В. Картирование и особенности структуры активной мантии в связи с сейсмичностью территории Республики Казахстан // Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке. - Москва-Бишкек, 2006. - С. 85-88.
- 6 Maruyama Sh. Plume tectonics. // Jour. Geol.Soc.Japan, 1994, Vol. 100, №1. - P. 24-49. Jour/Geol.Soc.Japan, Vol.100, №1, 1994. - P.24-49.
- 7 Su W.-J., Woodward R.L., Dziewonski A.M. Degree 12 model of shear velocity heterogeneity in the mantle. // J.ofGeophys.Res. 1994. Vol.99, №134. - P. 6945-6980.
- 8 Активные разломы Казахстана и соседних регионов. Масштаб: 1: 2 500 000. / Отчет «Разработка карты общего сейсмического зонирования на территории Республики Казахстан.» - 2014 г.
- 9 Donald L. Wells; Kevin J. Coppersmith New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement Bulletin of the Seismological Society of America (1994) 84 (4): 974–1002.
- 10 Каталог землетрясений с древнейших времен по 2017 г. (EMCA). / Модель землетрясений в Центральной Азии.
- 11 Тимуш А.В. Сеймотектоника литосферы Казахстана. - Алматы: LuxeMediaGroup, 2011. - 590 с.

М.Ю.Маркин

ТОО «ГеоСтройСистема», Алматы,
Казахстан, markin_maxim@inbox.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИ РАЗЛОМОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ УСТЬ- КАМЕНОГОРСК (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Аннотация. Актуальность темы определяется необходимостью выявления геодинамически активных разломов, скрытых под мощными толщами осадочных пород, и оценки их текущей активности методами геофизики, что является важнейшей задачей при районировании территорий по сейсмической опасности и основой прогноза землетрясений.

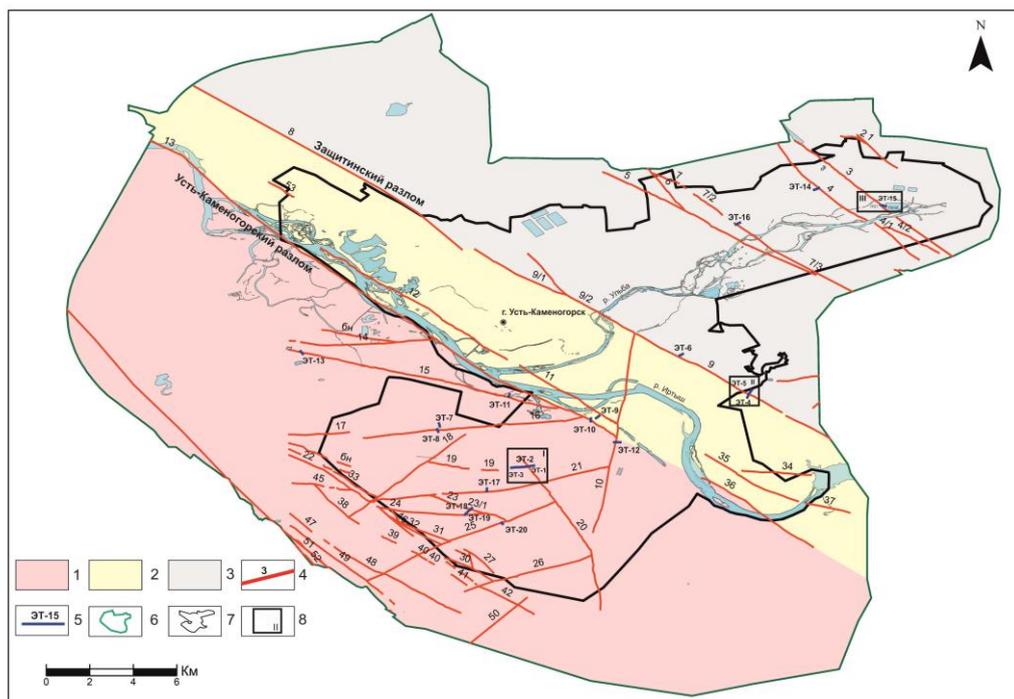
Annotation. The relevance of the topic is determined by the need to identify geodynamically active faults hidden under thick layers of sedimentary rocks and assess their current activity using

geophysical methods, which is the most important task in seismic hazard zoning and the basis for earthquake prediction.

Введение. Проявившиеся в последнее время серии разрушительных землетрясений в Турции и Сирии демонстрируют все более возрастающую активность литосферы, связанной с активизацией тектонических разломов. Выявление подобных разломов, скрытых под мощными толщами осадочных пород, и оценка их текущей активности является актуальной задачей при районировании территорий по сейсмической опасности и основой прогноза землетрясений [8]. Одним из таких потенциально опасных районов проявления землетрясений тектонической природы является город Усть-Каменогорск (Республика Казахстан), расположенный в пределах Иртышской зоны смятия (ИЗС). Целью данной работы является изучение строения разрывных нарушений методом электротомографии с использованием геологических данных на трех эталонных участках, соответствующих трем основным структурным подзонам Иртышской зоны смятия.

Материал и методы. Объектом исследования являются разрывные нарушения на территории г. Усть-Каменогорск (Республика Казахстан). В современных и в перспективных границах городская агломерация располагается полностью в пределах Иртышской зоны смятия (ИЗС) – одной из крупнейших тектонических структур западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса [1,4,5,6]. Иртышская зона смятия представляет собой классический пример региональной сдвиговой зоны и представляет собой глубинный разлом шириной от 1,5 до 20 км, протягивающийся по территории России, Восточного Казахстана (г. Рубцовск, г. Усть-Каменогорск) в Китай (г. Фуюн) и далее в Монголию более чем на 1000 км.

По особенностям внутреннего строения ИЗС подразделяется на 3 подзоны: Северо-Восточную, Осевую и Юго-Западную (рис. 1). Основные разломы (Усть-Каменогорский, Защитинский и др.) имеют северо-западное простирание. Городской блок в виде полосы шириной 3,5-4 км по отношению к Герасимовскому – опущен на менее чем на 300-500 м и является грабеном, заполненным аллювием рек Иртыша и Ульбы. Вдоль Усть-Каменогорского разлома протягивается русло р. Иртыш. Ульбинский блок поднят относительно городского на 200-300 м. Среди разрывных нарушений наиболее широкое распространение имеют продольные относительно ИЗС разломы, которые в комбинации с подчиненными поперечно-диагональными тектоническими разрывами обуславливают линейный или линзовидный складчато-блоковый характер ИЗС (рис. 1). О проявлении современной тектонической активности разломов свидетельствуют многочисленные балки, овраги, береговые уступы рек, фиксирующие изменения положения базисов эрозии. На это же указывают продольный и поперечный профили рек Иртыша и Ульбы, изобилующие пережимами и сужениями, а также весьма неравномерной мощностью аллювиальных отложений вследствие блокового строения подстилающих горных пород.



1 – 3 – Иркутская зона смятия: 1– осевая подзона; 2 – юго-западная подзона; 3 – северо-восточная подзона; 4 – разрывные нарушения и их номера; 5 – профили электротомографии и их номера; 7 – кадастровая граница г. Усть-Каменогорск, 8 – перспективная граница г. Усть-Каменогорск, 9 – участки исследований и их номера.

Рисунок 1. Схема района работ

Методика электротомографических исследований. Работы проводились методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в модификации электротомографии (ЭТ). Данная модификация позволяет исследовать сложно построенные среды и проводить интерпретацию в рамках двумерных моделей. Различные варианты использования ЭТ подробно описаны в работах [2,3,7]. Нами выполнялись дипольная, шлюмберже и прямая (обратная) трехэлектродная расстановки. При этом вынос электрода «бесконечность» производился на расстоянии не менее 5 АOmax (до 500 м.) перпендикулярно линии профиля. Во избежание индуктивных наводок в приемной линии использовался режим измерений на частоте 1,22 – 4,88 Гц с уровнем полезного сигнала не менее 5 мВ. Электротомографические профили выполнены с использованием 48-канальной установки и шагом между электродами 5 м. Максимальная длина расстановки, в зависимости от геоэлектрических условий и линейных размеров участков составила 235 м. Глубина исследования от 35 до 60 м. Работы были выполнены многоэлектродной электроразведочной станцией СКАЛА 48К12. Привязка точек начала и конца профилей ЭТ осуществлялась с помощью спутникового приемника Garmin GPSMAP. Инверсия данных электротомографии производилась с применением программного обеспечения ZondRes2D.

Результаты и обсуждение. Согласно рис. 1 участок I расположен в пределах юго-западной подзоны ИЗС. На данном участке выполнен профиль электротомографии общей протяженностью 690 метров, пересекающий разлом под № 20. Согласно полевым наблюдениям и анализа космических снимков разлом № 20 является сдвигом, его протяженность составляет 9379 км. азимут простирания – 310° , азимут падения – 221° , угол падения – 77° , по типу разрывного нарушения – крутой сдвиг.

Томографический разрез участка по профилю ЭТ-1 представлен двумя геоэлектрическими слоями (рис. 2). Первый слой выделен с поверхности, залегает до глубины 10-15 м. и представлен суглинками лессовидными и глинами. Значения удельного

электрического сопротивления (УЭС) слоя составили от 10 до 60 Ом·м. Второй геоэлектрический слой подстилает первый и прослеживается до глубины 35-45 м. значения УЭС слоя составили 90-200 Ом·м. Слой представлен дресвяно-щебенистым грунтом с суглинистым, супесчаным заполнителем.

Геоэлектрический разрез по профилю ЭТ-2 (рис. 2) представлен тремя геоэлектрическими слоями. Первый слой выделен с поверхности в левой части профиля, залегает до глубины 15-20 м., представлен суглинками лессовидными и глинами. Значения УЭС слоя составили от 10 до 60 Ом·м. Второй геоэлектрический слой залегает с поверхности по всей длине профиля и подстилает первый слой в левой части профиля. Мощность слоя меняется от 20 до 40 м. Значения УЭС слоя составили 90-400 Ом·м. Слой предположительно представлен дресвяно-щебнистым материалом с суглинистым и супесчаным заполнителем. В районе 70 пикета профиля с глубины 15-20 м выделен третий геоэлектрический слой со значением УЭС 600-1400 Ом·м. Слой подстилает дресвяно-щебенистые отложения и представлен выветрелыми, трещиноватыми гранитами и гранодиоритами. Мощность слоя составила около 30-35 м.

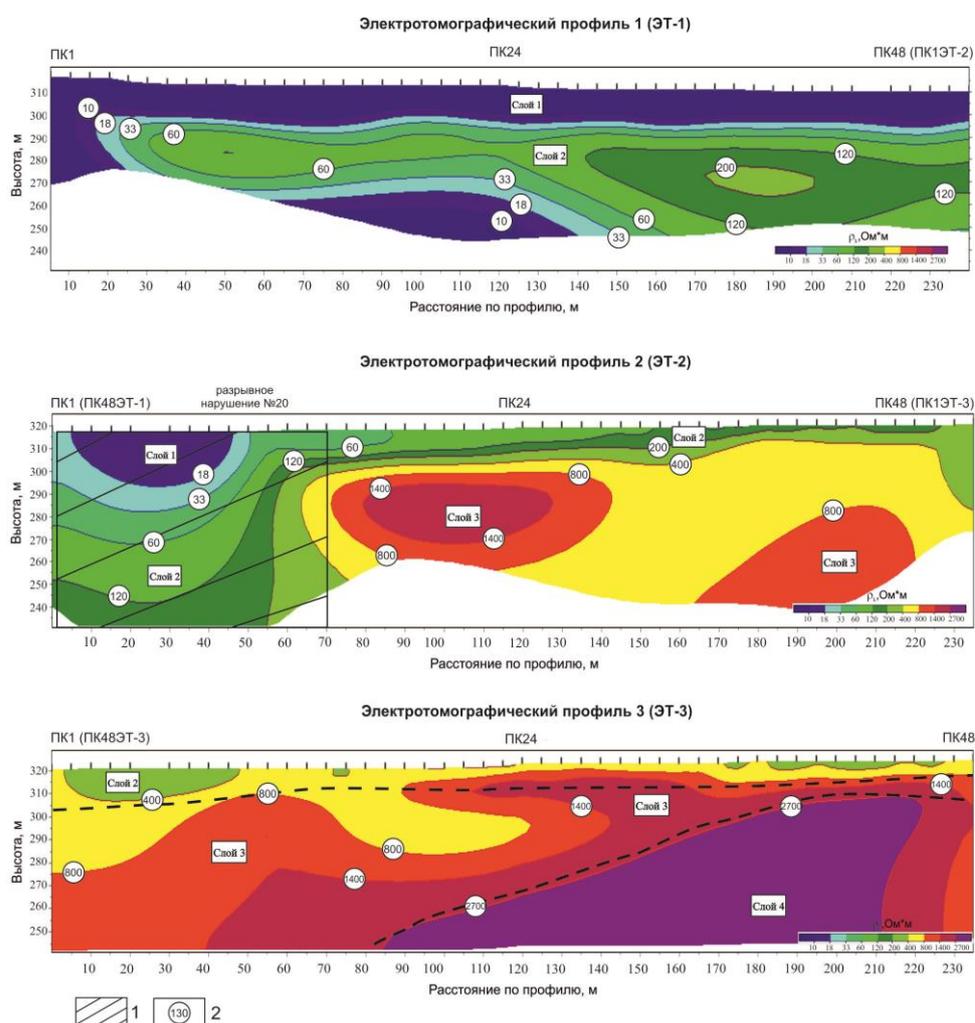


Рисунок 2. Результаты электротомографических исследований в пределах эталонного участка I: 1 – зона разрывного нарушения; 2 – значение удельного электрического сопротивления.

Геоэлектрический разрез по профилю ЭТ-3 (рис. 2) представлен тремя геоэлектрическими слоями. Первый слой выделен с поверхности, залегает до глубины 7-10 м, предположительно представлен дресвяно-щебенистым материалом с суглинистым, супесчаным заполнителем. Значения УЭС слоя составили от 200 до 600 Ом·м. Второй геоэлектрический слой подстилает первый слой. Мощность второго слоя меняется от 10 до 40 м, значения УЭС составили 600-1400 Ом·м. Слой представлен выветрелыми,

трещиноватыми гранитами и гранодиоритами. Ниже по разрезу выделен третий геоэлектрический слой. В левой части профиля кровля третьего слоя залегает с глубины 20-25 м и погружается к середине профиля до глубины 50-60 м. Значения УЭС слоя находятся в диапазоне от 1800 до 3000 Ом·м. Слой представлен слабо выветрелыми гранитами и гранодиоритами. На электротомографическом разрезе виден довольно контрастный переход между породами с хорошо выраженной разрывной структурой. Протяженность такой зоны по горизонтали составляет около 70 метров.

Согласно рис. 1 участок II расположен в пределах осевой подзоны ИЗС. На данном участке выполнено два профиля электротомографии (ЭТ-4, 5) общей протяженностью 460 метров. Профили электротомографии выполнены с перекрытием на конечных электродах, имеют общее направление с северо-востока на юго-запад, в крест простирания разрывного нарушения № 9. Согласно данным полевых маршрутов и анализа космоснимков общая протяженность разлома порядка 8924 км, по типу разрывного нарушения – крутой сдвиг (азимут простирания – 220° , азимут падения - 130° , угол падения – 75°).

Геоэлектрический разрез по профилям ЭТ-4, 5 (рис. 3) представлен двумя геоэлектрическими слоями. Первый слой выделен с поверхности до середины профиля ЭТ-5, залегает до глубины 5-10 м. и представлен дресвяно-щебенистым грунтом с суглинистым, супесчаным заполнителем. Значения УЭС слоя составили от 250 до 500 Ом·м. Второй геоэлектрический слой подстилает первый слой, в центральной и левой части профиля ЭТ-5 выделен с поверхности. Глубина залегания слоя прослеживается до 60 м. Значения УЭС слоя составили 600-1400 Ом·м. Слой представлен выветрелыми, трещиноватыми гранитами, гранодиоритами. В левой части профиля ЭТ-5 выделены высокоомные области со значениями УЭС от 2500 до 3800 Ом·м, представленные менее трещиноватыми, более прочными гранитами, гранодиоритами. Протяженность аномальной высокоомного участка в пределах разрывного нарушения №9 составляет до 195 м.

Согласно рис. 1 участок III расположен в границах северо-восточной подзоны ИЗС. На данном участке выполнен профиль электротомографии ЭТ-15, расположенный в крест простирания разрывного нарушения №3. Согласно данным полевых маршрутов и анализа космоснимков общая протяженность разлома порядка 9348 км, по типу разрывного нарушения – крутой сдвиг (азимут простирания – 300° , азимут падения - 210° , угол падения – 72°).

Геоэлектрический разрез по профилю относительно однороден и имеет значения УЭС от 130 до 450 Ом·м (рис. 4). Согласно геологической карте данного района представлен галечниковым грунтом с супесчаным заполнителем. Местами по разрезу выделены низкоомные области со значением УЭС 15-25 и 40-80 Ом·м. Области с пониженными значениями УЭС предположительно связаны с наличием суглинистых, глинистых отложений. Зона (разрывное нарушение №3) на ПК6-ПК29 характеризуется низкоомными сопротивлениями грунта. Для участка с разрывным нарушением №3 характерна высокоомная зона протяженностью до 21 м. (ПК190-ПК213) Низкоомные аномалии представлены суглинками и суглинистым материалом.

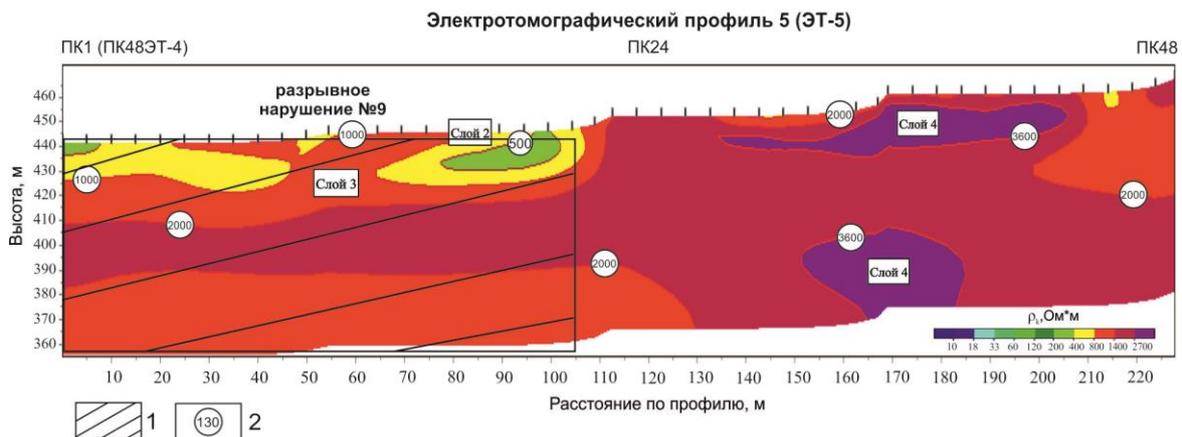
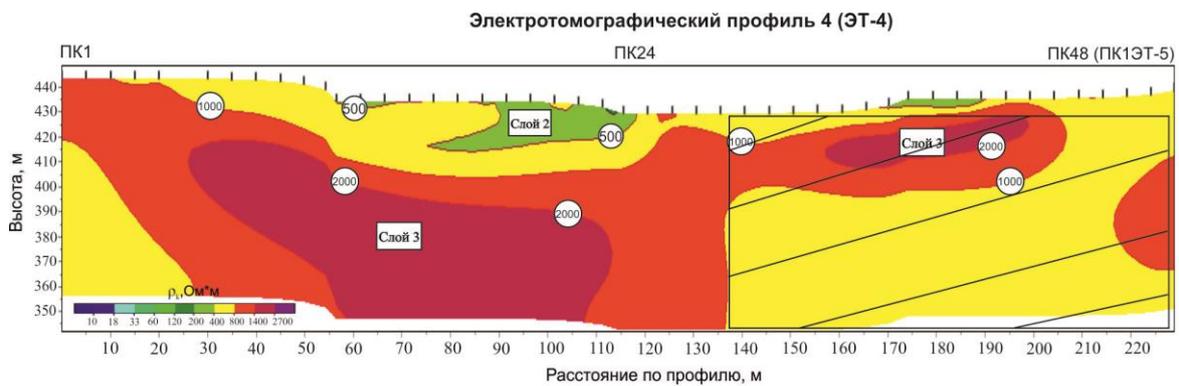


Рисунок 3. Результаты электротомографических исследований в пределах эталонного участка II: 1 – зона разрывного нарушения; 2 – значение удельного электрического сопротивления.

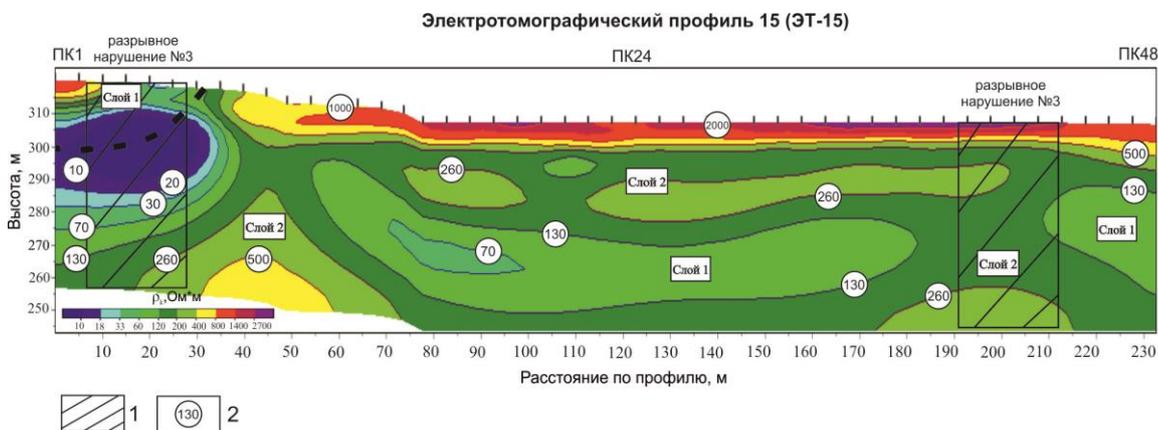


Рисунок 4. Результаты электротомографических исследований в пределах эталонного участка III: 1 – зона разрывного нарушения; 2 – значение удельного электрического сопротивления.

Заключение. Малоглубинная электротомография, использованная для исследования в пределах г.Усть-Каменогорск, позволила изучить особенности проявления и отражения разрывных нарушений в электрическом поле.

1. Выделенные разрывные нарушения характеризуются в основном северо-западным азимутальным направлением. Разрывные нарушения имеют крутой угол наклона смесителя. Породы в зонах разрывных нарушений сильно раздроблены, со скоплениями глинистого, милонитизированного материала с кварцево-кальцитовыми жилами. Породы, рассланцованные или мелкораздробленные до состояния щебня, дресвы и глины.

2. Величина удельного электрического сопротивления (ρ_{Σ}) определяется главным

образом типом вмещающих пород и физическим состоянием массива и прежде всего степенью его нарушенности.

3. Методы электроразведки, в частности электротомография, дает хорошее представление о строении зоны развития разрывного нарушения, даже в условиях отсутствия его выхода на поверхность. Такие зоны характеризуются низкими значениями сопротивлений относительно общего разреза.

Литература

1. Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области. // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. №1. – С. 63–81.

2. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 2. С. 14-17.

3. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. М., 1996, 50 с. // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". Выпуск 2.

4. Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52(1). – С. 66—90.

5. Добрецов Н.Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан). // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44(1-2). – С. 5–27.

6. Ермолов П.В., Полянский Н.В. Основные этапы тектонического развития Иртышской зоны смятия: по данным изотопного анализа циркона методом ШРИМП // Геология и охрана недр. 2008. № 3(28). С. 17-24.

7. Семинский К.Ж., Зарипов Р.М. Нарушенность скального массива и поле удельного электрического сопротивления в близповерхностной части земной коры тектонически активных регионов (на примере Западного Прибайкалья) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН – 2016. – Т. 57. №4. – С. 30–42.

8. Conti L., Picozza P., & Sotgiu A. A Critical Review of Ground Based Observations of Earthquake Precursors. // *Frontiers in Earth Science*. – 2021. – No. 9. – Article 676766. DOI:10.3389/feart.2021.676766

9. M. H. Loke and R. D. Barker, "Least-Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosections," *Geophysics*, Vol. 60, No. 6, 1995, pp. 1682-1690.

Ребецкий Ю.Л.

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН
г. Москва, reb@ifz.ru

ОПЫТ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ РАЗЛОМОВ ПО УРОВНЮ КУЛОНОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Аннотация. Представлен новый подход в районировании опасных разломов. Он опирается на современные достижения тектонофизики в реконструкции природных напряжений по сейсмологическим данным, а также на созданные в последнее время электронные базы данных по активным разломам. Разделение разломов на разные степени их опасности и выделение участков разломов с прогнозом магнитудного уровня землетрясения делается на основе данных о распределении вдоль разломов кулоновых напряжений. Возможность их расчета в настоящее время имеется только в катакластическом методе Ю.Л.Ребецкого.

Annotation. A new approach to zoning dangerous faults is presented. It relies on modern achievements in tectonophysics in the reconstruction of natural stresses from seismological data, as well as on the most recently created electronic databases on active faults. The division of faults into different degrees of their danger and the allocation of fault areas with a forecast of the magnitude of the earthquake

is done on the basis of data on the distribution of Coulomb stresses along the faults. The possibility of their calculation is currently available only in the cataclastic method of Yu.L. Rebetzky.

Последние 10 лет в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН развиваются методы районирования опасных разломов по данным о кулоновых напряжениях (τ_c), полученным в результате инверсии сейсмологических данных о фокальных механизмах. Для расчета кулоновых напряжений помимо данных об ориентации осей главных напряжений и формы эллипсоида напряжений, определяемым значением коэффициента Лодэ–Надаи (μ_σ) также необходимо знать величину эффективного давления и максимального касательного напряжения или нормированные их значения. Подобного типа данные можно получить в результате применения алгоритмами первых двух этапов катакластического метода Ребецкого [2003]. Другие известные методы реконструкции природных напряжений не позволяют получить подобного типа данные.

Формулы для расчета нормированных на прочность сцепления (τ_f) кулоновых напряжений $\langle \frac{\tau_c}{\tau_f} \rangle$ имеют следующий вид:

$$\langle \frac{\tau_c}{\tau_f} \rangle = \langle \frac{\tau}{\tau_f} \rangle \tilde{\tau}_n + k_f \left(- \langle \frac{p^*}{\tau_f} \rangle + \langle \frac{\tau}{\tau_f} \rangle \tilde{\sigma}_{nn} \right) \leq 1, \quad (1)$$

где k_f – коэффициент внутреннего трения массива пород, а $\langle \frac{\tau}{\tau_f} \rangle$ и $\langle \frac{p^*}{\tau_f} \rangle$ – соответственно нормированные величины максимального касательного напряжения τ и эффективного давления p^* (тектоническое давление минус давления флюида в трещинно-поровом пространстве пород), которые в рамках катакластического метода получают на втором этапе реконструкции на основе анализа напряженных состояний очагов землетрясений из однородной выборки. $\tilde{\sigma}_{nn}$ и $\tilde{\tau}_n$ – редуцированные нормальные и касательные напряжения на участке разрыва, которые связаны с эффективным нормальным напряжением (σ_{nn}^*) и касательным напряжением на разрыве следующим образом:

$$\sigma_{nn}^* = -p^* + \tau \tilde{\sigma}_{nn}, \tilde{\sigma}_{nn} = \left(1 - \frac{\mu_\sigma}{3} \right) l_{n1} l_{n1} + \left(\frac{2\mu_\sigma}{3} \right) l_{n2} l_{n2} - \left(1 + \frac{\mu_\sigma}{3} \right) l_{n3} l_{n3}, \quad (2)$$

$$\tau_n = \tau \tilde{\tau}_n, \tilde{\tau}_n = \left(1 - \frac{\mu_\sigma}{3} \right) l_{n1} l_{s1} + \left(\frac{2\mu_\sigma}{3} \right) l_{n2} l_{s2} - \left(1 + \frac{\mu_\sigma}{3} \right) l_{n3} l_{s3}.$$

где l_{ji} ($j = n, s$) – направляющие косинусы главных напряжений ($\sigma_i, i = 1, 2, 3$) с нормалью к плоскости (\mathbf{n}) разлома и направлением действия касательных напряжений (\mathbf{s}) на ней.

Кулоновы напряжения в соответствии с геомеханическими критериями хрупкого разрушения горных пород [Ребецкий, 2003] отвечают за близость разломов к критическому состоянию. Они могут быть положительными, когда касательные напряжения τ_n больше напряжений сил трения ($k_f \sigma_{nn}^*$). Хрупкое разрушение произойдет, если кулоновы напряжения достигнут локальной прочности сцепления на участке разлома τ_f^m , которая может быть ниже средней прочности сцепления разлома ($\tau_f^m < \tau_f$). Поскольку в рамках катакластического метода можно рассчитать нормированные на τ_f эффективные нормальные $\langle \frac{\sigma_{nn}^*}{\tau_f} \rangle$ и касательные напряжения $\langle \frac{\tau_n}{\tau_f} \rangle$ на известных плоскостях участков разломов, то отношение кулоновых напряжений к прочности сцепления должно

быть меньше 1.

Как следует из (2), для расчета кулоновых напряжений на разломе необходимо для каждого участка разлома иметь не только информацию о его положении (простирации), но также о направлении его погружения и угле погружения на глубине сейсмогенной зоны (обычно 5-30 км).

В приведенных в докладе примерах у нас был разный опыт нахождения углов погружения разломов. Во всех случаях подобный тип данных либо прогнозировался из геологических и геофизических данных, либо определялся нами самостоятельно.

В докладе будут приведены три примера расчета кулоновых напряжений, выполненных для севера Центрального Тянь-Шаня (Кыргызстан), Западного Сычуаня (КНР) и Восточной Анатолии (Турция).

Север Центрального Тянь-Шаня

Реконструкция напряжений в коре Северного Тянь-Шаня выполнялась на основе каталога механизмов очагов землетрясений локальной сети КНЕТ, расположенной в районе ИС РАН в г. Бишкеке [Ребецкий и др., 2016]. Полученный за период наблюдения 1994-2012 гг каталог фокальных механизмов включает в себя более 1056 сейсмических событий с магнитудами от 1.16 до 5.4 [Сычева и др. 2005].

Карта активных разломов Северного Тянь-Шаня была составлена С.И.Кузиковым на основе анализа большого числа публикаций и геологических отчетов. На этой территории было выделено и оцифровано 102 разлома.

Сопоставление результатов тектонофизического районирования разломов Северного Тянь-Шаня (рис. 1) [Ребецкий, Кузиков, 2016] с данными о современном сейсмическом процессе показывают, что некоторым участкам разломов, имеющим повышенные значения модифицированного кулонового напряжения, отвечают области, где в настоящее время происходят наиболее сильные землетрясения с магнитудами более 3 (разлом северо-западного простирания в центральной части Кыргызского хребта).

Заметим также, отсутствие относительно сильных землетрясений для выделенных нами опасных участков разломов можно также рассматривать как определенное сейсмическое затишье, которое может закончиться достаточно сильным землетрясением

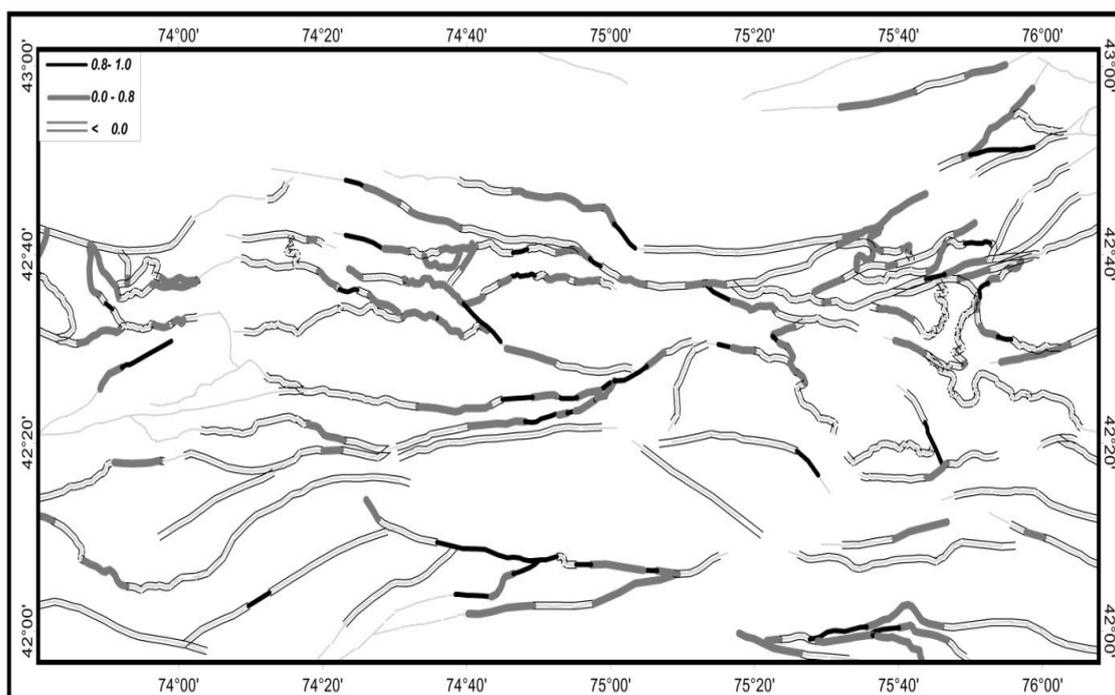


Рис. 1. Районирование разломов коры севера Центрального Тянь-Шаня по величине нормированных кулоновых напряжений τ_c / τ_f

Западный Сычуань

Для Западного Сычуаня, в который входят провинции Сычуань и Юньнань, катакластическим методом выполнена инверсия напряженного состояния по выборке данных регионального каталога фокальных механизмов, предоставленного сейсмологами Института геологии Администрации по землетрясениям Китая (Пекин)[Ребецкий и др., 2021]. Мы также использовали данные о региональных разломах, предоставленные нам китайскими геологами [QidongDeng, 2007]. Большая часть разломов согласно базе данных имеет субвертикальное погружение.

Полученные данные о закономерности распределения кулоновых напряжений в коре и на разломах провинций Юньнань и Сычуань (рис. 2) позволили показать, что для области Веньчуаньского землетрясения 2008 г, произошедшего в системе разломов Лунмэньшань, опасным состоянием разломов является не только наличие протяженной области разлома с уровнем кулоновых напряжений, приближенным к критическим значениям. Протяженный участок разлома, в пределах которого может наблюдаться прерывистость зон критического состояния, мы рассматриваем как сейсмически опасный. При этом зоны разлома с высоким уровнем кулоновых напряжений ($>60\%$ от критических) составляют не менее 70% от общей протяженности такого участка.

Для всей исследуемой территории мы выявили более 20 участков разломов с высоким уровнем значений, где, в соответствии с протяженностью разломов 60–140 км, ожидаемая магнитуда землетрясения может быть более $M \geq 7.0$.

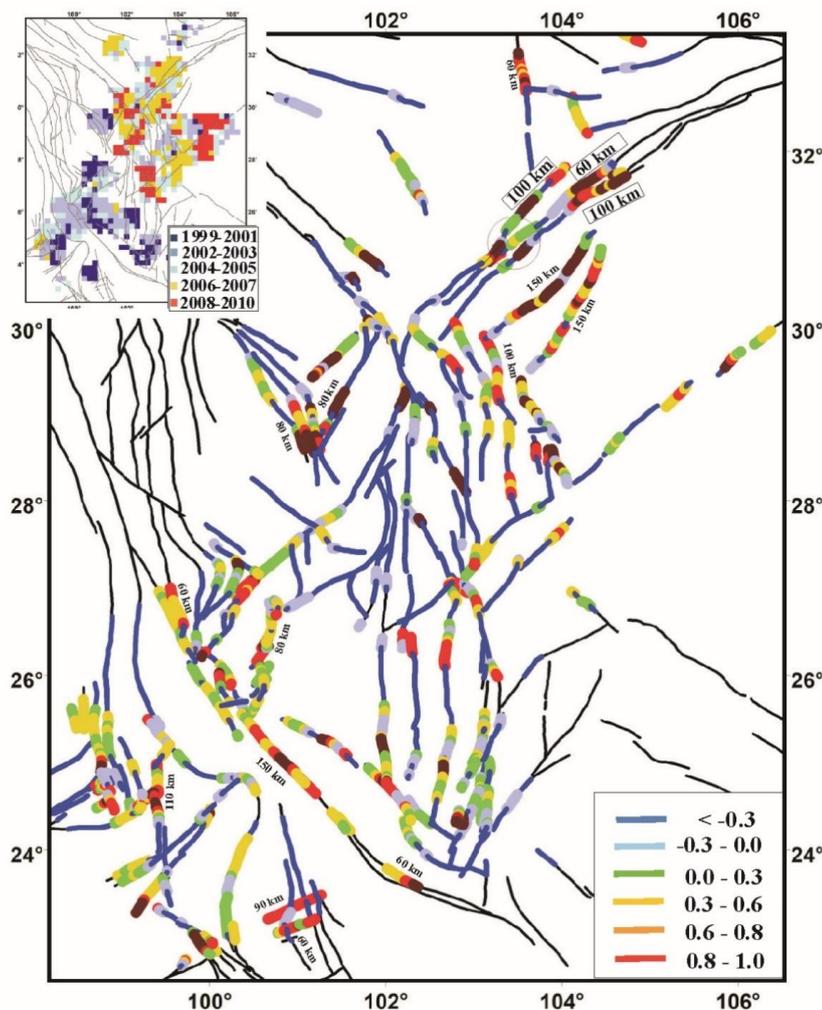


Рис. 2. Районирование разломов коры Западного Сычуаня по уровню нормированных кулоновых напряжений $\langle \frac{\tau_c}{\tau_f} \rangle$.

Использованы данные о среднепериодных напряжениях, наиболее близко отвечающих моменту возникновения Веньчуаньского землетрясения 2008 г (вверху карты показаны данные по интервалам времен, им соответствующим). Цветом показан уровень кулоновых напряжений, соответствующей разной степени опасности участков разломов (утолщенные цветные линии); разломы, которые находятся в безопасном состоянии (темно-синие линии средней толщины); участки разломов, для которых поблизости (< 50 км) отсутствовали данные о напряжениях (тонкие черные линии), длина опасных участков, км (надписи вдоль разломов)

Восточная Анатолия

Сразу после произошедших катастрофических и сильных землетрясений в Восточной Анатолии была выполнена работа по тектонофизической инверсии напряжений из сейсмологических данных о механизмах очагов коровых землетрясений. Каталог механизмов очагов землетрясений для участка 33-40° ВД и 33-40° СШ (Восточная Анатолия) состоял из 223 событий с магнитудами M_b от 3.0 до 6.8, произошедшими на глубине до 56 км с 1951 года по январь 2023 года (рис. 6). Этот каталог являлся сборным и содержал данные о землетрясениях из каталогов международных сейсмологических баз данных GLOBALCMT (<http://www.globalcmt.org>), ISC (<http://www.isc.ac.uk>), ESMC (www.emsc.eu), а также региональных баз данных KANDiLLiObservatoryandEarthquakeResearchInstitute (<http://www.koeri.boun.edu.tr>) и российской Единой геофизической службы (<http://www.admobninsk.ru>).

Реконструкция напряжений для района, существенно превышающего область возникновения двух сильнейших землетрясений в провинции Караманмараш, выполнялась по данным сборного каталога механизмов очагов землетрясений на основе катакластического метода [Ребецкий и др., 2023]. Шаг узлов сетки расчета составлял 0.2 градуса по широте, что было в несколько раз меньше масштаба усреднения напряжений. В окончательном варианте расчета для 715 узлов были получены данные об ориентации главных осей тензора напряжений и значении коэффициента Лоде – Надаи, определяющем форму эллипсоида напряжений – первый этап реконструкции.

В настоящее время для обширных участков территории Евразии имеется база данных активных разломов [Бачманов и др., 2017], к которой имеется доступ на сайте Геологического института РАН (г. Москва). В ней для большой группы разломов имеется указание о направлении их погружения, а также указывалась кинематика разломов. Это дает возможность определить и углы погружения разломов в случаях, когда для реконструкции напряжений данной территории использовался катакластический метод. Дело в том, что после реконструкции напряжений дополнительным результатом работы этого метода является определение одной из нодальных плоскостей в качестве реализованного разрыва. Нами была создана программа, которая в случае наличия данных о направлении погружения разломов рассчитывала и углы погружения разломов, используя данные о фокальных механизмах ближайших землетрясений

Районирование разломов по степени их опасности выполнялось путем разбиения положительных значений кулоновых напряжений на четыре диапазона, которые нами именуется следующим образом: высшей опасности, опасный, тревожный и нейтральный. Последний диапазон изменения кулоновых напряжений $\frac{\tau_c}{\tau_f} \leq -0.2$ определяется как безопасный. В соответствии с этой градацией при землетрясении для участков разломов будет меняться уровень сброса касательных напряжений, определяющий и удельную плотность высвобождения упругой энергии при землетрясении.

Как видно из рисунка 3, большая часть разломов (более 75%), для которых имеются данные о напряжениях, находятся в безопасном состоянии. При этом для юго-западного сегмента Восточно-Анатолийского разлома (ВАР) и его ответвлений в северном побережье Восточного Средиземноморья и Сирии соотношение опасных и безопасных разломов

приближается к 1:1.

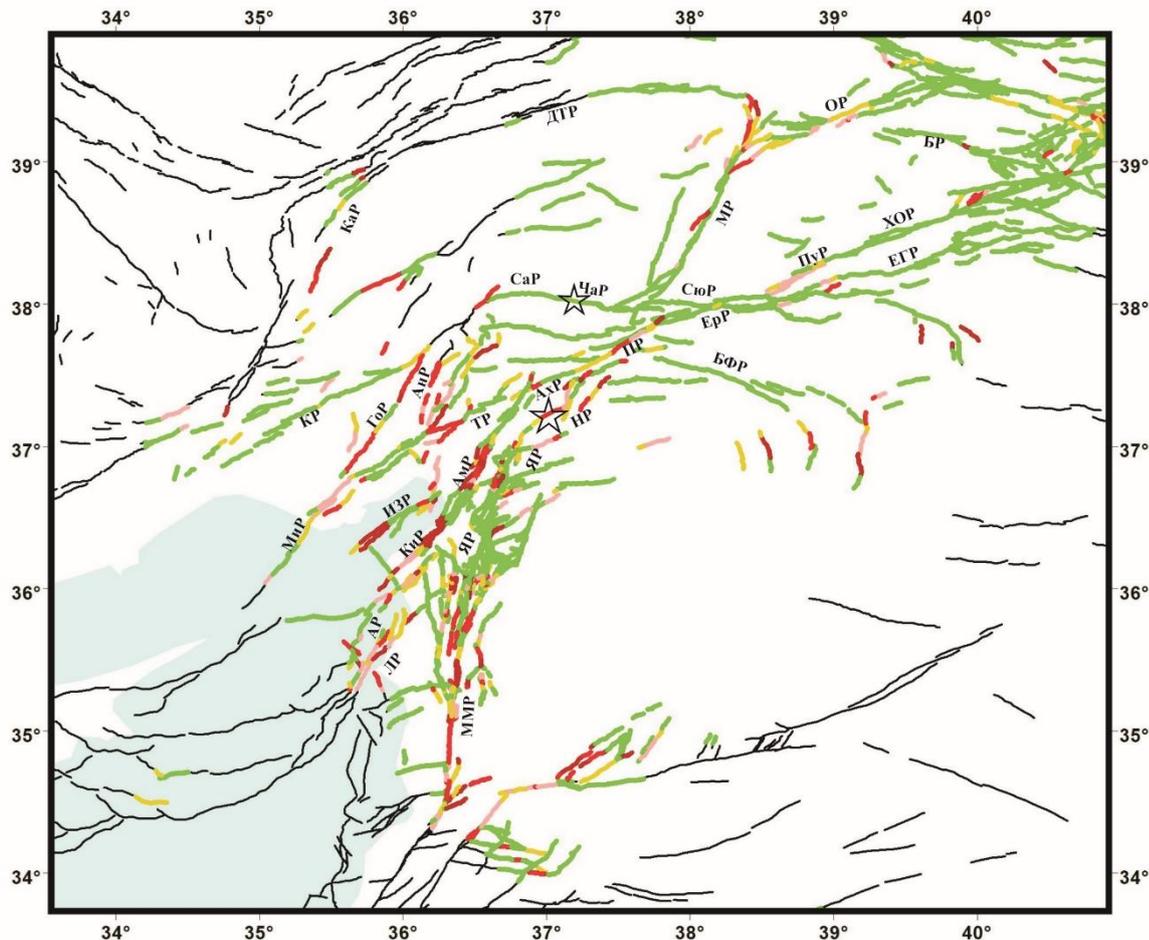


Рис. 3. Районирование по уровню кулоновых напряжений коры Восточной Анатолии: 1) $0.8 < \frac{\tau_c}{\tau_f} \leq 1$ (темно-красный); 2) $0.5 < \frac{\tau_c}{\tau_f} \leq 0.8$ (красный); 3) $0.2 < \frac{\tau_c}{\tau_f} \leq 0.5$ (светло-красный); 4) $-0.2 < \frac{\tau_c}{\tau_f} \leq 0.2$ (желтый); 5) $\frac{\tau_c}{\tau_f} \leq -0.2$ (зеленый); 6) данные о напряжениях на разломе отсутствуют (черный).

Звездочками показаны эпицентры Пазарджыкского и Эльбистанского землетрясений.

Проведенный анализ полученных результатов показывает, что зона ВАР, имевшая высокую детальность рассчитанных напряжений, выглядит опасной, т.к. в области будущего очага Пазарджыкского землетрясения на протяженности около 300 км имелись участки очень высокого уровня кулоновых напряжений ($\tau_c > 0.8\tau_f$) для разломов Кирикхан и Амэнос, хотя между ними и располагалась зона (около 30 км) с отрицательными значениями кулоновых напряжений. Кроме того, на северо-восточном участке очага Пазарджыкского землетрясения в пределах разлома Туркоглы также существовал протяженный участок положительных значений кулоновых напряжений средней и невысокой интенсивности. От опасного участка разлома Амэнос он отделялся также протяженной зоной (около 70 км) отрицательных значений кулоновых напряжений.

Разлом, на котором находился эпицентр Пазарджыкского землетрясения, являвшийся ответвлением в системе ВАЗР в восточном его крыле, вдоль всего протяжения первого сегмента очага имел положительные значения кулоновых напряжений. Причем сам эпицентр находился на участке высокого уровня кулоновых напряжений. Этот разлом расположен к северу от двух других сегментов Пазарджыкского землетрясения на расстоянии от 25 до 8 км и по данным активных разломов Евразии [Бачманов и др., 2017] не имел прямого пересечения с ними.

Для субширотных разломов Сюрдю, Чардак и Сунгун, на которых произошло второе сильное землетрясение, величина кулоновых напряжений была всюду

отрицательной. Здесь напряжения, действовавшие по нормали к разлому, были столь высоки, что напряжения трения ($k_f \sigma_{nn}^*$) превышали уровень касательных напряжений (τ_n). Такое же состояние было и для других субширотных разломов, располагавшихся южнее.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 22-27-00591.

Литература

1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 711–736.
2. Ребецкий Ю.Л. Напряженно-деформированное состояние и механические свойства природных массивов по данным о механизмах очагов землетрясений и структурно-кинематическим характеристикам трещин // Дис. док. физ.мат. наук. М.: Изд. ОИФЗ. 2003. 455 с.
3. Ребецкий Ю.Л. Тектонофизическое районирование сейсмогенных разломов Восточной Анатолии и Караманмарашские землетрясения 06.02.2023 г // Физика Земли. 2023. № 6.
4. Ребецкий Ю.Л., Guo Y., Wang K., Алексеев Р.С., Маринин А. В. Напряженное состояние земной коры и сейсмоструктура Западного Сычуаня, Китай // Геотектоника, 2021. № 6. С. 75–97.
5. Ребецкий Ю.Л., Кузиков С.И. Тектонофизическое районирование активных разломов Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 6. С. 1225-1250.
6. Ребецкий Ю.Л., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Кузиков С.И., Маринин А.В. Напряженное состояние коры Северного Тянь-Шаня по данным сейсмической сети КНЕТ // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 3. С. 496-520.
7. Сычева Н.А., Юнга С.Л., Богомолов Л.М., Мухамадиева В.А. Сейсмоструктурные деформации земной коры Северного Тянь-Шаня (по данным определений механизмов очагов землетрясений на базе цифровой сейсмической сети КНЕТ) // Физика Земли. 2005. № 11. С. 62-78.
8. Qidong Deng. Active tectonics map of China 1:4 million, Beijing: Seismological Press. 2007.

Д.А. Сарсенбаев, А.Б. Садыкова, Н.Б. Узбеков.,

Силачева Н.В., А.Т. Данабаева

ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК, Алматы, Казахстан,

E-mail seismolog@topmail.kz

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Аннотация. В работе приводятся результаты оценки сейсмической опасности, впервые выполненные на новой методической основе, соответствующей положениям Еврокода 8 (EN 1998-1:2004) «Проектирование сейсмостойких конструкций» и гармонизированной с современными картами общего сейсмического зонирования (районирования) стран, входящих в зоны ЕврАзЭС и Таможенного союза, для применения в практике проектирования и строительства на территории Казахстана. Основные отличительные элементы – вероятностный подход к расчету сейсмической опасности и характеристика опасности в количественных параметрах колебаний грунта в дополнение к макросейсмическим характеристикам.

Annotation. The paper presents the results of seismic hazard assessment, for the first time carried out on a new methodological basis corresponding to the provisions of Euro code 8 (EN 1998-1: 2004) "Design of earthquake-resistant structures" and harmonized with modern maps of general seismic zoning of the countries included in the EurAsEC zones and Of the Customs Union, for use in the practice of design and construction on the territory of Kazakhstan. The main distinguishing elements are a probabilistic approach to the calculation of seismic hazard and hazard characterization in quantitative parameters of ground vibrations in addition to macro seismic characteristics.

В Казахстане землетрясения – одно из стихийных бедствий, представляющих угрозу

безопасности населения и экономическому потенциалу страны. Сейсмоактивный орогенический пояс Казахстана состоит из горных сооружений, которые обрамляют с юга и востока структуры молодой платформы – Туранской плиты и Казахского щита. С ними связан ряд сейсмогенерирующих зон.

За последние 150 лет на указанной территории произошло несколько сильных землетрясений. Уровень сейсмической активности здесь остается высоким и в настоящее время [1,2].

Кроме активных регионов, в Казахстане имеются обширные территории, которые относятся к числу так называемых «слабоактивных» в тектоническом отношении. Их сейсмичность до сих пор мало изучена в виду отсутствия здесь станций сейсмических наблюдений. Однако, произошедшие в последние годы 5-6-балльные землетрясения в пределах Мангистауской, Актюбинской, Кызылординской и Карагандинской областей свидетельствует о том, что нельзя не учитывать сейсмическую опасность этих регионов [1-3].

Одним из основных направлений исследований, выполняемых в Институте сейсмологии, является «Оценка сейсмической опасности территории республики Казахстан на новой методической основе (сейсмическое районирование областей и населенных пунктов)».

Оценка сейсмической опасности и разработка карт сейсмического районирования (зонирования) территорий на новой методической основе включает комплексные исследования геологической структуры регионов, их сейсмического режима, инженерно-геологических условий и т.д., посредством сейсмического районирования (зонирования) различной детальности:

- общего сейсмического зонирования (ОСЗ) территорий Республики;
- детального сейсмического зонирования (ДСЗ) территорий областей;
- сейсмического микро зонирования (СМЗ) городов и крупных населенных пунктов

Казахстана.

При этом основными задачами являются:

- исследование внутреннего строения земной коры на районированных территориях;
- создание геолого-геофизических моделей земной коры и верхней мантии Казахстана;
- изучение генетической связи сейсмичности с особенностями глубинного строения земной коры;
- многопараметрическое моделирование земной коры сейсмоактивных районов;
- составление карты и атрибутивной базы разломов территории, включающих их геотектонические, геофизические, сейсмологические характеристики;
- изучение пространственно-временных закономерностей сейсмичности и физических особенностей формирования сейсмоактивных структур, разработка картографических моделей комплекса параметров долговременной сейсмичности;
- изучение взаимосвязи геолого-геофизических и сейсмологических параметров, создание моделей очаговых зон и проведение их сейсмологической параметризации;
- разработка сейсмологических критериев сейсмической опасности;
- выявление критериев прогнозирования мест возможного возникновения сильных землетрясений (сейсмогенерирующих зон) на основе комплексного анализа геолого-тектонических, сейсмо-геофизических параметров земной коры территорий;
- создание моделей сильных движений, как в форме интенсивности сотрясений, так и в форме физических характеристик сейсмических колебаний;
- расчет повторяемости сейсмических сотрясений, физических характеристик сейсмических колебаний (амплитуды, периоды, длительности ускорений, скоростей и др.) и вероятностной оценки сейсмических воздействий.

Для каждой сейсмогенерирующей зоны (рисунок 1) выполняется параметризация зон, с определением различных параметров сейсмического режима [4]: минимальный

уровень представительных землетрясений M_{0i} ; суммарное количество землетрясений – $N\sum$ с $M \geq M_{0i}$; уровень сейсмической активности – a_1 ; угол наклона графика повторяемости – b ; величины возможных землетрясений M_{max} ; величины максимальных наблюдаемых событий $M_{max}(набл)$; минимальные – h_{min} , максимальные – h_{max} и наиболее вероятные – $h_{вер}$ глубины очагов.

Расчеты сейсмической опасности, на которых базируются карты районирования исследуемых территорий, проводятся с использованием обновленной экспериментальной базы данных и на новой методической основе. Основные отличительные элементы – вероятностный подход к расчету и характеристика сейсмической опасности в количественных параметрах колебаний грунта в дополнение к макросейсмическим характеристикам.

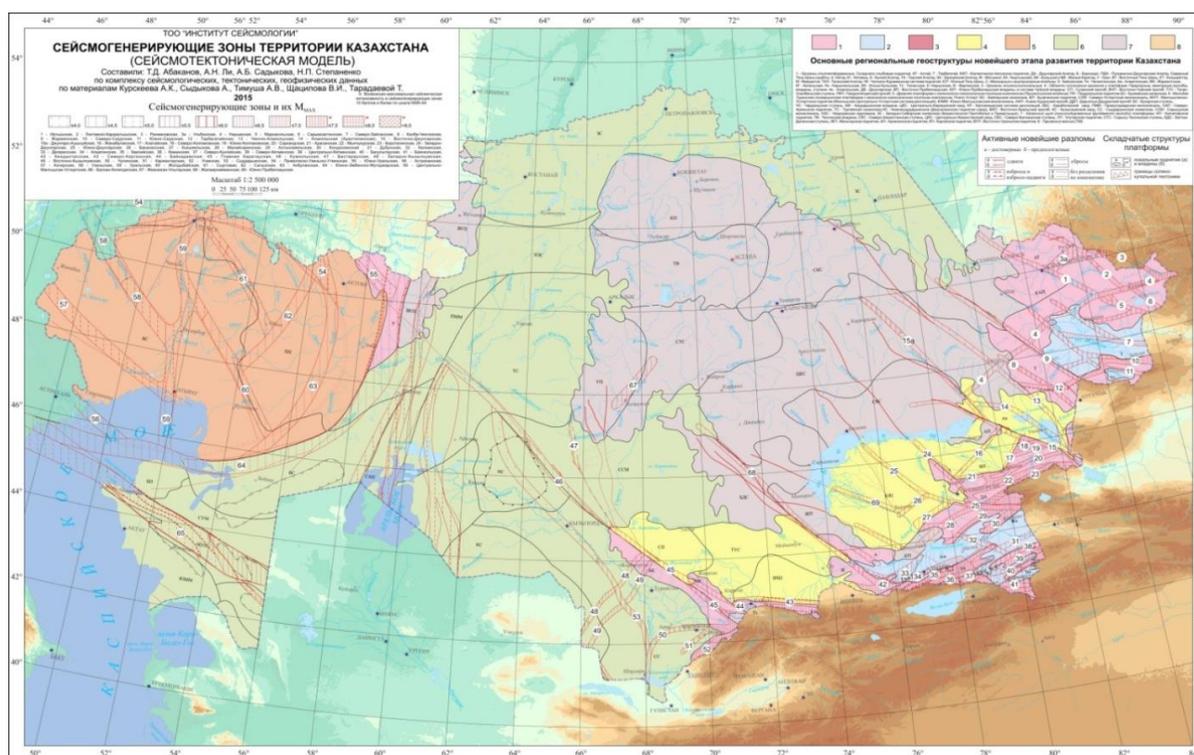


Рисунок 1 – Карта сейсмогенерирующих зон на территории Казахстана

Основными элементами вероятностного анализа сейсмической опасности являются: 1- составление модели сейсмических очагов, 2- характеристика распределения годового количества землетрясений в этих очагах по магнитуде, 3- расчет сотрясений грунта в пункте от землетрясений всех возможных магнитуд из выделенных сейсмических очагов, 4- оценка вероятности того, что рассчитанные сотрясения будут превышены за заданный период времени [9-11].

Вероятностный подход дает количественную оценку вероятности превышения уровней колебаний грунта на площадке от различных очагов землетрясений, каждый из которых имеет определенные характеристики и сейсмогенерирующий потенциал [5,6]. В любой точке наблюдения в исследуемом регионе выполняется оценка уровня колебаний грунта, который, как ожидается, будет превышен с заданной вероятностью и в течение фиксированного времени наблюдения (в нашем расчете - 50 лет); позволяет оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности (рисунки 2-5).

и строительстве зданий и сооружений, а также мероприятий экономического и социального характера по предотвращению или снижению ущерба [7]. Такие карты иллюстрируют региональные различия в амплитуде колебаний грунта при постоянном периоде повторяемости сейсмических сотрясений (т.е. постоянной вероятности превышения сейсмического эффекта).

В результате сейсмического районирования (зонирования) составляется комплект карт, позволяющий рационально планировать гражданское и промышленное развитие различных районов и производить оценку общих затрат, необходимых для проведения антисейсмических мероприятий в масштабе страны.

Карты общего сейсмического зонирования (ОСЗ) РК имеют важное практическое значение и предназначены для административных органов, регулирующих вопросы строительства селитебных и промышленных объектов, а также для проектно-архитектурных организаций, разрабатывающих документацию на сейсмостойкое строительство гражданских и промышленных сооружений. Они позволят более эффективно вкладывать средства в капитальное строительство с учетом имеющейся оценки потенциальной сейсмической опасности как в баллах шкалы MSK-64, так и в инженерных характеристиках.

Литература

1. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. - Алматы, 2007. - 411 с.
2. Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. - Алматы: ХайТехнолоджи. - 2012. - 267 с.
3. Сейсмогенерирующие зоны Казахстана / Тимуш А.В., Тарадаева Т.В., Степаненко Н.П., Садыкова А.Б., Сыдыков А. - Алматы: ХайТехнолоджи. - 2012. - 83 с.
4. Сыдыков А., Садыкова А.Б., Стихарная Г.Г., Полешко Н.Н., Жунусова А.Ж. Параметризация сейсмогенерирующих зон Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2010. - №4. - С.45-52.
5. Cornell C.A. *Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads.* – In: *Dynamic Waves in Civil Engineering.* London, 1971.
6. Merz H.A. and Cornell C.A. *Seismic risk analysis based on a quadratic magnitude frequency law // Seismol. Soc. America Bull., 1973. - Vol. 63. - №6. pt.1. - P. 1999-2006.*
7. Silacheva, N. V, Kulbayeva, U.K., Kravchenko, N.A., Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations. Geod.Geodyn.9, 2018.131–141.

СЕКЦИЯ 3

**ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА, МЕТОДЫ И
ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ПРИРОДНЫХ И
ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, СЕЙСМОСТОЙКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО, ДЕЙСТВИЯ ПРИ СИЛЬНЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ.**

INTRODUCTION TO THE RESULTS OF ACTIVE FAULT DETECTION AND EARTHQUAKE DISASTER RISK SURVEY IN KEY CITIES OF THE NORTH SLOPE ECONOMIC BELT OF TIANSHAN MOUNTAINS

From 2020 to 2022, China conducted the first comprehensive risk survey of natural disasters nationwide. This census involves six major categories of natural disasters, including earthquakes, with the aim of identifying the bottom line of national natural disaster risk hazards, identifying the resilience of key regions, objectively understanding the comprehensive risk level of natural disasters across the country and various regions, and providing authoritative disaster risk information and scientific decision-making basis for central and local governments at all levels to effectively carry out natural disaster prevention and control work and effectively ensure sustainable economic and social development.

The economic belt on the northern slope of Tianshan Mountains is located at the southern edge of the Junggar Basin and the middle section of the northern foot of Tianshan Mountains. It is the key development area of the national western regional economic planning and one of the core areas of the "the Belt and Road" construction. It is planned to build a spatial development pattern with ÜrümqiChangjiHui Autonomous Prefecture as the center, Shihezi, KuytunWusuDushanzi District triangle, Qitai County Jimsar County Zhundong area and Ili River Valley as the focus. This area is a typical arid oasis economic zone and a highly concentrated area of productivity. With its unique resource and geographical advantages, it has become the center of gravity for Xinjiang's technological, economic, and social development, and is also one of the regions with the most development potential and prospects. In this natural disaster risk survey, a total of 313 counties and cities were selected nationwide, including 32 in Xinjiang. Eleven counties and cities are located in the Tianshan North Slope Economic Belt, indicating the important value and significance of the Tianshan North Slope Economic Belt for the economic development of Xinjiang. For this reason, the author selects six representative counties and cities in the economic belt on the northern slope of Tianshan Mountains, namely Ürümqi City, Hutubi County, Manas County, Shihezi, Shawan County and Wusu, to briefly introduce the achievements of the current urban active fault detection and earthquake risk work in general disaster risk.

Urumqi, Hutubi County, Manas County, Shihezi City, Shawan County and Wusu City are mainly located in the middle of the North Tianshan seismic belt, geological structure belongs to the north foot of Tianshan Mountain depression, also known as Urumqi mountain depression. The depression is a meso-Cenozoic depression with an EW length of about 200km and SN width of about 60km, starting from the east of Urumqi and ending from Wusu in the west. The maximum thickness of Mesozoic and Cenozoic sediments in Manas area within the fold belt is 12000m. The fore-depression of Urumqi Mountains is mainly composed of three row of feather or en echelon reverse faults-anticlinal belt spreading NWW, Qigu fold belt, Manas fold belt and Dushanzi fold belt from south to north, and late Quaternary active faults associated with the core of fold belt and anticlinal front. The southern margin is separated from Tianshan Mountains by the southern Junggarfault. The strong reverse fault-anticlinal uplift belt at the northern foot of Tianshan Mountains was formed by the strong north-south dike pressure during the Neotectonic movement. Since the late Quaternary, the new fault-fold activity is very significant. The faults have dislocated the piedmont flood fan and the valley terrace gravel layer, and there are still obvious activities in the Holocene, which is a Holocene active structure. The 1906 Manas magnitude 7.7 earthquake occurred along the root of the piedmont fold belt - Junggar Southern margin fault, and the May 13, 1907 Manas magnitude 6 earthquake and December 8, 2016

Brief introduction: Chen Jianbo, male, born in 1976, holds a master's degree and is a senior engineer. He mainly engages in research in seismic geology and seismic disaster risk survey. Email: 123827172@qq.com.

Hutubi magnitude 6.2 earthquake occurred along the piedmont fold belt, indicating that the root fault of the northern Tianshan piedmont reverse fault-fold belt is capable of generating earthquakes of magnitude 7 or above. The reverse fault-fold belt located in front of the mountain is capable of generating earthquakes of magnitude 6 or above. The occurrence of these strong earthquakes has caused huge losses to the local economic development and people's life and property safety, and is also a major security risk for the future urban development of the north slope of Tianshan Mountain Economic belt.

Previous studies have shown that the three rows of reverse fault-fold belt developed in front of the northern foothills of the Tianshan Mountains belong to the same compressional nappe tectonic system, and they are controlled by the same reverse fault belt in the depth. They are pushed and thrust from south to north, and the tectonic activities also gradually migrate northward, forming three rows of reverse fault extension folds in different activity periods on the surface. Since the late Quaternary, the folding and reverse fault activities in the 1st row of foothills anticlinal belt have gradually ceased, but the deep reverse fault belt activities are still ongoing, and the shallow deformation and fracture migrate to the 2nd and 3rd row of reverse fault-anticlinal belt through the horizontal detachment plane. In the Changji to Wusu section of the Tianshan North Slope Economic Belt, the current and still active seismic faults are Dushanzi-Anjihai fault, Khorgos - Manas - Tuguru fault, Tuostai fault, Qigu fault and Junggar South margin fault, which are the direct manifestations of the deep reverse fault zone on the surface.

Ürümqi City, Hutubi County, Manas County, Shihezi, Shawan County and Wusu are mainly located in the middle of the northern Tianshan Seismic zone. Geologically, they belong to the piedmont depression at the northern foot of Tianshan Mountain, also known as the Urumqi piedmont depression. The depression starts from the east of Ürümqi in the east and ends at Wusu in the west. It is a Mesozoic Cenozoic depression, about 200km long in EW direction and 60km wide in SN direction. The maximum sedimentary thickness of the Mesozoic and Cenozoic in the Manas area within the fold belt is 12000 meters. Urumqi piedmont depression is mainly developed with three rows of NWW trending pinnate or echelon reverse fault anticline belts, which are Qigu fold belt, Manas fold belt and Dushanzi fold belt from south to north. At the same time, there are associated late Quaternary active faults at the core of the fold belt and the front edge of the anticline, and the southern edge is separated from Tianshan Mountain by the southern edge of Junggar fault. The strong reverse fault anticline uplift belt at the northern foot of Tianshan Mountains is the product of the near north-south strong compression force during the neotectonic movement. Since the late Quaternary, the new activity of the fault fold is very significant. The fault dislocates the piedmont pluvial fan and the gravel layer of the river valley terrace. There is still obvious activity in the Holocene, which is an active structure in the Holocene. The Manas 7.7 magnitude earthquake of 1906 occurred along the root of the piedmont fold belt - the southern edge of Junggar, and the Manas South 6 magnitude earthquake of May 13, 1907 and the Hutubi 6.2 magnitude earthquake of December 8, 2016 occurred in the piedmont fold belt. This indicates that the root fault of the North Tianshan piedmont reverse fault fold belt has the ability to produce earthquakes of magnitude 7 or above, while the reverse fault fold belt located in the piedmont has the ability to produce earthquakes of magnitude 6 or above. The occurrence of these strong earthquakes has caused huge losses to the local economic development and the safety of people's lives and property, and is also a major safety hazard for the future urban development of the Tianshan North Slope Economic Belt.

composed of the root thrust fault, the middle Décollement and the front compression fold uplift belt. The root thrust fault (the southern edge fault of Chaiwopu Basin) and the Thrust fault (Wangjiagou fault group) or normal fault (Jiujiawan fault group) developed on the upper part of the front compression fold belt are Holocene Active fault, The thrust nappe structure has the characteristics of spreading from south to north. Holocene Active fault is developed on the root thrust fault and front compression fold belt, and the Detachment fault has the characteristics of spreading from south to north. The future magnitude 7 earthquake may occur near the root fault, and the front edge accumulation fold uplift structure, namely the Xishan Uplift and its

accompanying Xishan Fault, WangjiagouJiujiawan Fault Group, all have the conditions for a magnitude 6 earthquake to occur.

Zhibin Zhang, Bin Wei, Xiao Cheng Zhao

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

EARTHQUAKE EARLY GENERAL INTRODUCTION OF XINJIANG EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM

Warning systems (EEWS) aim at providing real-time estimates of earthquake parameters or expected ground motion to the target sites soon after the occurrence of an earthquake and before these sites are struck by potentially damaging seismic waves.

As one of the most earthquake-prone regions in the world, Xinjiang faces extremely serious earthquake threats, especially for those heavily populated urban areas located near large fault zones. To improve the ability to prevent and minimize earthquake disaster risks, and to reduce earthquake disaster losses, Xinjiang is currently building EEWS. With the short leading time, generally from a few seconds to tens of seconds, people and automated system can take proper actions to prevent the potential damage, like “drop, cover and hold on”, evacuating hazardous buildings or moving to safer locations within a building, stopping elevators at the nearest floor, shutting down gas pipelines, and slowing high-speed trains.

Firstly, We introducing our observational network. For reducing construction investment, low-cost MEMS (micro-electro-mechanical system) triaxial accelerometers have been introduced for building a cost-effective seismic network (Peng. et al (2017) ; Patane. et al (2022)). By the end of 2022, more than 1500 stations belonging to this project have been deployed in Xinjiang (figure 1.), containing about 186 seismic stations (also called “datum stations”), about 321 strong-motion stations (also called “basic station”), and 900 MEMS-based stations (also called “ordinary station”). Here, a datum station is equipped with a six channel data collector system, with the first three channels connected to broadband seismometers and the last three channels connected to a three-axis force-balanced accelerometer. While the basic station is equipped with a three-channel data collector and a three-axis force-balanced accelerometer. As for an ordinary station, it is equipped with a low-cost MEMS intensity sensor with an integrated data acquisition system. Most stations are deployed in densely populated urban areas or along the fault systems threatening those urban regions. For the datum stations, they were always installed on the bedrock and in the free field, away from the built environment where the response of structures to earthquake shaking or cultural noise may contaminate the seismic waveform. The basic stations are also installed in the free field as far as possible, but may have been placed in or near structures in urban setting where options are limited. All of the above stations choose fiber optics for real-time data transmission, and the stations power supply system is provided by solar energy and battery packs. As for the ordinary stations, they were built directly on the tower base station and choose their supervision units (DTU) links for real-time data transmission.

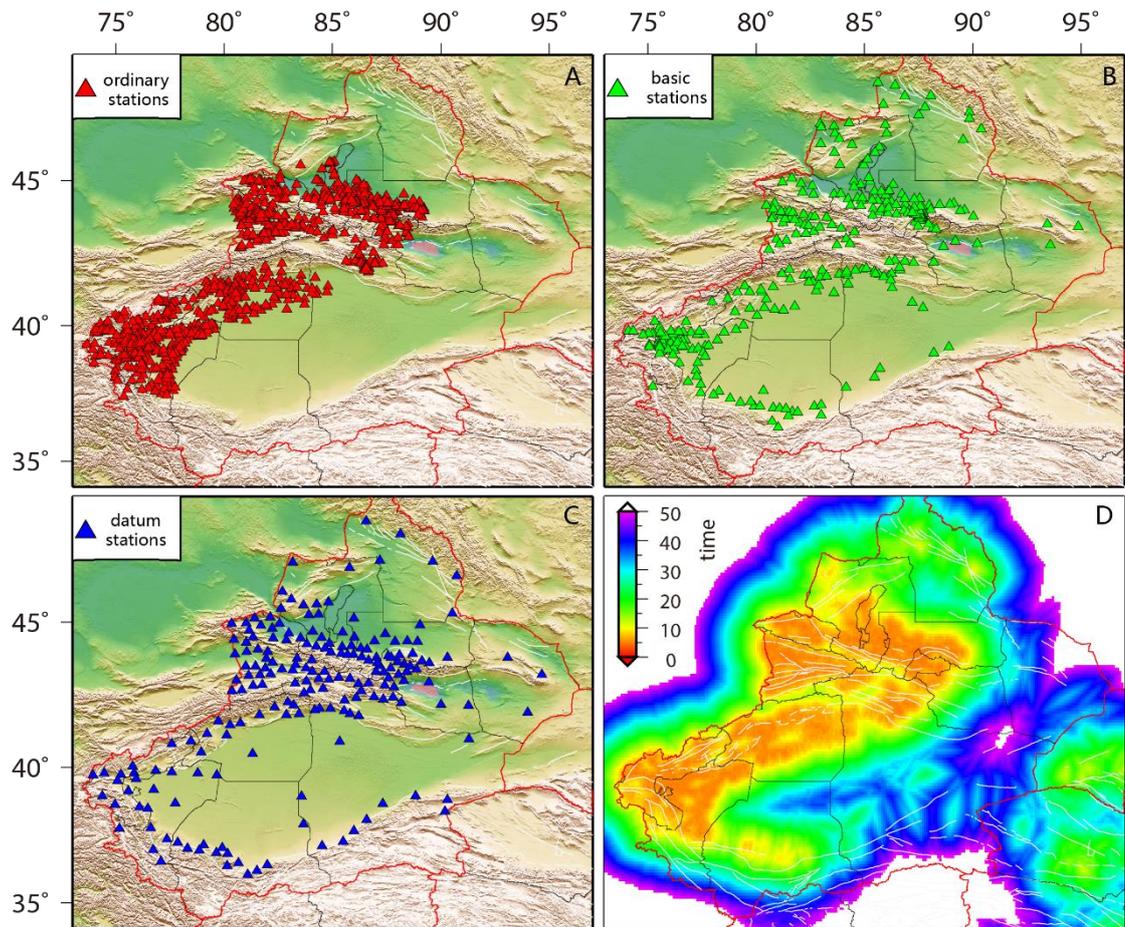


Figure1. distribution of (A) ordinary stations,(B) basic stations,(C) datum stations deployed by the Xinjiang System for Fast Seismic Intensity Report and Earthquake Early Warning project. (D) :Distribution of warning time in Xinjiang region, calculated according to three station triggers.

Next, we introduce our data processing system. The current data processing flow us shown in figure2. To ensure that the sensors an each site can be remotely logged into to optimize the software systems in the facility, each stations band is assigned an internally separate and unique IP address. All stations use real-time waveform transmission at 100 sampling rate and follow our specially designed relatively low latency data communications protocols. The protocol uses the HTTP format and also specifies the waveform transmission mode, packet length, site registration information, packet series number, and instrument controlcommands. The waveform transmission modes(TM) include three types, continuous waveform TM, event waveform TM, and intensity value TM. Currently, the first type is used for data transmission. Currently, two sets of EEW software are simultaneously deployed in the Xinjiang Station Network Early Warning Center. Detailed information about event detection, correlation, location and magnitude estimation of these two systems can be found in Peng., et al(2020) and Zhang., et al(2016).

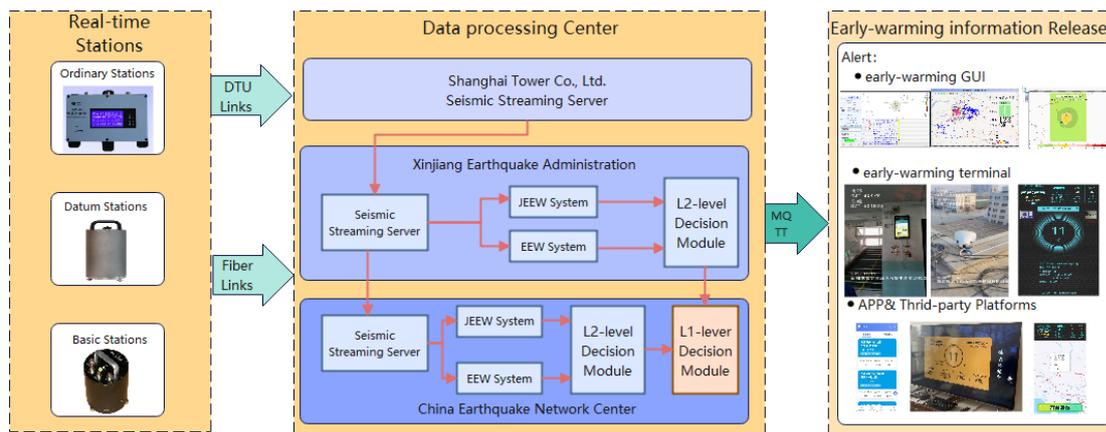


Figure2. processing flowchart presenting the software system architecture of the xinjiang EEWS. Data processing process from the real-time stations,through the data processing center to generate early warning information, and finally through the Message Queuing Telemetry Transport(MQTT) way push to all kinds of terminal.

Currently, the estimated magnitude type for the two systems is the catalog magnitude, that is the surface-wave magnitude M_s . Use the empirical estimating equation $M_s=1.13ML-1.08$ convert estimated ML to M_s . For the creation of an alert message, both systems need to trigger at least three stations.Over time, newly triggered site messages are pushed through, while already triggered sites send more messages. The system continues to update the location, start time, and magnitude estimates with this additional data until all data is received. The two systems work independently in the current hardware environment using the same real-time data. Each system is capable of detecting earthquakes and sending the detected station code, estimated origin time, location, magnitude and epicentral intensity to the L2-level decision module. This module is responsible for combining latest solutions from the local systems for the same earthquake. The specific mechanisms for generating early warning information can be found in Peng., et al(2020).

Finally, after several years of construction, the EEWS program has been built and is providing early warning information services to the public. At this stage, although the EEWS has exposed some problems that need to be solved in future upgrades, the results of the trial operation show that the EEWS has demonstrated robust performance in most aspects, with reliable event detection and early warning information dissemination. In conclusion, with the continuous improvement and optimization of the system, the early warning information will also become more accurate and will enable the dissemination of information about possible large earthquakes in the future.

References

1. Peng.C; Ma.Q; Jiang, P; et al. Performance of a hybrid demonstration earthquake early warning system in the Sichuan-Yunnan border region. *Seismol. Res. Lett.* 2020,91,835-846.
2. Peng.C; Chen.Y; Chen.Q; et al. A new type of tri-axial accelerometers with high dynamic range MEMS for earthquake early warning. *Comput.Geosci.* 2017,100,179-187.
3. Patane.D; Tusa, G; Yang.W; et al. The Urban Seismic Observatory of Catania(Italy): A real-time seismic monitoring at urban scale. *Remote Sens.* 2022,14,2583.
4. Zhang, H; Jin.X; Wei.Y; et al. An earthquake early warning system in Fujian, China. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 2016,106,755-765.

COMBINING U-NET MODEL AND CHANGE DETECTION METHODS FOR DAMAGE BUILDING IDENTIFICATION USING GF REMOTE SENSING IMAGES

Abstract: Efficient and accurate acquisition of building damage information in disaster areas after earthquakes is of great significance for quickly determining personnel burial points and effectively deploying rescue forces. The Chinese independently developed GF series of satellites can quickly obtain high-resolution remote sensing images of disaster areas, which can provide reliable data for earthquake damage information extraction and disaster loss assessment. In order to improve the efficiency and accuracy of earthquake damage detection for buildings, this paper proposes a high-resolution remote sensing image identification method for building damage, which combines U-Net model and changing detection analysis method. Each encoder and decoder in the U-Net model contains multiple convolutional and pooling layers. The encoder is used to extract features with high-level semantics, and the decoder generates pixel level extraction results. The connection technology adopted by U-Net combines the feature maps in the encoder and decoder, which can preserve more detailed information. The U-Net model can expand the depth of the network to a larger range, avoid information loss during pooling and upsampling operations, and obtain more accurate results. Combining U-Net depth learning method and change detection analysis method, this paper proposes a new method to identify earthquake damaged buildings efficiently, which is applied and verified in the $M_S5.5$ earthquake emergency work in Taxkorgan Tajik Autonomous County, Kashgar Prefecture, Xinjiang. After the $M_S5.5$ earthquake in Taxkorgan Tajik Autonomous County, the GF Satellite images obtained at the first time before and after the earthquake was taken as the test data. Firstly, the remote sensing images are pre processed by ortho-rectification, geometric correction, image fusion, geometric precise correction methods and so on. Secondly, based on the the model characteristics which are constructed by training samples, The U-Net depth learning method was used to extract the shape, area, and other information of buildings from high-resolution remote sensing images before and after the earthquake. Finally, the distribution information of damaged buildings in the area were extracted through changing detection analysis method. To verify the accuracy of the method presented in this article, we compared the results of this article with the visual interpretation results of UAV images and the the results of the directly extracting damage information with pixel based support vector machine model algorithms, U-Net model algorithms, and object-oriented methods. The experimental results show that the U-Net deep learning method for iterative operations on remote sensing images before and after earthquakes can effectively extract spatial distribution information of buildings. By detecting and analyzing changes of the extracted results, collapsed buildings can be accurately extracted with a total accuracy of 91.12%, which is higher than the three methods for directly extracting earthquake damage information from post earthquake images. The method proposed in this article, which combines the U-Net model with change detection method, can effectively improve the accuracy of identifying collapsed buildings through high-resolution remote sensing images. It is conducive to the accurate extraction and rapid evaluation of earthquake damage information after an earthquake.

Luo Yong^{1,2}, **Yang Li**^{1,2}, **Zhang Xian**^{1,2}, **Chen Ailin**^{1,2}, **Hu Bin**^{1,2}

¹ Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China

² Chengdu Institute of Tibetan Plateau Earthquake Research, China Earthquake Administration, Chengdu 610041, China

FEATURE EXTRACTION OF URBAN BUILDINGS USING MASK R-CNN

Abstract: The economic losses and casualties resulting from earthquakes are predominantly attributed to building collapses and various secondary hazards. Improving the seismic performance of urban buildings is an effective approach to mitigate these losses. Building information and population data are fundamental for pre-earthquake risk assessment and post-earthquake loss evaluation. However,

acquiring comprehensive building information, including structural types, number of floors, and construction age, poses a significant challenge in earthquake disaster loss assessment. In this paper, we employ deep learning techniques to automatically classify and detect features in building photos. We annotate existing data and perform instance segmentation. To validate the method's reliability, we classified and detected over 50,000 photos of more than 20,000 buildings in Deyang City. The results demonstrate high accuracy and effectiveness of the method, providing detailed and accurate foundational data for post-earthquake loss assessment and emergency rescue operations.

With China's rapid economic development, urbanization has soared, leading to the concentration of a substantial population, infrastructure, and productive resources in cities. Nevertheless, urban development also reveals imbalances and disparities in the seismic performance of buildings due to varying regional economic conditions. In the western regions of China, where earthquakes are frequent and economic development is relatively lagging, a significant number of unreinforced masonry and simple-structured buildings were constructed without proper design and construction measures. Their low seismic resistance and early construction age result in weak overall seismic performance, significantly increasing urban vulnerability. To thoroughly understand the seismic performance of urban buildings, detailed building information is indispensable. Traditionally, building information is acquired through manual collection, street view vehicles, drones, and remote sensing images. In contrast, this paper adopts deep learning techniques (Triveno, 2021) to automatically classify, detect, and extract features from building photos.

Mask R-CNN (He, 2017) is an instance segmentation algorithm that excels in multiple tasks, including object classification, object detection, semantic segmentation, and instance segmentation. It is an extension of Faster R-CNN, featuring an additional branch for predicting segmentation tasks for each Region of Interest (RoI), alongside another branch for classification and bounding box regression. In our approach, we classified and detected 23,780 individual buildings in the urban area of Deyang City, with 70% of the data used as the training set and 30% as the test set. We simplified the building structural types into three categories: reinforced concrete structures, masonry structures, and other structures. Fig.1 displays the classification results of building structural types, where Fig.1 (a), (b), and (c) depict original images, and Fig.1 (e), (f), and (g) show the detection results. The numerical values in the figure represent the accuracy of the classification, with both reinforced concrete and masonry structures achieving over 90% accuracy, while other structures approach 90% accuracy, indicating high precision of the method.



Figure.1. Building Structural Type Classification

Figure.2. presents the detection of building floors, primarily accomplished through window recognition to infer the number of floors. Fig.2 (a), (b), and (c) display original images, while Fig. 2 (e), (f), and (g) demonstrate the detection results. The numerical values in the figure indicate the accuracy of the detection, which is generally around 60%. Fig.2 (a) represents the front view of the building, with an accuracy exceeding 70%, while Fig.2 (b) and (c) show side views that accurately detect the number of floors but exhibit relatively lower accuracy. Therefore, for improved results, we should opt for front view images without obstructions in front of the building.

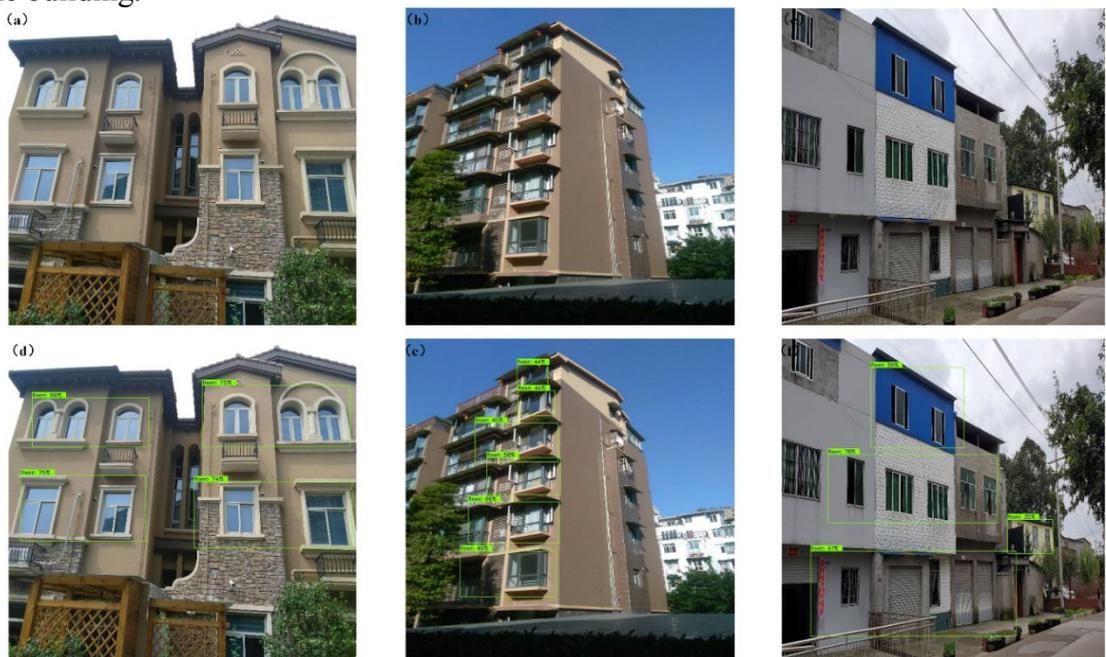


Figure.2. Building Floor Classification

This paper successfully utilizes deep learning techniques, particularly Mask R-CNN, for the automatic classification and detection of structural types and number of floors in buildings. In comparison to traditional manual interpretation, this method significantly saves time and effort, greatly enhancing work efficiency. Building information serves as crucial foundational data for subsequent earthquake disaster loss assessment and seismic scenario construction. Scientifically predicting the seismic damage level of existing buildings in future earthquakes and mitigating the socio-economic losses caused by earthquake disasters will provide a foundation for enhancing overall seismic resilience and disaster prevention capabilities in cities.

References

[1] Triveno, L. M., Wang, C. and Antos, S. E. Automatic detection of unreinforced masonry buildings from street view images using deep learning-based image segmentation, 2021, Automation in construction.

[2] K. He, G. Gkioxari, P. Doll'ar, R. Girshick. Mask R-CNN, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017, pp.2961–2969, <https://doi.org/10.1109/ICCV.1995.466933>.

Wang Fanxia, Zhu Xiangguo, Ma Rui, Liu Dongya

(Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

PRELIMINARY STUDY ON ZERO-TRUST NETWORK SECURITY MODEL FOR EARTHQUAKE INDUSTRY NETWORK IN XINJIANG

Abstract : The rapid development of network information technology has been widely applied to socio-economic development. The traditional network security architecture divides the security domain to implement network sub-division of domain management, giving different regions different security levels. Commonly divided into Internet distrust zone, DMZ intranet buffer zone, intranet security zone, the deployment of security protection equipment at the regional border, do the corresponding access control policy. Generally in the LAN border security equipment to do address translation, to prevent the intranet exposed to the public network; intranet different network areas deployed in the border protection equipment to do security access control policy, there is no border protection equipment are generally ACL access control.

With new applications such as mobile office, Internet of Things, big data, and 5G technology, the traditional boundary-based security defense model is being constantly broken through the limitations of time and space, and the traditional network boundary is gradually blurring and disappearing. Therefore, it is necessary to reinforce and update the existing network security architecture and establish a new type of network security model. Foreign scholars have introduced the concept of zero trust into network security protection, and after decades of development, well-known Internet technology companies such as Google and Microsoft have built a mature zero-trust network security model. In recent years, in order to create a strong network security environment, the state has promulgated the National Network Security Law, the Data Security Law, the level protection evaluation system and other management measures, the importance of network security has risen to the strategic height of national security, network information security is becoming more and more important.

In the face of the traditional network security only focuses on the network boundary protection, and the internal network security protection is insufficient, the zero-trust network security concept is rapidly emerging in China. This study understands the international common and popular zero-trust network principle, security architecture, related programs, and domestic zero-trust network applications, elaborates on the zero-trust principle and its basic network architecture, analyzes the network architecture and network security protection status quo of the Xinjiang seismic industry, and introduces the zero-trust network security concept into the Xinjiang seismic industry network, and designs the Xinjiang seismic industry network on the

basis of not changing the existing network architecture as much as possible. It analyzes the network architecture and the current situation of network security protection in Xinjiang earthquake industry, introduces the concept of "zero trust" network security into Xinjiang earthquake industry network, and designs the zero-trust network security model of Xinjiang earthquake industry network on the basis of not changing the existing network architecture as much as possible.

The author takes the comprehensive business system of Xinjiang seismic line network as the protection target, establishes the digital identity library of Xinjiang seismic industry network, gives the digital identity different attributes and minimum access privileges, and assigns account numbers and passwords according to the type of business. Business access to the identity rights to implement continuous authority verification, security assessment, based on which the design of the Xinjiang earthquake line network zero-trust network security model. The IP of all network resources in the network is a unique identification of digital identity, network resources are not visible to each other, all business access, must be verified by the zero-trust gateway, through the account number, password and permission verification, the zero-trust gateway to do proxy access. When doing proxy access with zero-trust, the network resources being accessed are also invisible to the visitors. That is, all resources in the network are "hidden" by the zero-trust gateway. Network assets are not exposed to any visitor's eyes, which is very effective for identity access attacks such as identity forgery and overstepping authority. Under the design of zero-trust gateway proxy access, any attacker cannot target and find the attack target in the network.

The application of zero-trust network security model in the seismic industry network is in the exploratory stage, and the author also hopes that after exploring the research, it can provide new ideas for the new seismic industry network network security protection, and throw a brick to the jade for the information security workers in the same industry on network security research.

Wen Heping Li Shuai Zhao Jiangtao

(Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region)

THE PRELIMINARY ANALYSIS ABOUT THE POPULATION LOSSES OF HISTORICAL EARTHQUAKE IN XINJIANG

The city over 70 percent in Xinjiang suffer the damage of earthquake which intensity greater than \square . The Artux magnitude $8\frac{1}{4}$ earthquake in 1902, which collapsed houses more than 30 thousands, cause more than 1 thousand deaths, the intensity of meizoseismal area is greater than \square ; The Wuqia M7.4 earthquake in 1985, 64 deaths, more than 10 thousands collapsed houses, The county town was destroyed and relocated. The Bachu-Jiashi M6.8 earthquake in 2003, 268 deaths, the economic losses is ¥ 1.37 billion.

So the urban and rural seismic safe buildings project of Xinjiang was initiated in 2004. Up to now, all the rural housing in Xinjiang is safe housing. There is more than 110 earthquakes which magnitude M5 or above after 2004, include 15 earthquakes magnitude M6, 2 earthquakes magnitude M7. The intensity of this earthquakes which in densely populated area is \square , there is few population losses cause by old houses in 4 earthquakes (Refers to Table 1), So the safe buildings project Reduced personnel losses greatly.

We reviewed literature about 33 historical earthquakes(Refers to Table 1) which record the population losses, then analysed the reason of death. So can consider that: because of the population distribution in Xinjiang, the deaths is almost different in earthquakes with same magnitude; most deaths is in the high seismic intensity region($\geq\square$), die of the collapsed houses; more deaths in earthquakes magnitude 7 or above is caused by the seismic geologic hazard;

reviewed the historical earthquake examples, both domestic and abroad, we can see that the earthquake disaster grow in step with the population and wealth, so the urban disaster reduction should be the focus of earthquake prevention and disaster reduction in Xinjiang.

Table 1: The population losses of historical earthquake in Xinjiang

NO.	Time	Location	Latitude	Longitude	Magnitude (Ms)	Intensity of meizoseismal area	Death (person)
1	1812.03.08	Nilka	43°42'	83°30'	8	XI	58
2	1842.06.11	Balikun	43°30'	93°06'	7.5	IX	66
3	1893.12.18	Kuche	41°42'	82°48'	6.7	VIII	9
4	1896.03.04	Tashi Kurgan	37°00'	76°00'	7.1		7
5	1896.11.01	Kashgar	39°42'	75°54'	6.6	VIII	7
6	1898.06.22	Kashgar	39°42'	76°42'	6.1	VIII	47
7	1902.08.22	Artux	39°54'	76°12'	8¼	X	>1000
8	1906.12.23	Manas	43°53'	85°39'	7.7	X	239
9	1924.07.03	Minfeng	36°48'	83°48'	7	X	233
10	1931.08.11	Fuyun	46°45'	89°54'	8	X	>200
11	1933.09.26	Qiemo	39°00'	73°00'	6.7		8
12	1948.02.13	Cele	36°00'	80°30'	6.2		5
13	1949.02.24	Luntai	41°54'	83°12'	7.2	VIII	12
14	1955.04.15	Wuqia	39°54'	74°36'	7.0、7.0	IX	4
15	1965.11.13	Urumqi	43°59'	88°08'	6.6	VIII	7
16	1969.02.12	Wushi	41°27'	79°22'	6.5	IX	2
17	1972.04.09	Luntai	42°13'	84°38'	5.6	VII	1
18	1976.01.10	Kuche	42°10'	83°10'	5.8	VI	1
19	1985.08.23	Wuqia	39°31'	75°21'	7.4	VIII	67
20	1985.09.12	Wuqia (aftershock)	39°23'	75°24'	6.8	VIII	3
21	1993.12.01	Shufu	39° 18'	75° 42'	6.2	VI	2
22	1995.05.02	Wusu	43°49'	84°40'	5.8	VI	2
23	1996.03.19	Artux	39°57'	77°05'	6.9	IX	24
24	1997.01.21	Jiashi	39°36'	77°02'	6.0	VIII	12
25	1997.03.01	Jiashi	39°29'	76°53'	6.0	VII	1
26	1997.04.06	Jiashi	39°31'	77°02'	6.4	VIII	8
27	1998.08.27	Jiashi	39°39'	77°21'	6.4	VIII	3
28	2003.02.24	Bachu - Jiashi	39°30'	77°12'	6.8	IX	268
29	2003.12.01	Zhaosu	43°06'	80°06'	6.1	VIII	10
30	2015.07.03	Pishan	37°36'	78°12'	6.5	VIII	3
31	2016.11.25	Akto	39°16'	74°02'	6.7	VIII	1
32	2017.05.11	Tashi Kurgan	37°35'	75°15'	5.5	VII	8
33	2020.03.23	Baicheng	41°42'	81°09'	5.0	VII	3

**PRELIMINARY STUDY ON THE ATTENUATION RELATIONSHIP OF
EARTHQUAKE INTENSITY WITH DIFFERENT SOURCE RUPTURE MODES-A
CASE STUDY OF XINJIANG**

In the work of rapid assessment of earthquake intensity, the intensity attenuation relationship is often used to judge the area size of the intensity area. The distribution and influence range of earthquake intensity are calculated according to the Relational model of seismic intensity attenuation. Researchers have conducted analysis and research on the application of seismic intensity attenuation relationships in different geographical landforms and geological conditions. In addition to the near surface geomorphic environment, the mode of source rupture can also affect the attenuation of seismic intensity, which can have an impact on the degree of surface damage caused by earthquakes. Due to the vast territory and complex and variable geological structures in Xinjiang, there are various forms of earthquake source rupture. In order to improve the reliability of earthquake disaster assessment models, selecting a more suitable seismic intensity attenuation relationship for this structural area is a necessary work for rapid earthquake assessment in Xinjiang.

This paper collected 133 destructive earthquakes in Xinjiang from 1716 to 2020, a total of 318 Iseismal map records, and screened 122 earthquakes with Focal mechanism, a total of 281 pairs of intensity circle long and short axis data. The data advantage range is V to VIII, and there are many data in this intensity range. The seismic source mechanism was classified and statistically analyzed according to four types of seismic intensity attenuation relationships: strike slip, reverse fault, normal fault, and undetermined type. Based on the statistical results, this paper selected seismic intensity data of strike slip, reverse fault, and all earthquake cases, and used the least squares method and elliptical model formula for preliminary fitting. The seismic intensity attenuation relationships of strike slip, reverse fault, and all earthquake cases in Xinjiang region were obtained through preliminary fitting. There are many problems in the research process of Earthquake engineering, one of which is the intensity attenuation law. By limiting the attenuation curve from head to tail, it can be more close to the actual engineering needs, so as to improve the accuracy of the attenuation curve. In view of the superiority of the intensity attenuation data concerned in this paper, its range is limited between V and VIII degrees. Adding sample points at the head and tail of the curve will affect the overall advantage of the intensity data, The number of sample points is also difficult to control, so the attenuation relationship results of the fitting of strike slip type, reverse fault type, and full earthquake case data in Xinjiang region are modified by mathematical methods to obtain the seismic intensity attenuation relationship of the corrected strike slip type, reverse fault type, and full earthquake case in Xinjiang region.

This article plots the attenuation relationship of seismic intensity before and after the correction. From the attenuation curve of seismic intensity before and after the correction, it can be seen that within the high intensity range, there is a saturation trend in the near field of the long and short axes of the reverse fault type and the entire earthquake case, but there is no early intersection. Only the long and short axes of the strike slip type show signs of intersection, which is inconsistent with the trend of epicenter intensity of high magnitude and high intensity earthquakes; At the end of the curve, as the epicenter distance increases, the major and minor axes of the reverse fault type and the full earthquake case do not intersect, but only the strike slip type have a trend of intersecting, indicating that the low intensity effect is not close to the circle and has a certain deviation from the actual situation. The revised seismic intensity attenuation relationship curve is basically consistent with the preliminarily fitted seismic intensity attenuation relationship curve, but the modified curve is more in line with the attenuation law.

Based on the analysis of the rupture properties of earthquake sources in Xinjiang region, the intensity attenuation relations of different Focal mechanism are fitted and classified in this paper.

The impact of earthquake generation methods on the attenuation relationship of earthquake intensity is quite significant, which is the overall trend. When the earthquake magnitude is the same, in terms of intensity, the reverse fault type earthquake is greater than the strike slip type earthquake. From the range of intensity influence, the largest strike slip type earthquake is in the long axis direction, while in the short axis direction, all earthquakes have little difference. In summary, there are differences in the seismic intensity attenuation curves of different source rupture modes and earthquake magnitudes within the same region. In addition, in addition to the source rupture mode, the site geological conditions will also affect the intensity attenuation in the process of Seismic wave propagation. In addition, the long and short axes of the intensity attenuation relationship with different rupture properties of earthquake sources can be used as the correction factor of the intensity influence field in the rapid assessment system of earthquake disasters. When the Focal mechanism is obtained in time after the earthquake, the long and short axis data of the intensity circle can be modified and improved.

References:

- (1) Ren J., Li Z.Q., Xu Z.S., 2020. Study on attenuation relationship of seismic intensity in Qinghai province., *Earthquake Research in China*, 36(3): 620—629. (in Chinese).
- (2) Xiao L., Yu Y.X., 2011. Earthquake intensity attenuation relationship in Western China. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 6(4): 358—371. (in Chinese).
- (3) Yang Z., Shen J., Jin X.T., et al., 2020. Simulation of near-fault ground motion of Jinghe M_s 6.6 earthquake. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 40(6): 1024—1036+1052. (in Chinese).
- (4) Ran H.M., Zhang Z.B., Zhao Q., 2014. The focal-m echanism solution of the X inyuan-H eijing M_s 6.6 earthquake in X injiang on June 30 ,2012, *Earthquake Research in China*, 30(3): 432—441. (in Chinese).
- (5) Sun Z.J., Li J., 2019. Focal mechanism on ushiearthquake with M_s 5.0 and M_s 4.5 on October 27th, 2019. *Inland Earthquake*, 33(4): 378—384. (in Chinese).
- (6) Song C.Y., Gao R., Liu J.M., et al., 2019. Discussion on earthquake sequence and seismogenic structure for the Jiashi M_s 5.5 earthquake on september 4, 2018, Xinjiang. *Earthquake Research in China*, 35(2): 256—268. (in Chinese).
- (7) Li Y.Y., Wang C.H., Zhu H.Q., et al., 2020. The focal mechanism and stressfield inversion in Northern Tianshan Mountain. *Earthquake*, 40(2): 117—129. (in Chinese).
- (8) Liu P., Wei Y.Y., Zhang L.L., 2021. Focal mechanism analysis of pishan M_s 5.1 and yechebg M_s 5.0 earthquakes in Xinjiang. *Inland Earthquake*, 35(4): 301—308. (in Chinese).
- (9) Zheng Y., Jiang L.X., Yang T.T., 2016. Study on seismic intensity attenuation relationship with regions via focal mechanism solutions. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 11(2): 349—359. (in Chinese).

Yang Li^{1,2}, Luo Yong^{1,2}, Zhang Xian^{1,2}, Chen Ailin^{1,2}, Hu Bin^{1,2}

1 Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China

2 Chengdu Institute of Tibetan Plateau Earthquake Research, China Earthquake Administration, Chengdu 610041, China

A METHOD FOR PREDICTING EARTHQUAKE DAMAGE OF MULTI-STORY MASONRY STRUCTURE BUILDINGS BASED ON BP NEURAL NETWORK

Background

As is known to all, China is a country prone to earthquakes, with a wide range of seismic activity, shallow epicenters, and high intensity^[1,2]. The prediction of building seismic damage has always been a research difficulty and hotspot in the field of engineering Seismology. After the Tangshan earthquake in 1976, predecessors successively carried out research on earthquake damage prediction methods for various buildings^[3-10], laying a solid foundation for the theory and application development of earthquake

damage prediction methods in China. Different types of building structures have different characteristics. Due to the different seismic damage factors considered, neither fuzzy mathematics nor statistical mathematics methods can fully and truly reflect the true seismic damage situation of buildings. Cheng Xiaoping^[11], Jiang Wei^[12], and Tang Hao^[13] used artificial neural networks to predict the seismic damage of multi-story brick buildings, and achieved ideal results. On the basis of previous research, this article uses the BP neural network method to study the earthquake damage prediction of multi-story masonry buildings in Sichuan region.

Methods

Artificial Neural Networks is an algorithmic mathematical model that simulates the structure and behavior of biological neural systems for distributed parallel information processing.^[14,15] This article uses the BP neural network method to predict the vulnerability of buildings. By simplifying the input vector, the network has the characteristics of fast training speed and high accuracy of calculation results.

The BP neural network in this article adopts a three-layer structure, as shown in Figure 1, which consists of an input layer (Layer L1), a hidden layer (Layer L2), and an output layer (Layer L3). Neurons in the same layer are not connected to each other, and adjacent layers are connected in a fully connected manner through weights.

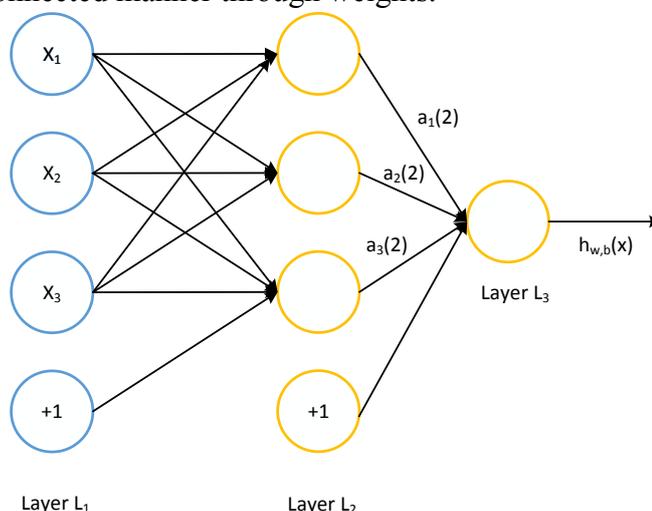


Figure.1 Three-layer BP neural network model structure.

This paper uses the sigmoid Activation function. Since the value range of the sigmoid function is between 0 and 1, the input and output data are normalized between 0 and 1. If too many input parameters are selected, it will make the network more complex and affect its stability. Based on previous research, this article selects the following six earthquake damage factors as input vectors:

- (1) The number of floors: The higher the number of floors, the greater its damage rate. This parameter takes the actual number of floors as the input parameter.
- (2) Construction quality: The values are: excellent=10, medium=8, and poor=6, taking into account the influence of time, i.e. reducing by 0.5 every 5 years.
- (3) Mortar grade: Commonly used mortar grades include M2.5, M5, M7.5, M10, M12.5, M15, M20, M25, M30, M40, and directly take the number as the input parameter.
- (4) Rationality of structure: Directly use the membership degree of comprehensive evaluation as the value of this parameter.
- (5) The integrity of the house: The overall content of the house includes the form of the roof, the condition of the ring beam structure column and ground beam foundation, the intact state of the house, etc. The value is the sum of the scores of the above parts: 1) Floor: cast-in-place 5, prefabricated 4, and wooden roof 3; Roof: cast-in-place 5, prefabricated 4, wooden roof 3; Ring beam structural column: add 1 to the ring beam and 1 to the structural column; Basement and raft foundation: add 1; House cracking: reduce by 1-2.

(6) Site conditions: 10 for Class I soil, 8 for Class II soil, and 6 for Class III soil. The unfavorable terrain and topography will be reduced by 1-2, and the groundwater level will be reduced by 1 when it is high.

Liu Huixian, Hu Yuxian^[17,18] and others put forward the concept of earthquake damage index on the basis of building earthquake damage survey. The earthquake damage index is a quantitative method for building damage grade and a quantitative description of building earthquake damage degree. The Classification of Seismic Damage Levels for Buildings (Structures) (GB/T24335-2009) is based on on-site investigations of load-bearing and non load-bearing components of buildings. The damage levels of buildings are divided into five levels: basic intact, minor damage, moderate damage, severe damage, and damage.

The seismic damage index $D \leq 0.1$ corresponds to basically intact, $0.1 < D \leq 0.3$ corresponds to minor damage, $0.3 < D \leq 0.55$ corresponds to moderate damage, $0.55 < D \leq 0.85$ corresponds to severe damage, and $D > 0.85$ corresponds to damage.

Results

In this paper, from the seismic damage data of buildings in the historical earthquake disaster assessment report in Sichuan Province, the earthquake damage prediction model is obtained by using BP neural network training model. Then, 25 multi-storey masonry seismic damage samples in Sichuan were randomly selected from the seismic damage data of buildings as the prediction object. The values of the seismic damage factors of the prediction samples are shown in Table 2. The trained model was used to predict the seismic damage indexes of different buildings.

Table 2 values of earthquake damage factors for prediction samples

ID	The number of floors	Construction quality	Mortar grade	Rationality of structure	The integrity of the house	Site conditions
1	2	10	15	8.2	7.5	6
2	2	8	7.5	7	7	6
3	3	10	10	11.5	9	7
4	2	10	20	9.7	9.5	9
5	4	10	15	7.6	7.5	7
6	2	10	25	4.3	10	9
7	3	9	10	7.5	7.5	7
8	2	10	20	8.6	8.5	8
9	5	10	25	11.5	8	8
10	2	10	20	7.1	8.5	9
11	3	10	10	9.2	11	9
12	2	10	25	10.7	8.5	7
13	4	7	5	3.6	7.5	5
14	3	10	25	6.8	8	8
15	3	10	10	8.4	9.5	8
16	4	8	10	8.5	7	6
17	2	10	20	5.4	7	7
18	4	10	25	7.6	9	8
19	3	10	5	6.3	7	7
20	3	8	7.5	6	8	7
21	3	10	5	7.1	8	7
22	3	6	5	7.8	7	7
23	3	10	10	8.3	9	7
24	2	6	2.5	5.9	7	5
25	2	10	20	9	11	9

Figure 2 shows the calculation results of BP neural network. It can be seen from the figure that the actual

seismic damage index of sample 3 is 0.4, and the prediction result is 0.56, which is basically close to the medium damage and difficult to distinguish. The actual seismic damage index of sample 6 and sample 22 are 0.2 and 0.9, respectively, and the prediction results are 0.08 and 0.7, respectively. The prediction results are wrong. The prediction results of the remaining 25 samples are completely consistent with the building damage levels corresponding to the actual earthquake damage index, and the accuracy of the model prediction is 88%.

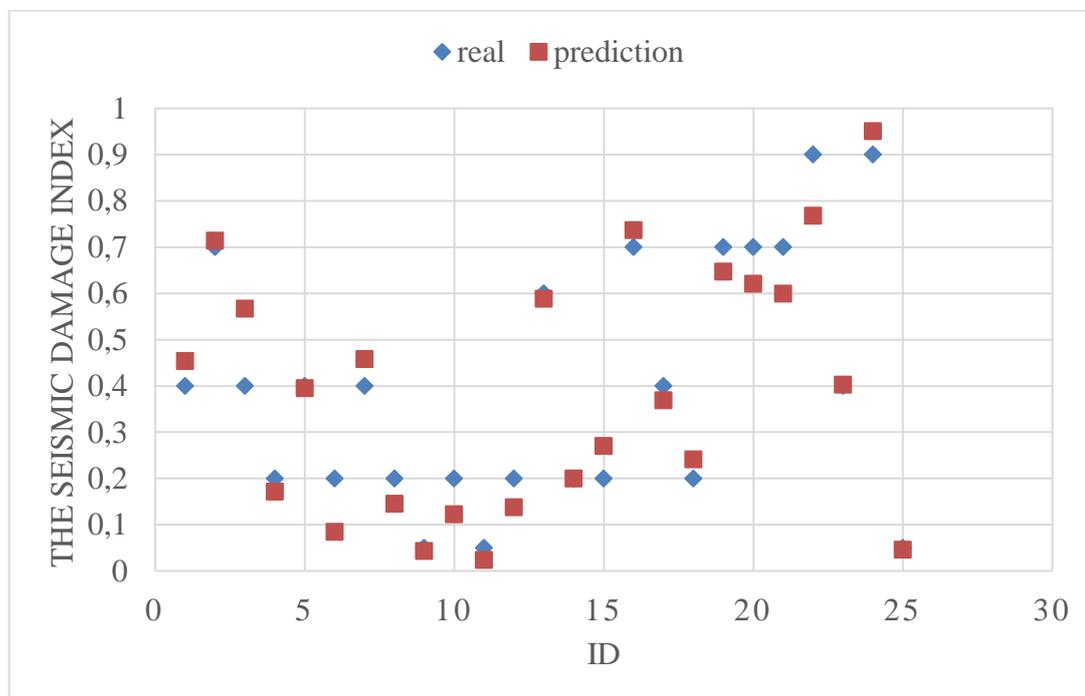


Figure.2 The prediction results of BP neural network

Conclusions

Based on the seismic damage samples of multi-layer masonry, this paper uses BP neural network to predict the seismic damage of buildings. The prediction results basically coincide with the real value, which can achieve ideal results. Compared with the traditional earthquake damage prediction methods such as expert discrimination, statistical regression and fuzzy mathematics, the BP neural network method is simple and practical, but it needs a large number of earthquake samples to train the model in order to improve the calculation accuracy.

In addition, using the trained neural network model to predict, the experimental calculation time in this paper is generally about 10s, which also shows that BP neural network is a fast calculation method. If we can further improve the degree of network training and the design of earthquake damage samples, the generalization and robustness of BP neural network will be greatly improved.

Тилеккызы Гулкайыр

Институт сейсмологии НАН КРг.Бишкек, Кыргызстан

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДА БИШКЕК НА ПРИМЕРЕ СУУСАМЫРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Аннотация. Последствия землетрясений существенно влияют на жизнь людей, экономику и окружающую среду. Правильное планирование, сбор и анализ данных, а также меры по снижению риска и повышению готовности населения могут помочь смягчить эти последствия и защитить людей и их имущество.

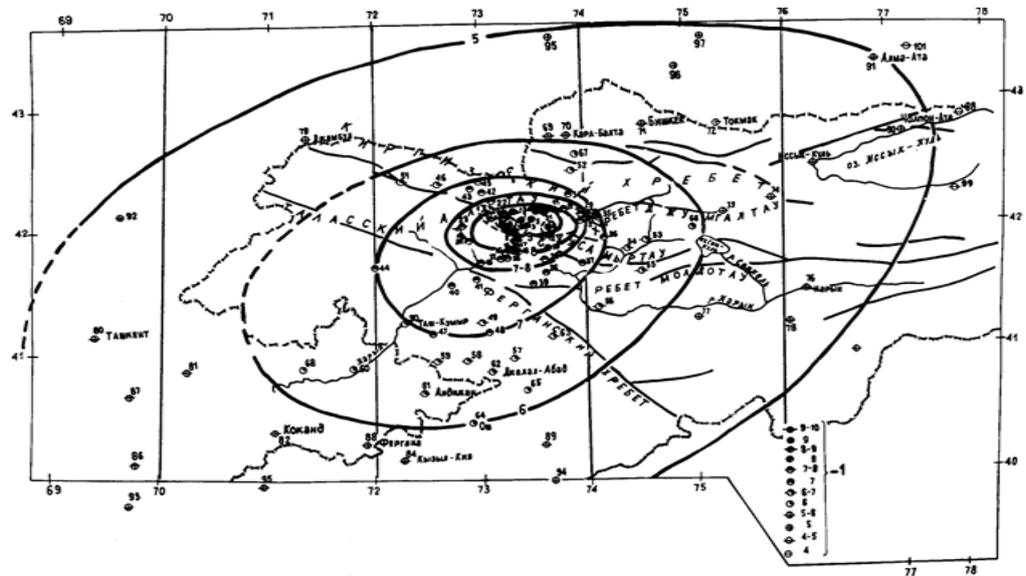


Рис.2.Карта изосейст Суусамырского землетрясения 19 августа 1992 года[2].

Суусамырское землетрясение произошло 19.08.1992 г. у северного подножья горы Суусамыртоо, в долине р.Арамсуу. Оно охватило огромную территорию, протягивающуюся от казахских степей на севере, до Памира на юге; от г. Ташкента на западе, до г. Алматы на востоке. Эпицентральное расстояние от очаговой зоны до города Бишкек составляет 120 км. Несмотря на довольно значительное расстояние, сейсмический эффект в пределах города проявился достаточно сильно, причем интенсивность землетрясения проявилась дифференцированно на различных грунтово-гидрогеологических зонах. Им были вызваны повреждения и разрушения зданий и сооружений во многих населенных пунктах. На территории города Бишкек, землетрясение ощущалось достаточно сильно, причём в южной части города, где распространены плотные галечники с глубоким залеганием грунтовых вод (более 20 м). Каждый человек, находящиеся внутри помещений, ощутил силу землетрясения, так как происходило сотрясения здания в целом, причем в верхних этажах ощущалось сильнее, чем на первых этажах зданий. По шкале MSK-64, интенсивность землетрясения в 8 – балльной зоне города оценивается около 5 баллов. В северной части города (суглинистые и супесчаные грунты с высоким стоянием уровня грунтовых вод, менее 3м.) сейсмический эффект землетрясения был более сильным, чем в южной части города. Интенсивность составила 6-7 баллов. Это землетрясение вызвало разрушения зданий, сооружений и гибель людей в окрестных населенных пунктах, но нанес лишь незначительный экономически ущерб в самом Бишкеке [3].

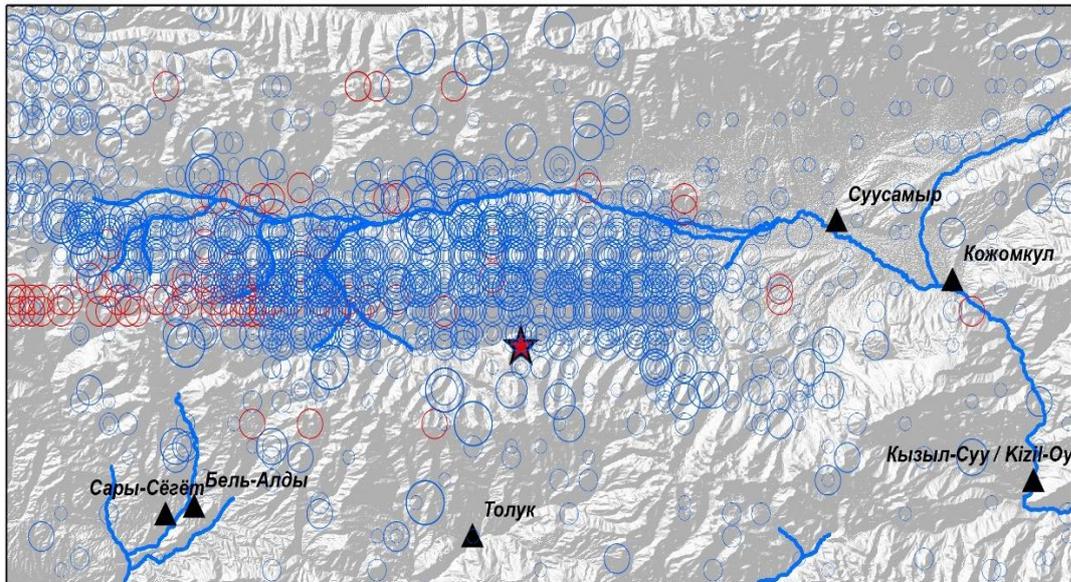


Рис.3. Карта очагов землетрясений на территории Суусамырской впадины, произошедших за период с 1960 г. по 2020 г. [4]. Красные кружочки – афтершоки Суусамырского землетрясения 1992 г.

Но в современных реалиях, в случае подобного землетрясения, может произойти больше разрушений и потерь, чем в 1992 году, так как с момента данного землетрясения прошло более 30 лет. За данный период численность городского населения увеличилось в несколько раз, а также произошло увеличение районов застройки города [5].

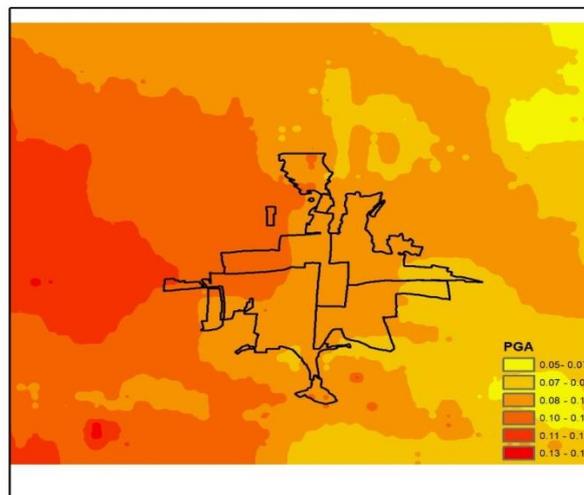


Рис.4 Пиковое ускорение грунта Суусамырского землетрясения по территории г. Бишкек [6].

По оценкам, к 2050 году 68% населения мира будет проживать в городских районах, соответственно Бишкек не станет исключением [7]. Процесс урбанизации повышает подверженность риска бедствий и усиливает социально-экономическое неравенство из-за нерегулируемого

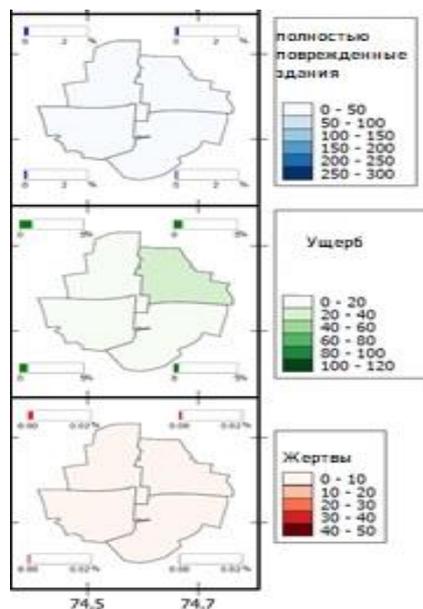


Рис.5. Ущерб от землетрясений (Полное разрушение зданий, стоимость и жертвы среди населения)[5].

распространения застройки на опасные территории. Наш анализ показывает, что возможное количество полностью поврежденных зданий и сооружений будет в пределах от 30 до 100, а количество погибших будет в пределах от 0 до 10 человек (рис.). Эти цифры невелики из-за удаленности Бишкека от эпицентра землетрясения, но Бишкек потенциально может столкнуться с несколько большим ущербом и потерями, чем в 1992 году. Серия недавних разрушительных землетрясений, затронувших Турцию и Сирию, еще раз напоминает нам о важности нашего видения снижения риска землетрясений во всем мире[9].

В заключение: землетрясения - это стихийное бедствие, которое может иметь разрушительные последствия для людей, животных и окружающей среды. Хотя их невозможно предотвратить, важно предпринять шаги для подготовки к ним и минимизации их воздействия. Понимая причины и последствия землетрясений, мы можем работать над созданием более устойчивых сообществ и снижением риска ущерба и гибели людей. Чтобы подготовиться к землетрясениям, важно иметь план действий в чрезвычайных ситуациях. Это должно включать в себя знание того, что делать во время землетрясения, например, укрыться под прочным предметом мебели и держаться подальше от окон и других стеклянных предметов.

Также важно иметь под рукой предметы первой необходимости, такие как еда, вода и аптечки первой помощи. Так как территория республики находится в сейсмоопасной зоне каждому жителю страны следует знать необходимые действия при землетрясениях. Для этого следует проводить учебно-тренировочные мероприятия во всех организациях независимо от форм собственности чтобы избежать или хотя бы минимизировать риски от землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.globalquakemodel.org
2. К.Д. Джанузаков, М. Омуралиев., А. Омуралиева., Б.И. Ильясов., В.В Гребенникова Сильные землетрясения Тянь-Шаня в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек-Илим-2003
3. Отчет о результатах эпицентральных работ по изучению Суусамырского землетрясения в Кыргызстане 19 августа 1992 года.
4. Каталог землетрясений института сейсмологии НАН КР.

5. Amey, R.M.J., Elliott, J.R., Watson, C.S. *et al.* Improving urban seismic risk estimates for Bishkek, Kyrgyzstan, through incorporating recently gained geological knowledge of hazards. *Nat Hazards* 116, 365–399 (2023).
6. Abrahamson, N., Gregor, N., and Addo, K.: BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes, *Earthq. Spectra*, 32, 23–44, 2016.
7. UN DESA. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*; United Nations: New York, NY, USA, 2019. [[GoogleScholar](#)]
8. Hussain, E., Elliott, J. R., Silva, V., Vilar-Vega, M., and Kane, D.: Contrasting seismic risk for Santiago, Chile, from near-field and distant earthquake sources, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 1533–1555, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1533-2020>, 2020.
9. Тилек к. Г., Абдрахматов К. Е., Байкулов С. К. Анализ и оценка сейсмического риска города Бишкек с использованием программы openquake // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2021. – № 4. – С. 73-79.
10. ТилекКызы, Г. Обзор исследований оценки сейсмического риска территории города Бишкек (Кыргызстан) / Г. ТилекКызы // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 28–30 апреля 2021 года. – Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. – С. 278-281.
11. Pittore, M.; Wieland, M.; Fleming, K. Perspectives on global dynamic exposure modelling for geo-risk assessment. *Nat. Hazards* 2016, 86, 7–30.
12. Abdrakhmatov K, Havenith HB, Delvaux D et al (2003) Probabilistic PGA and arias intensity maps of Kyrgyzstan (Central Asia). *J Seismol* 7(2):203–220.
13. Abdrakhmatov KY (1988) Quaternary tectonics of the Chu basin. Frunze: Ilim p 120
14. Ainscoe EA, Abdrakhmatov KE, Baikulov S et al (2018) Variability in surface rupture between successive earthquakes on the Suisamy Fault, Kyrgyz Tien Shan: implications for palaeoseismology. *Geophys J Int* 216(1):703–725.
15. Amey RMJ, Elliott JR, Hussain E et al (2021) significant seismic risk potential from buried faults Beneath Almaty City, Kazakhstan, revealed from high-resolution satellite DEMs. *EarthSpaceSci*. <https://doi.org/10.1029/2021EA001664>
16. Bindi D, Mayfield M, Parolai S et al (2011) Towards an improved seismic risk scenario for Bishkek, Kyrgyz Republic. *SoilDynEarthqEng* 31(3):521–525. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.08.009>
17. Campbell KW, Bozorgnia Y (2014) NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5Spectra. *EarthqSpectra* 30(3):1087–1115. <https://doi.org/10.1193/062913EQS175M>
18. GEM (2018) The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model (GEM) Open-Quake Manual for Engine version 3.2.0. Tech. rep., doi: <https://doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.2.0>

¹Абаканов Т., ²Суровцева Н.В.

¹ - Международная образовательная корпорация Казахская головная архитектурно-строительная академия МОН РК, г. Алматы, Казахстан, t.abakanov@mail.ru

² - Магистрант МОК КазГАСА, Факультет общего строительства, natali.s71@mail.ru

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РЕГИОНАХ ПУТЕМ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Аннотация. Данная статья посвящена проблеме обеспечения сейсмостойкости зданий в условиях строительства в сейсмоопасных регионах путем усиления относительно слабых по сейсмическим свойствам грунтовых оснований. В данной работе были рассмотрены различные способы усиления грунтовых оснований зданий, применяемые в настоящее время в строительстве, в том числе в сейсмоактивных регионах. Был проведен анализ традиционных методов, в ходе которого было предложено исследовать возможность применения способа улучшения физико-механических свойств слабых грунтов геосинтетическими материалами и определить

эффективность данного технического решения для строительства в сейсмоопасных регионах.

Annotation. This article is devoted to the problem of ensuring the seismic resistance of buildings under construction in seismic regions by strengthening relatively weak seismic properties of soil foundations. In this paper, various methods of strengthening the soil foundations of buildings that are currently used in construction, including those in seismically active regions, were considered. An analysis of traditional methods was carried out, during which it was proposed to investigate the possibility of using a method for improving the physical and mechanical properties of soft soils with geosynthetic materials and to determine the effectiveness of this technical solution for construction in seismic regions.

Введение. Сильные землетрясения несут реальную угрозу для населения сейсмоопасных регионов и стоят на одном из первых мест среди стихийных бедствий по своим пагубным последствиям [1]. Обеспечение сейсмобезопасности населения является особо важной задачей современного строительства. Разрушительное землетрясение в Турции, произошедшее 6 февраля 2023 года, в результате которого погибло около 60 тысяч человек, ещё раз напомнило нам, какое огромное значение имеет обеспечение сейсмостойкости зданий в условиях строительства в сейсмоопасных регионах. В настоящее время в Средней Азии и Казахстане, как и во всем мире, наблюдается всплеск строительства высотных зданий, проектирование которых существенно отличается для сейсмически активных районов. Традиционные методы сейсмозащиты получили широкое распространение в различных странах, подверженных сейсмической опасности, и являются общепризнанными [2]. Однако, при разрушительных землетрясениях (с интенсивностью сейсмического воздействия свыше девяти баллов), традиционные методы сейсмозащиты оказываются недостаточными и слишком затратными [3]. Таким образом, для строительства в сейсмоопасных регионах Средней Азии и Казахстана является актуальным изучение применения новейших способов повышения сейсмостойкости зданий и сооружений с целью обеспечения безопасности населения и снижения возможных последствий сильных землетрясений. Особое место занимают вопросы обеспечения сейсмобезопасности зданий на слабых грунтах, так как ослабление основания значительно снижает сейсмостойкость зданий и сооружений [1]. В статье приведены оптимальные методы усиления оснований в период подготовки к строительству.

О методах закрепления грунтов основания зданий.

В настоящее время существует множество методов закрепления грунта, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Чаще всего область применения определенного метода так или иначе ограничена типом грунта. Особую опасность при землетрясениях представляют площадки с преобладающими грунтами III категории по сейсмическим свойствам. К таким грунтам относятся самые неблагоприятные по сейсмическим свойствам грунты: рыхлые и водонасыщенные. Эффективным средством перевода таких грунтов во II категорию является инженерная подготовка территории, направленная на преобразование строительных свойств грунтов с целью снижения интенсивности сейсмического воздействия. При устройстве укрепления геомассивов неблагоприятным фактором является наличие грунтовых вод, создающих опасность образования при землетрясениях избыточного порового давления и разжижения грунтов. Во избежание этой опасности предусматривается устройство дренажных систем.

Существуют различные способы усиления грунтов:

- силикатизация;
- электро- и газосиликатизация;
- термическое закрепление;
- смолизация грунта;
- цементизация грунта;
- различные виды армирования грунта;
- механические методы уплотнения грунтов;

– физико-химические методы закрепление грунтов.

Современные методы усиления грунтов позволяет использовать для строительства земельные участки, имеющие заведомо низкие инженерно-геологические показатели, а также территории, не подходящие для ведения сельского хозяйства и других видов деятельности[4].

Искусственное закрепление грунта является воздействием на грунт с помощью различных конструктивных и технологических мероприятий, которое повышает его несущую способность и снижает деформации. На современном этапе строительства искусственное улучшение физико-механических свойств грунтов основания может осуществляться методом инъекции в грунт различного рода составов под давлением в предварительно пробуренные скважины. Данным способом можно придать грунтам механическую прочность, водонепроницаемость или водоустойчивость.

Конечно, наименее затратными способами являются механические методы уплотнения грунтов,наибольший эффект которых достигается при условии наличия в основании оптимальной влажности. Уплотнение выполняется до снижения оседания грунта. Глубинное уплотнение грунту способно обеспечить высокую плотность и малую деформативность мощных толщ относительно слабых грунтов.Для этих работ применяют всевозможные катки, начиная от ручных до тяжелой механизированной техники, а также различные виды вибротрамбовок и ударных механизмов[5]. Однако, технология проведения работ в данных методах не всегда позволяет проводить работы в условиях городской застройки.

В условиях строительства в предгорных районах нужно учитывать «ползучесть» грунтов дабы предотвратить сползание сооружения со склонов вместе с грунтом основания при сейсмическом воздействии. Необходимо обеспечить такое равновесное состояние, при котором силы, вызывающие сползание сооружения, будут уравниваться силами, возникающими от сцепления грунта по плоскости возможного скольжения. Одним из способов обеспечения сейсмоустойчивости сооружения на склоне при сильном землетрясении является техническое решение предложенное Т.Абакановым (А.С.№1740557) в 1992 году.Предлагаемое решение обладает особо повышенной надёжностью и может быть реализовано как во вновь возводимых сооружениях, так и для обеспечения надёжности существующих сооружений, возведённых ранее на опасных склонах в сейсмоактивных районах[6].

В международном строительстве уже более тридцати лет известно о применении геосинтетических материалов. В наши дни на международный рынок поставляется около 400 их видов: геосетки, геотекстиль, геоплиты, геосоты, георешетки и т.д.[7] Каждый из выше представленных материалов отличается друг от друга механизмом производства, составными элементами, назначением, характеристиками, свойствами и так далее. В то время как на европейском рынке применение геосинтетиков в строительстве дорог имеет широкое распространение, в Казахстане только началось становление этой части рынка.Вопрос применения геосинтетических материалов в общем строительстве в качестве способа укрепления оснований пока не до конца изучен.

Использование геосинтетиков для укрепления грунтовых оснований в настоящее время стало популярным, особенно в дорожном строительстве[8]. Этому способствует их большое разнообразие, простота и эффективность технологии. Существуют объективные причины использования геосинтетических материалов:

- экономическая сторона связана с менее затратным строительством, ремонтом и содержанием различных автомобильных магистралей и дорог, железнодорожных путей;
- применение геосинтетиков в качестве дополняющих материалов в строительстве увеличивает срок службы возводимых сооружений, повышает уровень производимых работ;
- взаимозаменяемость и взаимодополняемость применяемых материалов;
- в свете экологического аспекта геосинтетические материалы рассматривают, как

возможность снизить количество используемых природных ресурсов и тем самым благоприятно повлиять на состояние окружающей среды.

Существует несколько разновидностей геосинтетических материалов, применяемых в строительстве с целью армирования грунтовых оснований: геотекстиль, геосетка, георешетка, геоматрица. В зависимости от способа изготовления и, как следствие, итоговых технических характеристик различают геотекстиль тканый и нетканый [9]. Нетканый геотекстиль представляет собой плоскую структуру, которая состоит из синтетических волокон, скрепленных между собой механическим методом. Такой материал не гниет, через него не прорастают корни растений, а структура обеспечивает хорошие прочностные и фильтрующие свойства. Нетканые материалы исторически были первым типом геосинтетиков, которые выпускались текстильной промышленностью. До сих пор эти материалы продолжают использоваться во всем мире при различных геотехнических работах. Основные функции геотекстиля - разделение, армирование, фильтрация, дренаж, а также их сочетание. Тканый геотекстиль – плоская и системная структура, сотканная из нескольких рядов синтетических лент, которые позволяют получить системные малоразмерные переплетения. Такой материал прочен во всех направлениях, морозостоек. При укладке в земляное сооружение тканый геотекстиль образует сложную конструкцию, в которой действует как арматура.

Использование геосинтетического армирования может увеличить несущую способность и уменьшить осадку грунтового основания. Как описывает в своей книге Санджай Кумар Шугла [10], в этой области было проведено множество испытаний в лабораторных и полевых условиях при воздействии статических нагрузок. Было проведено несколько испытаний под нагрузкой на большие плиты и полевые испытания для грунтовых оснований с геосинтетическими упрочняющими элементами.

При сравнительных испытаниях армированных и неармированных грунтовых оснований были получены следующие результаты [10]. На рис.1 показано, что армирование увеличивает несущую способность и модуль упругости, а также снижает осадку фундамента. Увеличение несущей способности часто выражается как коэффициент несущей способности (BCR) следующим образом:

$$BCR = \frac{q_{ult,r}}{q_{ult,u}}$$

где, $q_{ult,r}$ = предельная несущая способность неармированного фундамента

$q_{ult,u}$ = предельная несущая способность армированного фундамента

Увеличение модуля выражается как модуль улучшения коэффициента (MIF):

$$MIF = \frac{k_r}{k_u} = \frac{E_r}{E_u}$$

где, k_r = модуль реакции земляного полотна армированного фундамента

k_u = модуль реакции земляного полотна неармированного фундамента

E_r = модуль упругости армированного основания

E_u = модуль упругости неармированного основания

Предыдущие исследования показывают, что значения BCR в основном варьируются от 1,0 до 3,0, а значения MIF - от 1,0 до 2,0. Причина того, что MIF имеет меньшее значение, чем значение BCR, заключается в том, что MIF определяется при меньшей деформации, при которой арматура менее подвижна.

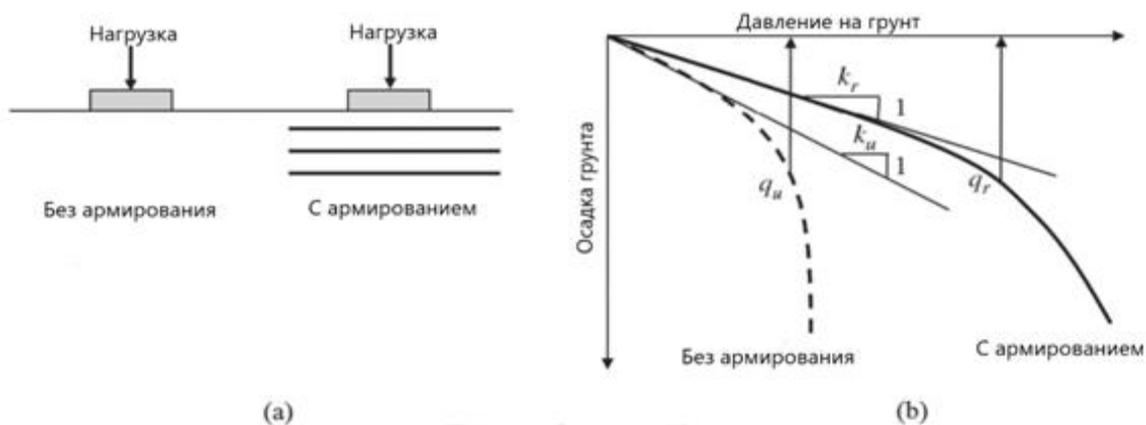


Рисунок 1. Изменение восприятия нагрузки (а) и осадки грунта(б) при армировании геосинтетическими материалами.

Заключение. Обеспечение сейсмобезопасности зданий в сейсмоопасных регионах Средней Азии и Казахстана является актуальной задачей. В мировой и отечественной практике в последние годы широко применяются новые технологии, основанные, в том числе, и на традиционных способах усиления слабых грунтовых оснований. Использование геосинтетиков различных типов и модификаций в дорожном и гидротехническом строительстве, а также для усиления откосов плотин показали весьма положительные результаты и относительную экономичность данных методов [10]. На данный момент возможность использования геосинтетических материалов для усиления оснований зданий и сооружений из недреннирующих упрочненных грунтов в сейсмоопасных регионах еще не изучена полностью. Целесообразны работы по исследованию возможности применения данного технического решения в условиях строительства в сейсмоактивных районах и определению его эффективности.

Литература:

1. Кусаинов А.А., Абаканов Т. Инженерная сейсмология и сейсмостойкость сооружений. Учебник. – Алматы, 2018. – 332 с.
2. Байтанов Ж., Садыров Р., Акимжанова А. Мероприятия по обеспечению защиты объектов, эксплуатируемых в сейсмоопасных районах. // Доклады первого Казахстанско-японского семинара 25-28 июня 2001 г, г. Алматы. – Алматы, 2002. – С.180-185.
3. Поляков, С. В. Сейсмостойкие конструкции зданий (основы теории сейсмостойкости) /– М. : Высшая школа, 1983. – 304 с.
4. Братан Ф.И., Данилова Е.А., Хотулева Е.И., Окольников Г.Э. Современные методы усиления оснований // Системные технологии -2020 -№37
5. Смородинов М.И. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты / Глава II. Подготовка грунтов основания, 1974.- стр.27-31
6. Абаканов Т. - А. С. №1740557. Сейсмоустойчивое сооружение, 1992. – 6с.
7. <https://polyline.ru/articles/geosinteticheskie-materialy-v-stroitelstve>
8. Дмитриев И.И., Геосинтетические материалы в дорожном строительстве /Строительство уникальных зданий и сооружений, 2016, №10 (49)- стр.35-58
9. <https://geoproduct.ru/info/articles/sfery-primeneniya-materialov>
10. Sanjay Kumar Shukla. An Introduction to Geosynthetic Engineering // School of Engineering, Edith Covan University, Australia, 2016-472с.

БАЗА ДАННЫХ ПО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЯМ ПЛОТИН И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Аннотация. Представлены результаты создания баз данных для обработки сейсмометрических данных по водохранилищам Андижан, Ахангаран, Каркидон, Джизак, Сардоба, Туполанг. Укомплектованы под единую систему сейсмометрические записи на плотине и береговых склонах указанных водохранилищ. Изложены виды переменности сейсмометрических записей на объектах, в зависимости расположения объектов. Для всех рассматриваемых резервуаров базируются цифровые данные в объеме более 20Gb. Создание базы данных служит информационной основой для мониторинга состояния плотин, их оснований и береговых откосов, оценки их безопасности и надежности, а также прогнозирования возможных последствий сильных землетрясений на объекте.

Annotation. The results of creating databases for processing seismometric data on the reservoirs Andijan, Akhangaran, Karkidon, Jizzakh, Sardoba, Tupolang are presented. Seismometric records on the dam and coastal slopes of these reservoirs were completed under a single system. The types of variability of seismometric records on objects are outlined, depending on the location of the objects. For all considered reservoirs, digital data in the amount of more than 20Gb are based. The creation of the database serves as an information basis for monitoring the state of dams, their foundations and coastal slopes, assessing their safety and reliability, as well as predicting the possible consequences of strong earthquakes at the facility.

Введение. Управление сейсмическими данными в зонах крупных водохранилищ Узбекистана уже несколько лет работает с «большими данными» в виде сейсмометрических данных. Размер и объемы данных растут по мере сбора и повторной обработки данных для различных типов использования. Усовершенствованные методы обработки сейсмометрических данных, полученных натурными записями на плотинах и береговых склонах, могут генерировать новые идеи на основе старых данных, поэтому поиск и управление полевыми данными до суммирования имеют решающее значение. Из-за размера и стоимости дискового пространства многие решили хранить сейсмометрические данные на отдельных носителях, которые было трудно поддерживать и которые часто терялись или не поддерживались новыми структурами ИТ систем. Многоуровневое и облачное хранилище предлагает разные способы управления большими наборами сейсмических данных, а веб-средства просмотра и администрирования упрощают поиск и управление этих данных.

База данных должна являться подходящим решением для управления всеми этапами сейсмометрических данных, с полевых до суммирования обработанных данных. Документы, связанные с цифровыми данными, можно хранить, и на них можно ссылаться, предоставляя ценную информацию администратору данных и конечным пользователям. Сейсмические данные сложны и требуют специальной обработки при загрузке данных для использования конечными пользователями. Крупные опросы часто охватывают несколько областей исследований и могут нуждаться в обрезке в зависимости от прав на данные. Независимо от того, реализована ли она в одной среде или в качестве многокомпонентного хранилища данных, базу данных необходимо создать для обеспечения комплексной безопасности и прав доступа к онлайн- и офлайн-данным.

Цель и методы исследований. В настоящее время на основе анализа результатов сейсмометрических наблюдений для ряда водохранилищ Узбекистана собран большой объем цифровой информации, хранящейся в разных форматах и в разных информационно-коммуникационных средах [1,2,3]. Они собраны в результате проведения целенаправленных нестационарных сейсмометрических экспедиционных исследований на объектах, так же на базе стационарных наблюдений за колебаниями плотин и береговых

склонов на базе существующих систем инженерно-сейсмометрических наблюдений в водохранилищах, анализа деформаций эпицентральной зоны произошедших крупных землетрясений и в локальных участках земной коры. Поэтому они не всегда универсальны для любой формы построения волновых форм и спектральных соотношений амплитудно-частотных кривых [3,4]. Для совершенствования системы непрерывного проведения инструментальных сейсмологических наблюдений на водохранилищах, расположенных на сейсмически активной территории Республики Узбекистан необходимо собрать в единую базу результаты сейсмометрических исследований. Для этого ряд важных цифровых информации по водохранилищам Андижан, Ахангаран, Каркидон, Джизак и Сардоба собрано анализами в разных файлах. Формированные пакеты сейсмических волн отдельно обработаны методом Накамура [5,6] и часть их опубликованы в научных статьях [1,2,4,7]. Для анализа и хранения сводного каталога использована среда ARCGIS с обеспечением управления базами данных и в среде GEOPSY. Для успешной реализации создания баз данных корректной обработки сейсмометрических данных для водохранилищ Восточного и Южного Узбекистана с применением современных ИТ баз использована среда ARCGIS и среда GEOPSY с обеспечением управления базами данных. Для этого собрана информация о землетрясениях, имевших место с 2011 по 2022 гг и данные цифровых записей стационарными или нестационарными сейсмическими наблюдениями [8]. Более подробно по применению основ информационных технологий при строительстве гидротехнических сооружений Узбекистана исследовано в работах Н.М.Джураева и др [9]. Нормальная реализация системы требует создания интегрированной информационной системы с развитой инфраструктурой. Подобная информационная инфраструктура, базирующаяся в последних информационных технологиях, реализуется в виде интегрированных геоинформационных систем (ГИС).

Результаты и их обсуждение. После того, как база заполнится конкретными данными, производится проверка, корректировка и дополнение этой базы данных. Создание баз данных для обработки сейсмометрических данных по водохранилищам Андижан, Ахангаран, Каркидон, Сардоба нами осуществлен сбором данных по каждому объекту с формированием файлов ввода их в среду ArcGIS и GEOPSY в форматах требуемых для используемой версии этих сред.

Андижанское водохранилище. Бетонная плотина Андижанского водохранилища (на р. Карадарья) расположена на территории высокой – 9 балльной сейсмичности [10]. Ниже в рисунке 1 (а,б) показаны примеры.

Подключенные сейсмоприемники к цифровой системе мониторинга сейсмичности на плотине Андижанского водохранилища

№ канал а	Отметка (м)	Секция	Компонент	Номер сейсмо-приемника	№ язлы	№ ComPort	Webtronics каналы
1	905	17	X	151	171-172	2	1
2	905	32	Y	156	207-208	2	2
3	905	17	Z	251	167-170	2	3
4	905	8	X	26A	144-145	3	1
5	905	7	Y	33	64-69	3	2
6	885	2	X	254	105-106	3	3
7	885	17	X	28	165-166	4	1
8	885	7	Y	228	43-44	4	2
9	885	32	X	191	204-205	4	3
10	804	7	X	150	8-9	5	1
11	845	32	X	126	186-187	5	2
12	845	7	X	185	19-20	5	3
13	845	8	X	241	152-153	6	1
14	845	8	Y	208	136-137	6	2
15	845	17	X	178	150-151	6	3

а

б

Рис. 1. Результаты обработки введенных в ArcGIS местных каталогов в зоне возможного влияния Андижанского водохранилища за период 2011-2022 гг

Они являются результатом обработки введенных в ArcGIS местных каталогов и построенное поле распределения землетрясений в зоне возможного влияния Андижанского водохранилища за период 2011-2022 годы. По конструкции она относится

к массивно-контрфорсной плотине. Высота плотины –115м, длина по гребню около 900м и ширина по основанию 110м. Основанием плотины Андижанского водохранилища служат скальные грунты – сланцы Pz и известняки, песчаники и др. мелового возраста. Инженерно-сейсмометрические наблюдения (ИСН) на плотине были созданы в 1981г по временной схеме, затем в 2018 году ИСН система модернизировано переводя на цифровую систему. Поэтому для ввода в ArcGIS в основном подготовлены вводными данными файлы цифровых регистраций как региональных, так и локальных стационарных сейсмических станций. Кроме этих в среду GEOPSY введены записи профильных сейсмометрических съемок.

Ахангаранское водохранилище. Ахангаранское водохранилище географически расположено в Восточном Узбекистане [10]. Оно является крупным гидротехническим сооружением на реке Ахангаран. Служит для орошения земель Ахангаранского, Средне-Чирчикского, Пскентского и Букинского районов Ташкентского вилоята. Ниже в рисунке 2(а,б) показаны примеры результатов обработки введенных в ArcGIS местных каталогов и построенное поле распределения землетрясений в зоне возможного влияния Ахангаранского водохранилища за период 2011-2022 годы. Для ввода в ArcGIS и GEOPSY подготовлены записи цифровых регистраций колебаний в основном региональных стационарных сейсмических станций. Так же в среду введены записи поведенных профильных сейсмометрических съемок.

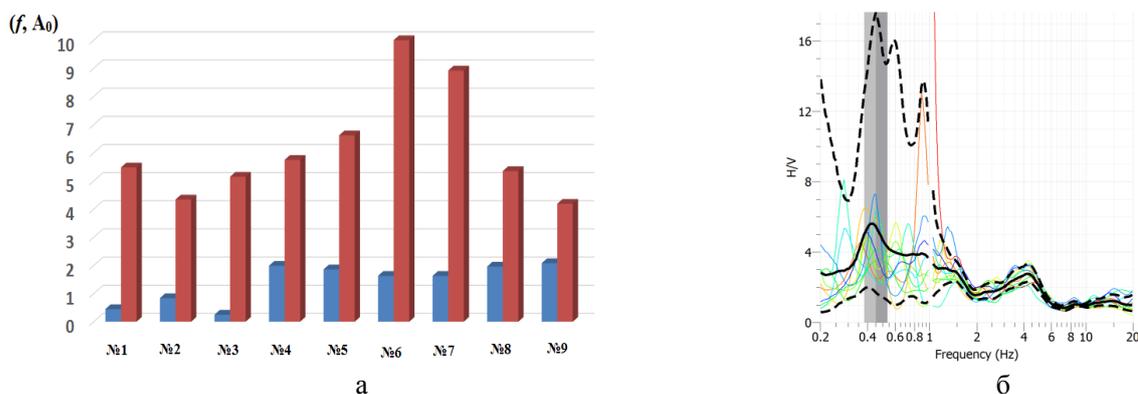


Рис.2. Результаты обработки в ArcGIS и в среде GEOPSY (а - соотношение (f, A_0) ; б -изменения H/V в центральной части гребни плотины Ахангаранского водохранилища при разных частотах)

Каркидонское водохранилище. Каркидонское водохранилище расположено в Ферганском вилояте [10]. Источником поступления воды служит р.Исфарамсай. Водохранилище введено в эксплуатацию 1967 году.

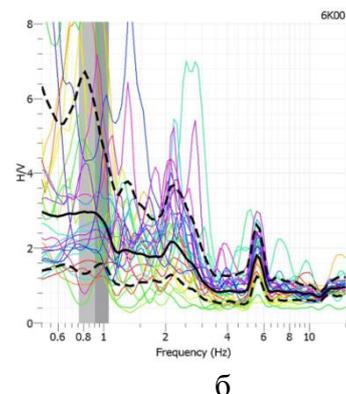
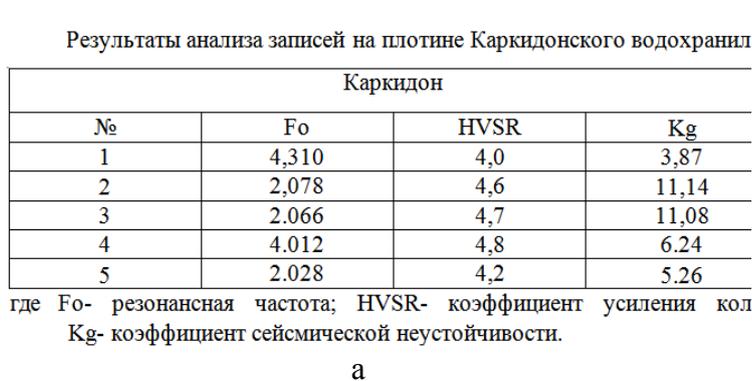


Рис.3. Результаты обработки в ArcGIS и в среде GEOPSY (а - изменения частоты, HVSR, K_g ; б – H/V спектр в центральной части гребни плотины Каркидонского водохранилища при разных частотах)

Выше в рисунке 3(а,б) показаны примеры результатов обработки введенных в ArcGIS местных каталогов и построенное поле распределения землетрясений в зоне возможного влияния Каркидонского водохранилища за период 2011-2022 годы.

Джиззакское водохранилище. Джиззакское водохранилище расположено в Джизакском вилояте на реке Санзар [10]. Введено в эксплуатацию 1973 году. Полный объем 100 млн.м³. Длина 3 км, ширина 5,6 км. Плотина земная высотой 20 метров и длиной 5500 метров. Ниже в рисунке 4(а,б) показано примеры результатов обработки введенных в ArcGIS местных каталогов и построенное поле распределения землетрясений в зоне возможного влияния Джиззакского водохранилища за период 2011-2022 годы.

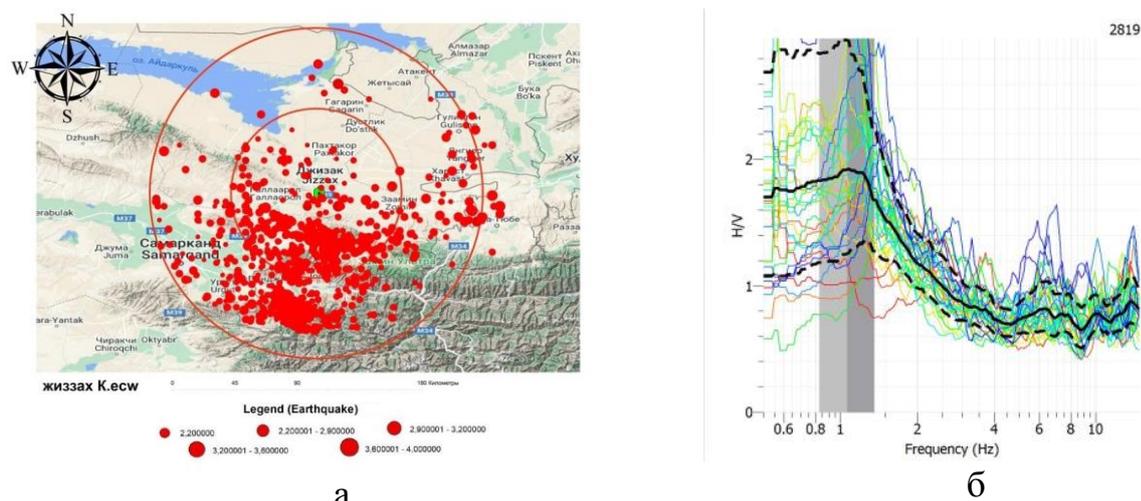


Рис.4. Результаты обработки в ArcGIS и в среде GEOPSY

(а - распределения землетрясений в зоне влияния Джиззакского водохранилища; б - вариация Н/В в части плотины при разных частотах)

Так же для ввода в ArcGIS подготовлены записи цифровых регистраций колебаний в основном региональных стационарных сейсмических станций. Кроме этих в среду введены записи поведенных профильных сейсмометрических съемок.

Сардобинское водохранилище. Ранее этот водоем был достаточно не большим. Сардобинское водохранилище после модернизации введено в эксплуатацию в 2017 году. Сардобинское водохранилище расположено в Сирдарьинском вилояте [10]. Полный объем 900 млн.м³. Длина 7,2 км, ширина 7,1 км. Плотина земная высотой 30 метров и длиной 18000 метров. В рисунке 5(а,б) выше показано примеры результатов обработки введенных в ArcGIS местных каталогов и построенное поле распределения землетрясений в зоне возможного влияния Сардобинского водохранилища за период 2011-2022 годы. На плотине Сардобинского водохранилища проведены профильные сейсмометрические измерения в 2017,2018 и 2021 годах.

Ниже в рисунке 6 показан пример поля ArcGIS и обработки в среде GEOPSY в окне «распределение землетрясений» с вводом информация о землетрясениях по зоне влияния водохранилища.

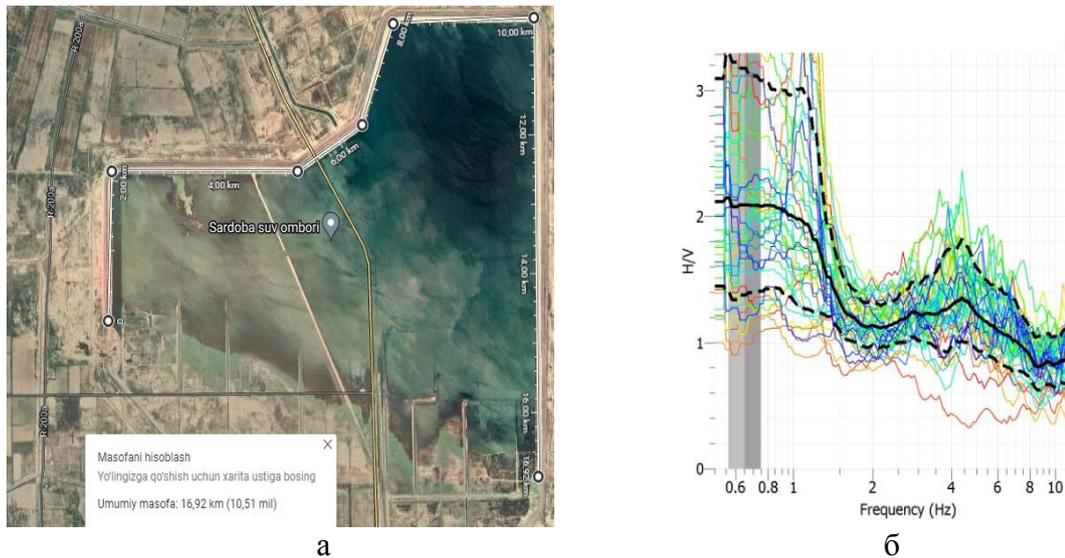


Рис.5. Результаты обработки введенных в ArcGIS и в среде GEOPSY (а - длина плотины Сардобинского водохранилища; б - вариация H/V на плотине при разных частотах)

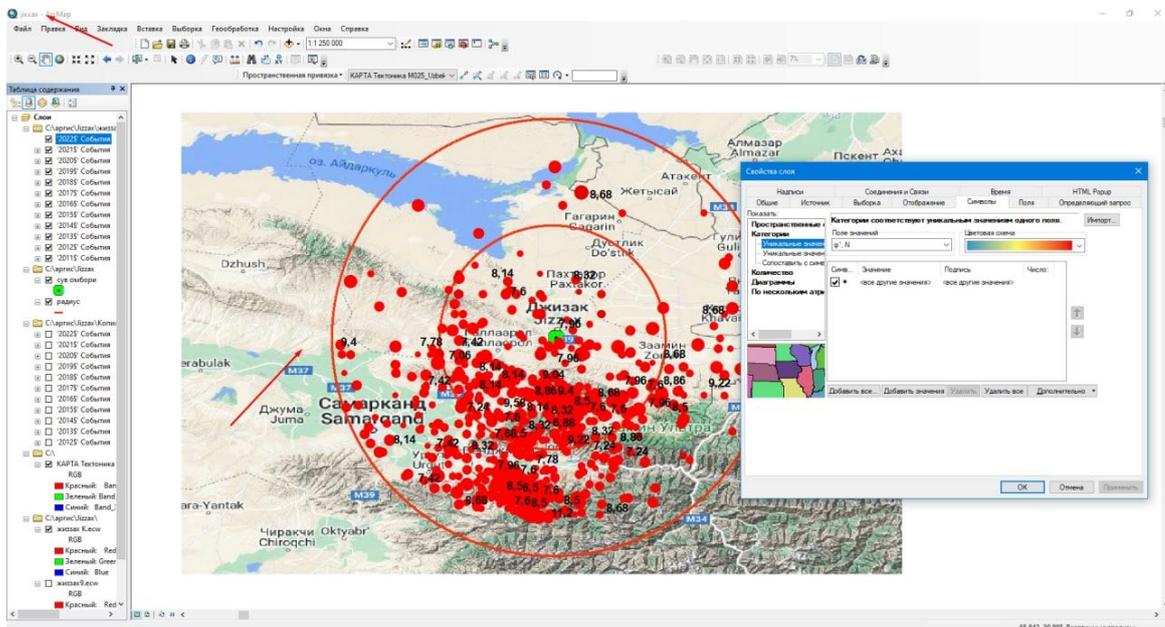


Рис.6. Пример рабочего поля ArcGIS в окне «распределение землетрясений» с вводом информации о землетрясениях по зоне влияния Джизакского водохранилища

Оно включала в себя: **date [GMT]**-дата и время (по Гринвичу), землетрясения; **lat-lon** - (широта-долгота) - координаты эпицентра землетрясения; **depth** – глубина очага; **ms** - магнитуда; **encl earthquak** – энергетический класс; **region name** - расстояние от створа каждого водохранилища до очага землетрясения; **stressdrop** – сброс напряжений в очаге землетрясения; **dst** - расстояние от эпицентра до створа водохранилища. Так же для ввода в ArcGIS подготовлены записи цифровых регистраций колебаний в основном региональных стационарных сейсмических станций. Кроме этих в среду введены записи поведенных профилейных сейсмометрических съемок.

Заключение. В настоящее время ряд плотин в республике и за рубежом оснащено инженерно-сейсмометрической аппаратурой для наблюдений за их поведением при землетрясениях. Для всех рассматриваемых резервуаров базируются цифровые данные в объеме более 20Gb. Создание базы данных служит информационной основой для мониторинга состояния плотин, их оснований и береговых откосов, оценки их

безопасности и надежности, а также прогнозирования возможных последствий сильных землетрясений на объекте.

Литература

1. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность.// Доклады АН РУз - Ташкент.- 2018. - Ташкент.- №2.- 2018.- С.74-79.
2. Хамидов Х.Л., Иброгимов Ф.И. Состояние кинематических показателей колебания плотин и береговых склонов Чарвакского и Ахангаранского водохранилищ Узбекистана.// Международная научно-практическая конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан» с 16 по 18 июня 2022 в г. Алматы.- С.132-136.
3. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л. Результаты обработки записей колебаний плотин и береговых склонов Чарвакского и Андижанского водохранилищ Узбекистана при слабых землетрясениях// Российский сейсмологический журнал.– 2020.– Т. 2, № 4.– С. 123-134.
4. Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Хамидов Л.А., Иброгимов Ф.И., Анварова С.Г. Кинематика колебания плотины Гиссаракской ГЭС// Доклады АН РУз.,№5.,2021,С. 86-91.
5. Nakamura Y.A., Gurler, E. Dilek, Saita J. et al. Vulnerability investigation of Roman Coliseum using micro tremor // Proceeding, 12th WCEE 2000 in Auckland. NZ. P. 1-8.
6. Guidelines for the implementation of the H/V spectra ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation // SESAME European research Project WP12 – Deliverable D23.12: Project № EVG1.
7. Иброгимов Ф.И., Мухаммадкулов Н.М., Бахриддинов Д.Х. Наблюдение за частотами колебаний плотины Ахангаранского водохранилища // Международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях» (27 – 29 апреля 2022 г. г. Бишкек).- С.316-321.
8. Фаулер, Мартин. Архитектура корпоративных программных приложений.: Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. — 544с.
9. Джураев Н.М., Хусамитдинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Курбанов Б.Т., Усманходжаев И.И. Применение современных информационных технологий при строительстве гидротехнических сооружений.// Proceedings of the IVth Central Asian Geotechnical Symposium (IVth CAGS) ‘Geo-Engineering for Construction and Constrvation of Cultural Heritage and Historical Sites’.- Samarkand.- 21-23 September, 2012.- P.275-277.
10. Интернет ресурс Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан // <http://www.cawater-info.net/bk/1-1-1-1-3-uz.htm> (обращение 22.03.2023 года)

**Исмаилов В.А., Ёдгоров Ш.И., Хусомиддинов А.С.,
Ядигаров Э.М., Актамов Б.У.**
Институт сейсмологи Академии наук Республики Узбекистан

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Аннотация. В работе представлены оценки сейсмического риска Самаркандского региона на основе сценарного землетрясения с использованием программы «INTensity MAP v3.02» и «SeismicRiskAssessment 3».

Annotation. Samarqand regional seismologic risk is evaluated by «INTensity MAP v3.02» и «SeismicRiskAssessment 3» based on the earthquake scenario in this work.

В настоящее время имеется принципиальная возможность долгосрочной прогнозной оценки последствий сильного землетрясения. В частности, возможен прогноз

сейсмической опасности определенных территории и реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия, и, следовательно, прогноз состояния урбанизированной территории после землетрясения. На основе такого прогноза, в свою очередь, возможна разработка мер по смягчению последствий землетрясения, а также обоснование планировочных решений при освоении новых сейсмоопасных территорий. Оценка и районирование сейсмического риска территорий областей в этом аспекте весьма актуальная задача[1].

Территория Самаркандской области Республики расположена в сейсмически активных зонах и в полной мере подвержена ощутимым сейсмическим воздействиям. По историческим и инструментальным данным на территории республики зафиксированы землетрясения, вызывавшие сотрясения в 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64. Следовательно, для этих территорий высока вероятность повторения подобных событий и в будущем. Это свидетельствует о вероятности возникновения экономических, социальных и экологических последствий[2].

При оценке сейсмического риска территории Самаркандской области Республики Узбекистана учтён положительный опыт существующих передовых методологий оценки и картирования, применяемый в других странах, в частности Германии, Италии, России, Молдовы, Армении и др. Необходимо отметить работу немецких специалистов из Центра по управлению катастрофами и уменьшению риска (CenterforDisasterManagementandRiskReductionTechnology - CEDIM), основанный совместно Университетом Карлсруэ и Потсдамским Центром Наук о Земле, в рамках проекта «Карта риска Германии»[3,4].

Для разработки карты сейсмического риска территории Самаркандской области Республики Узбекистан созданы несколько базы данных на основе ГИС платформ, которые позволяют систематизировать и оценивать региональное распределение информации о сейсмической опасности, количестве здании и их конструктивных типах, коэффициенте сейсмической уязвимости зданий и застроенных территории, кадастровой стоимости зданий и т.д.

Теоретические основы оценки сейсмического риска рассмотрены многими исследователями. На основе учета всех факторов (сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск) разработана методика оценки и прогноза сейсмического риска [5-8]. Согласно общепринятой концепции, сейсмический риск определяется как суперпозиция сейсмической опасности и уязвимости различных элементов риска (люди, инженерные сооружения гражданского и промышленного назначения, линии жизнеобеспечения, другие составляющие инфраструктуры, экономическая и коммерческая деятельность и т. д.)[1].

Концепция оценки сейсмического риска состоит из трех блоков задач: источник, воздействие и последствие, а каждый блок - из ряда элементов риска, оценка которых в совокупности позволяет реально определить возможный экономический ущерб от землетрясения.

Алгоритм анализа сейсмического риска использует возможности ГИС, послойно комбинируя данные о пространственном распределении сейсмической опасности, уязвимости застройки, а также ценностей, т.е. кадастровой стоимости зданий подверженных риску повреждения и потерь. Анализ сейсмической уязвимости проводится с использованием программы «GESI_Program», которая основана на методике оценки сейсмического повреждения зданий. При этом существующая застройка на территории области собрана и классифицирована по конструктивным типам здания. Выделены 3 типов здания: здания, построенные с использованием местных глинистых материалов; кирпичные здания и железобетонные здания (рис.1.)[9,10].

Уязвимость зданий — свойство строительного сооружения, реагирует на сейсмические воздействия. Это ключевая характеристика надежности и безопасности сооружения, поскольку реальные последствия воздействия напрямую зависят от нее.

Ущерб, причиняемый строительным сооружениям землетрясениями, описывается (квалифицируется) степенью конструктивных повреждений.

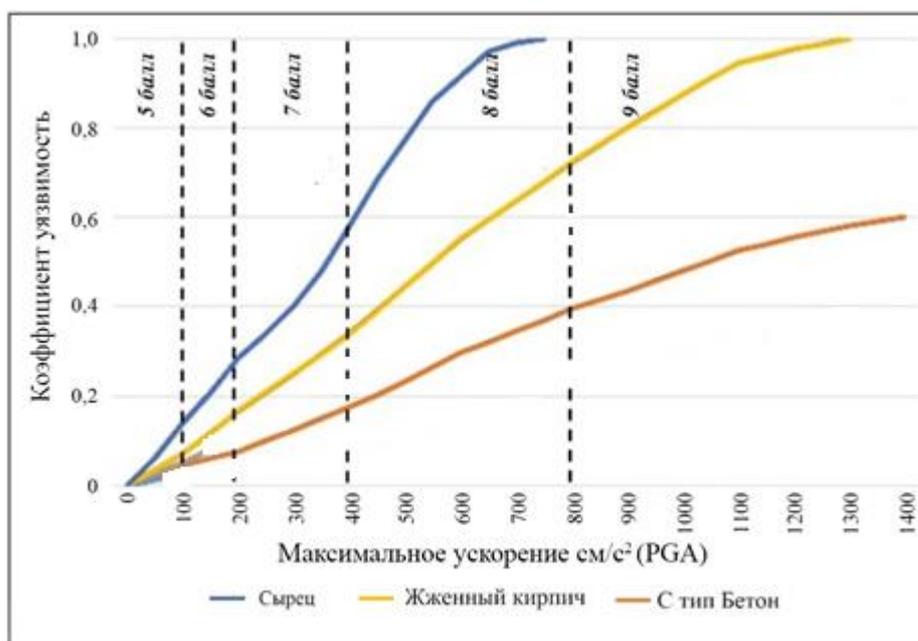


Рисунок. 1. Функция уязвимости для различных типов зданий построенные с из местных материалов («кирпич-сырец», жженый кирпич и железобетон)

При оценке сейсмической уязвимости каждого здания использованы кадастровые материалы ГоскомземгеодезикадастрРУз. Анализ конструктивных типов зданий на территории области показывает, что основную часть составляют здания со стенами из сырцового кирпича (местные материалы)-594173 шт. Кроме того, на территории области распространены здания, построенные из гувальяка, пахсы, которые также отнесены как сырцовый кирпич. Здания из жженого кирпича составляют 24475 шт. Очень немного зданий, построенных из железобетона - 499 зданий.

Для выбора сценарного землетрясения использована программа «INTensity MAP v3.0». Программа «INTensityMAPv3.0», разработана специалистами Института сейсмологии АН РУз в области оценки сейсмической опасности (№ DGU 09237). Основной целью программы является оценка сейсмического эффекта при заданных параметрах землетрясений для средних грунтовых условий.

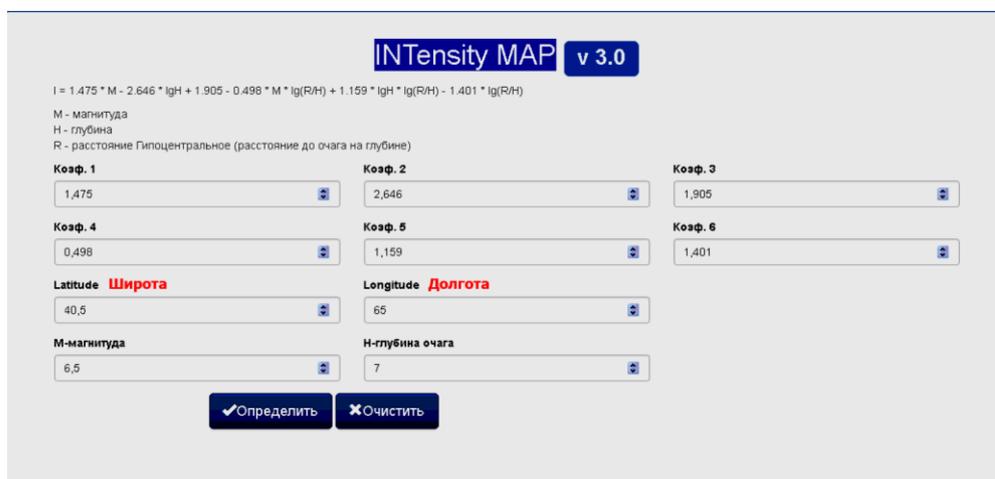


Рис.2 Интерфейс программы «INTensity MAP v3.0»

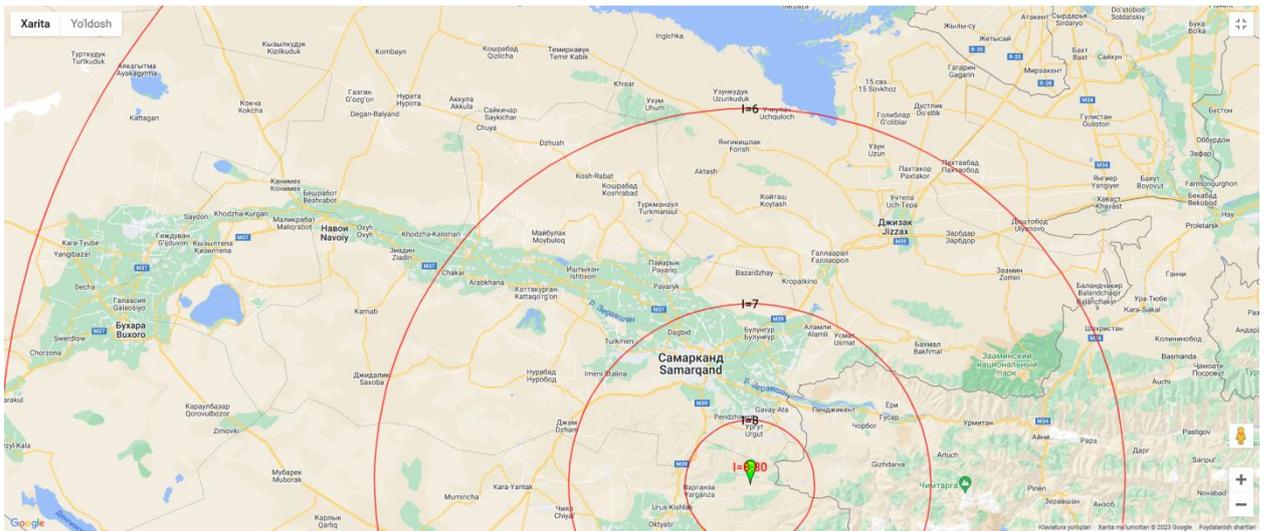


Рис. 3 Карта изосейст при заданных параметрах для сценарного землетрясения по программе “INTensity MAP v3.0” для Самаркандской области ($x=66.45$, $y=39.40$, $M=7$, $h=15$ км).

Для выбора места эпицентра сценарного землетрясения использовали карту общего сейсмического районирования и сейсмогенных зон территории Республики. В формировании поля сейсмических движений поверхности земли наряду с очаговыми факторами, путями распространения волн в поглощающей и рассеивающей геологической среде важную роль играют локальные грунтовые условия, которые в ряде случаев являлись основной причиной повреждения зданий и сооружений. Реакция рыхлой грунтовой толщи на сейсмические колебания определяется как физико-механическими и сейсмическими свойствами грунта и геометрией грунтовых слоев, так и интенсивностью воздействий. Получить распределение абсолютных величин сейсмической интенсивности от сценарного события (на территории исследований) следует путем сложения значений сейсмической интенсивности от сценарного события для средних грунтов, полученной путем расчетов по закону затухания, и слоя приращений интенсивности с учетом грунтовых условий. Для оценки сейсмической интенсивности использовали данные расчета изосейстов сценарного землетрясения и категория грунта, определяемые по строительным нормам.

При расчетах сейсмического риска применяются различные способы вычисления и толкования, позволяющие получить оценки, как отдельных элементов риска, так и набора разных элементов, выраженных в процентном отношении потерь или каких-либо экономических терминах. В значительной степени это определяется полнотой и детальностью исходной информации о различных элементах риска.

В данной работе мы акцентируем внимание на одном, но важнейшем, элементе риска - средней повреждаемости строений в случае заданного сейсмического воздействия. Именно этот элемент сейсмического риска вносит максимальный прямой вклад в экономический ущерб и является угрозой для здоровья или жизни людей. В связи с тем, что в Самаркандской области расположены сейсмогенные зоны с различной магнитудой и вероятность возникновения сильных землетрясений с интенсивностью 6, 7 и 8 баллов велика, нами рассчитан сейсмический риск в случае воздействия 6, 7 и 8 балльных землетрясений.

Ущерб при сейсмических воздействиях можно оценивать прямым способом, т.е. оценка реальной стоимости затрат на восстановления здания и на основании качественных оценок повреждаемости. В данной работе ущерб, связанный с повреждением зданий оценен в зависимости от затрат на ремонтные работы/

Для оперативной оценки последствий сильных землетрясения или прогнозирования возможного сейсмического риска при сценарном землетрясении на территории Самаркандской области использовали нами разработанную компьютерную программу

«SeismicRiskAssessment 3», которая основана на ГИС технологии. Данная программа является логическим продолжением «INTensity MAP v3.0». Если программа «INTensity MAP v3.0» позволяет построить карту изосейст при заданных параметрах землетрясения. На основе выделенных зон «SeismicRiskAssessment 3» производится расчет последствий землетрясения в экономических показателях. Экономический ущерб при этом сценарном землетрясении составляет 5813 млрд. сумов (рисунок 4).

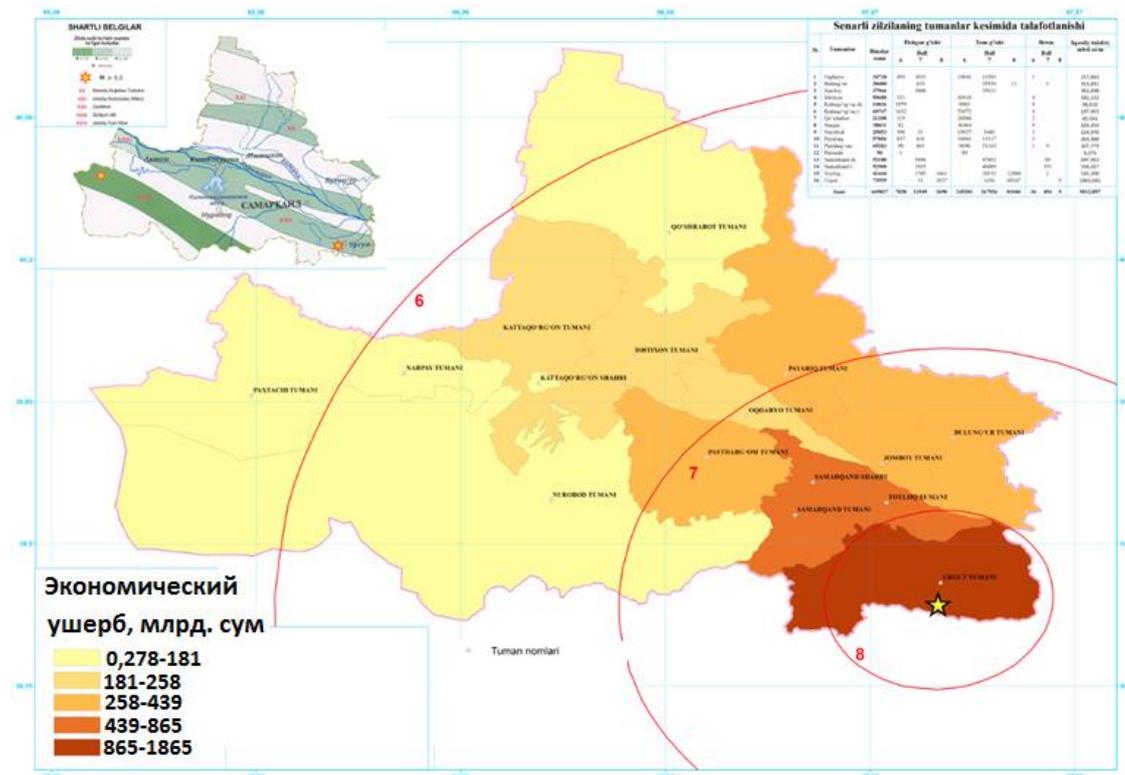


Рис. 4. Карта сейсмического риска при сценарном землетрясении Самаркандской области.

Литература

1. С.С.Хусомиддинов, В.А.Исмаилов, Н.Ф.Исламова. Сейсмический риск территории города Джизака. Журнал Геология и минеральные ресурсы №4 2018. С.48-52.
2. Артиков Т. У., Ибрагшюв Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. -Т.: Фан, 2012. - 254 с.
3. Tyagunov, S., Grunthal, G., Wahlstrom, R., Stempniewski, L., and Zschau J. (2006) Seismic risk mapping for Germany. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 573-586, 2006. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/573/2006/
4. Tyagunov, S.A., Shtimpnieviske, L. Gryuntal, G., Valstryom, R, Shau, Y. (2007) Seismic vulnerability and seismic risk in Germany. <https://cyberleninka.ru/article/n/seysmicheskaya-uyazvimost-i-seysmicheskii-risk-v-germanii/viewer>
5. Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территории / Александров А.А., Ларионов В.И., СуцевС.П., ФроловаН.И.,
6. Гумеров Р.А. II Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Естественные науки. - 2015. - № 2. - С. 110-124.
7. Алказ В.Г., Исичко У.С., Гинсарь В.Н. Сейсмический риск на территории г. Кишинева // Буд^вельшконструкцп. - 2010. - Вып. 73. - С. 34-43.
8. Оценка сейсмического риска территории. Б. Сочи / Осипов В.И., Ларионов В.И., Суцев С.П., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В., Барская Т.В. И Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. - 2015. - № 1. - С. 3-19.

9. В.А.Исмаилов, Т.У.Артиков, У.А.Нурматов, Р.С.Ибрагимов, Ш.И.Ёдгоров Современное состояние вопроса оценки сейсмической опасности и сейсмического риска на территории Узбекистана// Журнал “Геология и минеральные ресурсы” 2021г., №2, С.97-103.

10. Ismailov, V., Khusomiddinov, S., Khusomiddinov, A., Yodgorov, SH., Aktamov, B., Avazov, SH. Seismic Risk Assessment of Jizzakh Region. AIP Conference Proceedings 030035. 16 June 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0089664>

Исмаилов В.А., Тешаева Р.Б., Исламова Н.Ф.

Институт сейсмологии академии наук Республики Узбекистан

ОЦЕНКА СЕЙСМОГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ГОРОДА НУРАФШАНА

Аннотация. В статье рассматриваются результаты полевых исследований, проводимых на территории Нурафшана, для инженерно-сейсмологических обоснований генерального плана развития города. Оценено влияния грунтовых условий на параметры сейсмической интенсивности на основесейморазведочных, ультразвуковых, сейсмометрических также инженерно-геологическими методами с использованием сейсмогрунтовых моделей. Получены расчетные значения пиковых ускорений на свободном поверхности с использованием программы «STRATA». На основании обобщения полевых и лабораторных инженерно-геологических данных составлены разрезы и карта инженерно-геологического районирования города Нурафшан.

Summary. The article discusses the results of field studies conducted on the territory of Nurafshan for engineering and seismological justification of the master plan for the development of the city. The influence of soil conditions on the parameters of seismic intensity was assessed on the basis of seismic, ultrasonic, seismometric and engineering-geological methods using seismic-soil models. The calculated values of peak accelerations on the free surface were obtained using the STRATA program. Based on the generalization of field and laboratory engineering-geological data, sections and a map of the engineering-geological zoning of the city of Nurafshon were compiled.

Введение. Город Нурафшан расположен в 30 км к югу от г.Ташкента столицы Республики Узбекистан. По указу Президента Республики Узбекистан № УП-6119 от 27 ноября 2020 года, для территории города Нурафшана должен быть разработан генеральный план на период развитие до 2025 года. С этой целью проводится инженерно-геологические и сейсмологические изыскания для определения инженерно- геологических условий территории города. Территория г. Нурафшан имеет некоторые специфические особенности. Большое распространение имеют лессовые грунты, супеси, песчаники, галечники, в которых сейсмические волны распространяются по-разному, имеют различные скорости прохождения, различные частоты, ускорения и т.д. Поэтому очень важно активизировать научные исследования в области влияния грунтовых условий на сейсмичность строительных площадок.

Основным понятием, определяющим особенности инженерно-сейсмологических изысканий, является модель сейсмогрунтовых условий. К этому понятию относятся все локальные особенности геологической обстановки, определяющие специфику сейсмических воздействий, их амплитуды и спектральный состав. [1].

Методика исследования. Предлагается метод моделирование сейсмогрунтовых условий для оценки сейсмичности строительных площадок, в котором изучаются реальные инженерно- геологические и геофизические показатели грунтов, определяется влияние грунтовых условий на параметры сейсмических колебаний при реальных воздействиях сильных землетрясений.

Для решения задач оценки сейсмичности территории использовалось программа STRATA с учетом инженерно-геологических условий. Были взяты действительные акселерограммы двух землетрясений, которые по своему механизму

(сбросные и взбросные) и по природе распространения сейсмических волн соответствуют сейсмологическим условиям территории Республики Узбекистан.

Далее были собраны материалы характеризующие инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов (по фоновым материалам и результатам комплексных геофизических исследований проведенных методами сейморазведки КМПВ, MASW, и также были изучены физико- механические свойства грунтовой толщи для 30 метров), имеющие распространения на территории г. Нурафшана. Расчеты приращения сейсмической интенсивности произведены по совокупности сейсмических жесткостей грунтов, положения уровня грунтовых вод и резонансных свойств грунтов.

Алгоритм действий при решении задач, связанных с разработкой сейсмогрунтовых моделей, делится на 3 этапа. (рис.1)

- 1.этап. Сбор и систематизация материалов.
- 2.этап. Анализ данных и обработка материалов различными программами.
- 3.этап. Обобщение результатов.



Рисунок 1- Алгоритм действий разработки сейсмогрунтовых моделей

Результаты и их обсуждение. В геоморфологическом отношении исследуемая территория приурочена к равнинной части Чирчик-Ахангаранской депрессии. Исследуемая территория расположена на поверхности IV, III и II террас Чирчик-Ахангаранского бассейна[4]. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 395 до 415 м в северо-восточной части территории и от 410 до 420 м в южной части. В основании исследуемой толщи на глубинах 260-270 м залегают каменные лессы, условно отнесенные к нерасчлененной толще верхнеэоценовых и нижнечетвертичных отложений.

Сохский комплекс (Q_I^{sh}) представлен валунно-галечниками с прослоями песчаников и каменных лессов. Мощность сохских отложений составляет 60-140 м. Ташкентский комплекс (Q_{II}^{ts}) представлен лессовидными суглинками, подстилаемыми валунно-галечниковыми отложениями. Мощность достигает 114-133 м. Голодностепский комплекс (Q_{III}^{gl}) слагает III террасу р.Ахангаран, получившую наибольшее развитие в пределах исследуемого района. Отложения Q_{III}^{gl} представлены суглинками, реже супесями с прослоями песка и гравийно-галечника. С глубины 10-15 м и более залегают галечники. Сырдарьинский комплекс (aQ_{IV}^{sd}) слагает II надпойменную террасу рек Чирчик и Ахангаран, занимающую северо-западную часть исследуемой территории. Отложения представлены лессовидными суглинками, подстилаемыми с глубины 8,0-9,0 м галечниковыми грунтами[3].

По лабораторным данным в пределах толщ сырдарьинского и голодностепского комплексов выделено 4 слоя глинистых грунтов:

Слой 1 – глинистые грунты, влажные, залегающие выше уровня подземных вод. Плотность грунта этого слоя составил 1.49 т/м^3 , Пористость 47.6%, предел текучести 24.5.

Слой 2 – глинистые грунты водонасыщенные, залегающие ниже уровня подземных вод, мягкопластичные-текучепластичные, слабые. Плотность грунта этого слоя составил 1.56 т/м^3 , Пористость 41.4%, предел текучести 26.4.

Слой 3 – глинистые илы, высокопористые, текучепластичные, слабые, гумусированные. Плотность грунта 1.27 т/м^3 , Пористость 53.4 %, предел текучести 39.8.

Слой 4 – торфы, состоящие на 60% из органических веществ. Плотность грунта 1.08 т/м^3 , Коэффициент пористости 4.

В толще глинистых грунтов ташкентского комплекса выделено 2 слоя:

Слой 5 - маловлажные и влажные лессовидные просадочные грунты. Плотность грунта 1.64 т/м^3 .

Слой 6 - водонасыщенные суглинки и супеси, залегающие в зоне переменного увлажнения. Плотность грунта 1.96 т/м^3 .

Кроме того, здесь имеют место песчаные грунты с плотностью $1,98 \text{ т/м}^3$ -слой 7 и крупнообломочные, представленные галечниками с плотностью 2.01 т/м^3 - слой 8.

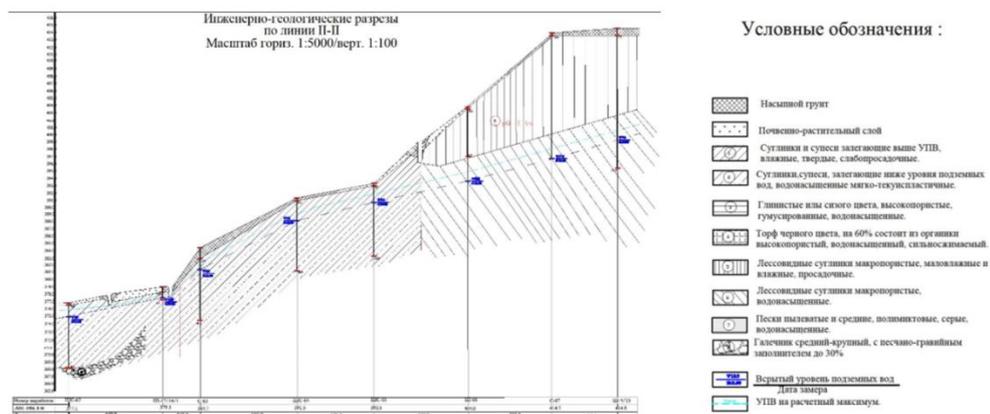


Рис.1 Инженерно-геологический разрез г. Нурафшана

Сейсморазведка методом КМПВ и MASW выполнена по пяти разрезам. Она направлена на изучение скоростных характеристик литологических типов грунтов, слагающих основании территории города Нурафшана. В результате обработки данных сейсморазведочных работ были получены зависимости $V_s(z)$ и глубинно-скоростные модели по профилю 1 (рис 2-3) и профилю 2 (рис. 4-5). Значения V_s представлены в таблице 1.

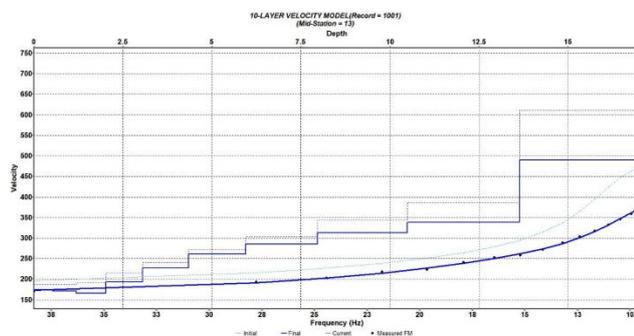


Рис.2. Скоростная модель поперечных волн по MASW. Профиль 1

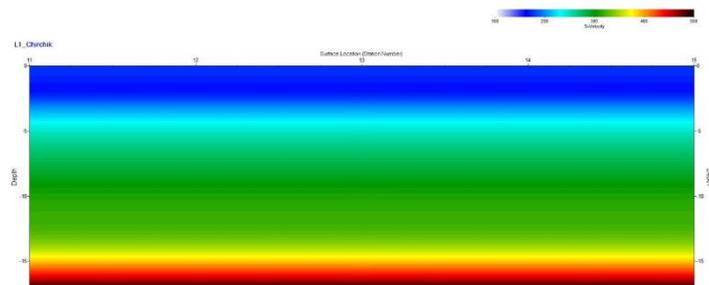


Рис 3. Глубинно-скоростная модель поперечных волн по MASW. Профиль 1

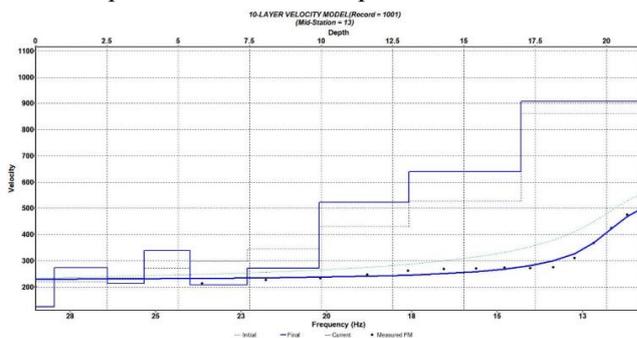


Рис 4. Скоростная модель поперечных волн по MASW. Профиль 2.

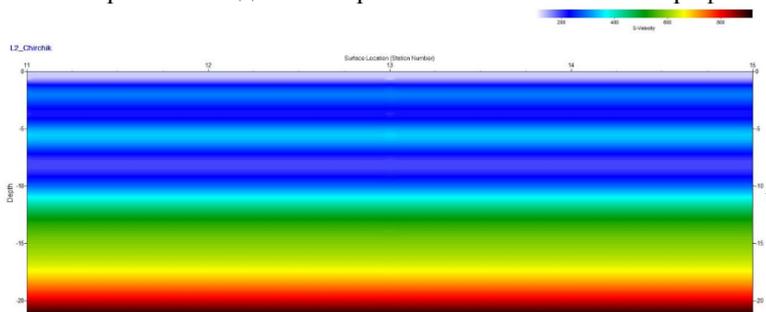


Рис 5. Глубинно-скоростная модель поперечных волн по MASW, профиль 2

Таблица 1. Распределение скорости поперечных волн по глубине

Профиль 1		Профиль 2	
Глубина, м	Vs, м/с	Глубина, м	Vs, м/с
-0,529	173,732	-0,659	125,01
-2,19	170,581	-1,483	272,882
-4,016	165,852	-2,513	273,321
-5,049	193,511	-3,8	213,827
-9,34	226,46	-5,409	338,355
-12,954	260,918	-7,42	207,982
-17,971	285,252	-9,934	271,374
-23,493	312,981	-13,076	521,884
-27,645	338,435	-17,004	639,859
-31,056	489,834	-21,255	907,785

На основе полученных глубинно-скоростных моделей были рассчитан параметр Vs30 (таблица2), равный среднему значению скорости распространения поперечных волн в 30-метровой толще.

Таблица 2. Значения Vs30 для каждой точки наблюдений

№	Профиль 1	Профиль 2
Vs30, м/с	264,18	331,17

Далее приводились образцы H/V спектра пунктов регистрации 1-11. По обработке сводные данные по приращению сейсмической интенсивности различными методами получили следующие результаты:

Пункт регистрации	Fo	HVSR	dJ по HVSR	dJ по отношению спектра микросейсм	dJ среднее	Макс. J, баллы
1	2,6	3,3	0,47	-	+0,0	7,0
2	5,2	3,5	0,45	0,48	+0,0	7,0
3	5,2	3,4	0,59	0,67	+1,0	8,0
4	5,2	3,3	0,47	0,39	+0,0	7,0
5	5,1	3,2	0,37	0,48	+0,0	7,0
6	5,2	4,4	0,78	0,84	+1,0	8,0
7	5,2	3,4	0,47	0,22	+0,0	7,0
8	5,2	3,4	0,51	0,48	+0,0	7,0
9	5,2	3,8	0,67	0,60	+1,0	8,0
10	4,7	3,2	0,29	0,47	+0,0	7,0
11	5,2	4,4	0,49	0,88	+1,0	8,0

На основании эквивалентно линейного подхода в 11 точках наблюдении разработаны сейсмогрунтовые модели на программе STRATA. При разработке сейсмогрунтовых моделей использованы результаты сейсморазведки, т.е. изменения Vs30 в пространстве. В результате моделирования были рассчитаны графики изменения пикового ускорения и спектра реакции грунтов с глубиной. Значение пикового ускорения на дневной поверхности при исходной сейсмичности 0,17 g [2] территории г.Нурафшана представленных точек изменяется от 0,22g до 0,41g. Ниже представляется пример моделей сейсмогрунтовых условий.

Таблица 3. Модель сейсмогрунтовых условий для 9-точки г.Нурафшана

Слой	Описания литологического состава грунтов	Мощность слоя	Плотность грунта	Скорость поперечной волны	Vs30	PGA
1	глинистые грунты	3.00	1,49	173.00	331,17	0.23
2	глинистые грунты	5.00	1,56	165.00		
3	глинистые илы	4.00	1,27	193.00		
4	торфы	3.00	1,08	125.00		
5	Лессовидные грунты	10.00	1,64	226.00		
6	суглинки и супеси	2.00	1,96	285.00		
7	песчаные грунты	4.00	1,98	338.00		
8	галечниками	6.00	2,01	489.00		

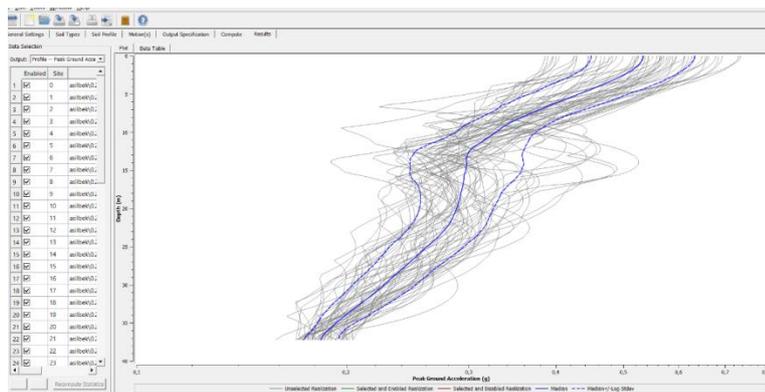


Рис 6. График пикового ускорения для 7-точки г.Нурафшана

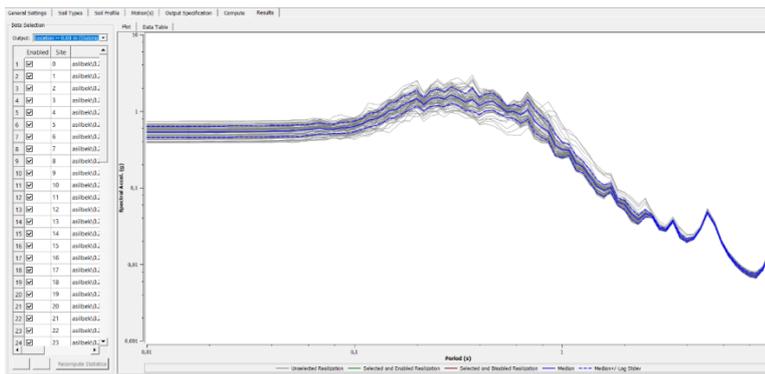


Рис 6. График спектра реакции грунтов для 7-точки г.Нурафшана

Вывод. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы об особенностях инженерно-сейсмологических условиях территории г.Нурафшана: территории г. Нурафшана и прилегающей площади выделяется две зоны:

- с приращением сейсмических интенсивности 0 балла относительно опорной/реперной сейсмической станции (7 баллов для вероятности 95% не превышения в течении 50 лет);

- с приращением сейсмической интенсивности +1 (8 баллов для вероятности 95% не превышения в течении 50 лет);

Зона с приращением 0 (7 баллов) занимает площадь с северной части города Нурафшана и простирается далее в южном направлении до поселка Янгихаят. Зона приращением +1 (8 баллов) располагается в северо-восточной, южной и юго-западной частях территории. Увеличение балльности здесь связано с мощным слоем осадочных пород с низкими значениями скоростей упругих волн, а также со значительной трансформацией рельефа и наличием геологических процессов.

Литература

1 Алешин А.С. Макросейсмические основы сейсмического микрорайонирования// Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Вып. 38 №4. С 15-28.

2 Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зиуаудинов Ф.Ф.,//Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Фан, 2012,Ташкент.

3 Исмаилов В.А. Анализ результатов лабораторных и полевых исследований сейсмических свойств лессовых пород// Вестник ТашГТУ.- Ташкент: ТашГТУ, 2016. - № 2. – С. 203-209.

4 Нурмухамедов К.Ш. Региональная шкала приращения сейсмической балльности территорий для грунтовых условий Чирчик-Ахангаранской бассейна// Проблемы сейсмологии в Узбекистане № 2. – Ташкент, 2005. – С. 244-254.

МОНИТОРИНГ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Приводятся результаты геомагнитных исследований на территориях техногенных объектов. Выявлены корреляционные изменения геомагнитного поля связанные с эксплуатацией нефтегазовых месторождений.

Annotation. The results of geomagnetic researches in the territories of technogenic objects are given. Correlation changes in the geomagnetic field associated with the exploitation of oil and gas fields are revealed.

Высокоточные геомагнитные исследования на территории Узбекистана проводятся с 1968 г. Целью этих исследований является выявление локальных аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных процессами подготовки сильных землетрясений – геомагнитных предвестников. За более чем 55- летний период геомагнитные исследования были проведены на территориях геодинамических полигонов, в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений, техногенных объектов – подземных естественных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений [1,2].

Получены разные по форме, длительности, интенсивности локальные аномальные вариации геомагнитного поля, обусловленные процессами подготовки сильных землетрясений [1]. В некоторых случаях локальные аномальные вариации геомагнитного поля не проявлялись перед землетрясениями. С другой стороны, были зарегистрированы ряд аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленные процессами на различных глубинах в земной коре и глубже [3]. В 1969 году были выявлены локальные аномалии геомагнитного поля, связанные с изменением динамических параметров подземного естественного газохранилища в районе поселка Гишткуприк (Ташкентская обл.) [4]. Сложность параметров выявленных геомагнитных предвестников землетрясений предопределили расширение исследований в районах техногенных объектов, принимая результаты этих исследований как бы результатами натурных модельных экспериментов процесса подготовки землетрясений.

В связи с этим натурные эксперименты проводились в районе крупного водохранилища Чарвак, где динамические параметры водохранилища изменяются циклически в течение года [5]. Большой объем геомагнитных исследований был проведен на территориях эксплуатируемых нефтегазовых месторождений. Эти месторождения: Шуртан, Алан, Култак, Кокдумалак, Памук – Зевардинская группа структур, Кандым, Хаузак – Шады. Отмеченные месторождения работают в режиме разгрузки, где известны величины пластовых давлений.

В 1990 – 1991 годах над куполом месторождения Шуртан геомагнитные измерения проводились на 30 пунктах повторной съемки и двумя стационарными магнитными станциями [6]. В результате над куполом месторождения зарегистрировано локальное уменьшение геомагнитного поля, коррелирующееся с объемом добытого газа и изменением пластового давления. Коэффициент корреляции между изменением локального геомагнитного поля и объемом добытого газа, изменением пластового давления составили 0,98 и 0,95 соответственно. Результаты исследований 2006-2007 годов показали сохранение отмеченных корреляционных зависимостей [7].

В 1998-1999 годах проведены геомагнитные исследования над газовыми месторождениями Памук, Зеварды, Алан, Култак и нефтяным месторождением Кокдумалак [7].

В результате выявлены:

- над структурами месторождений Зеварды, Култак, Алан, Кокдумалак уменьшение значения геомагнитного поля. За пределами структур месторождений зарегистрировано увеличение значения поля;

на территории месторождения Памук наблюдается локальное аномальное увеличение поля с монотонным ростом значения в северном направлении;

выявлено медленное (трендовое) изменение геомагнитного поля регионального характера, которое, видимо, не связано с разработкой месторождений.

В 2006 году по заказу ООО «ЛУКОЙЛ Узбекистан Оперейтинг Компании» начаты геомагнитные исследования на участке Хаузак-Шады газоконденсатного месторождения Денгизкуль [8]. На территории месторождения были заложены 35 пунктов повторных геомагнитных наблюдений. Цикличность повторных наблюдений 1 раз в квартал. Проведено одиннадцать циклов измерений. В результате выявлено существенное уменьшение значения поля до порядка 60 нТл. Такое большое уменьшение поля выявлено на участке месторождения, где наблюдается интенсивной отбор газа кустовым способом. За пределами структуры месторождения выявлено медленное увеличение локального геомагнитного поля, которое отражает, видимо, геодинамические процессы регионального характера [8,9].

В 2015г. заложены 20 пунктов совмещенных повторных геомагнитных и радиометрических наблюдений на площади месторождения Кандым. Первые три цикла наблюдений (2015-2017гг.) проведены до начала эксплуатации месторождения, по результатам которых установлено, что изменения магнитного и радиационного полей отражают только особенности геолого-тектонического строения площади. Для примера на рисунке 1 приведены карты изменения геомагнитного поля на площади эксплуатируемого месторождения Хаузак-Шады и не эксплуатируемого месторождения Кандым. В 2018 году началась эксплуатация месторождения Кандым[9].

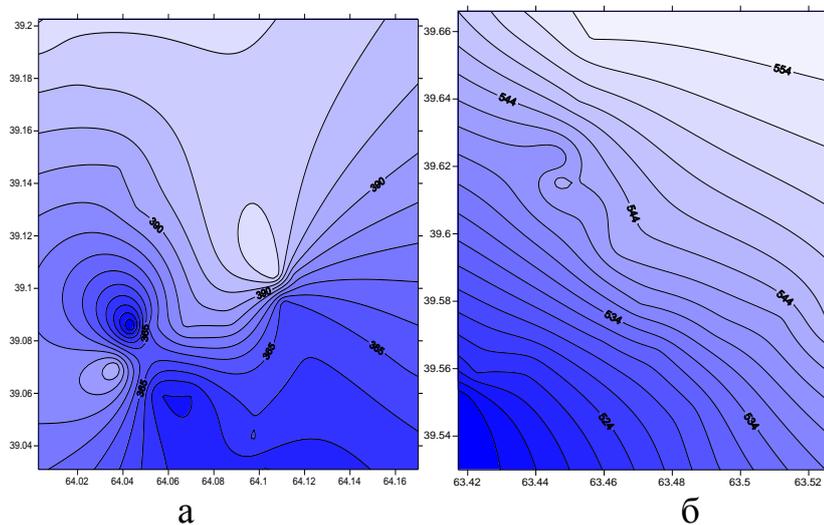


Рисунок 1. Карты изменений геомагнитного поля на территориях эксплуатируемого месторождения Хаузак-Шады (а) и неэксплуатируемого месторождения Кандым (б)[9].

В большинстве случаев, что отбор газа или уменьшение пластового давления сопровождается уменьшением величины локального геомагнитного поля. Исключением является результаты над месторождением Памук, где изменение значения геомагнитного поля происходит в сторону увеличения. Кроме отмеченных корреляционные изменения геомагнитного поля на территориях месторождений выявлены локальные изменения геомагнитного поля, которые имеют временной характер проявления. Они проявляются и затухают, имеют различные форму, продолжительность и интенсивность. Эти локальные аномальные изменения имеют полностью обратимый характер и свойственны к

территориям нефтегазовых месторождений.

Как пример, можно привести локальное аномальное изменение геомагнитного поля, которое проявилось на магнитной станции «Ниязхан», расположенной на территории месторождения Памук. Аномалия проявилась в бухтообразной форме положительного знака. Она начала проявляться в начале июля 1997 года, достигла максимального значения поля к 20 числам августа. Поле вернулось к исходному уровню к середине сентября. Продолжительность аномалии порядка 3,5 месяца, интенсивность 17 нТл. К этим аномальным вариациям начали обращать внимания ещё в начале 1990 годов, при проведении геомагнитных исследований на территории газоконденсатного месторождения Шуртан. Природа их проявления пока ещё не установлено, но проводятся исследования по определению их природы. Определение природы имеет очень важное научно – практическое значение. В научном плане, если определится механизм проявления этих аномалий, то можно провести специальные геомагнитные исследования над потенциально перспективными на углеводороды структурами. В практическом плане территории расположения нефтегазовых месторождений будут учтены при проведении геомагнитных исследований по проблеме прогнозирования сильных землетрясений. Дело в том, что аномальные вариации геомагнитного поля, которые проявляются на территориях нефтегазовых месторождений по параметрам – интенсивности, длительности, форме сопоставимы с аномальными вариациями геомагнитного поля предвестникового характера. В связи с этим при организации геомагнитных исследований методами повторных площадных и стационарных измерений геомагнитного поля с целью выявления магнитных предвестников сильных землетрясений территории нефтегазовых месторождений должны быть исключены из общей территории исследований. Это делается в связи с фактом проявления на территориях нефтегазовых месторождений, отмеченных выше локальных аномальных вариаций. Таким образом повышается надежность выделения локальных аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных процессами подготовки сильных землетрясений.

Заключение. Геомагнитные исследования на территориях нефтегазовых месторождений показали возможность проявления локальных аномальных вариаций, обусловленные:

- эксплуатацией нефтяных и газовых месторождений;
- геодинамическими процессами регионального характера;
- процессами, происходящими в пределах территорий нефтегазовых месторождений. Природа этих изменений пока не установлена.

Отмеченные виды локальных аномальных вариаций по параметрам сопоставимы с параметрами долгосрочных и среднесрочных геомагнитных предвестников землетрясений. В связи с этим учет факта проявления отмеченных локальных аномальных вариаций на территориях нефтегазовых месторождений исключает эти территории от проведения в этих регионах геомагнитных исследований по выявлению аномальных вариаций поля, обусловленных процессами подготовки сильных землетрясений. Это является одним из важных методических подходов повышения точности и надежности выделения аномальных вариаций геомагнитного поля предвестникового характера.

Литература

1. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Муминов М.Ю., Туйчиев А.И. Итоги сейсмопрогностических исследований в Узбекистане // Геология и минеральные ресурсы, 2010, №2, стр.3-6.
2. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Муминов М.Ю., Туйчиев А.И. Геомагнитные исследования на территориях техногенных объектов Узбекистана. Пятый Международный симпозиум «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальныхорогенов». Бишкек, 19-24 июня 2011 г. С.5-8.
3. Maksudov S. Kh., Abdullabekov K. N., Tuichiev A.I., Yusupov V. R. Geomagnetic Field

Variations Caused by the Processes Occurring at Different Depths in the Earth's Crust and Upper Mantle // IZVESTIYA, PHYSICS OF THE SOLID EARTH. Vol. 57. 2021, No. 3, -P.295-308.

4. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов/Издательство "ФАН" АН УзССР, Ташкент, 1975. 128 с.

5. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р. Исследование локальных вариаций геомагнитного поля техногенной и геодинамической природы в районе водохранилища Чарвак// Журнал Экологический Вестник Узбекистана. 2012, №4, С.11-15.

6. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. и др. Первые результаты геомагнитных исследований в районе газового месторождения Шуртан. Узбекский геологический журнал, 1994, №2, С.16-18.

7. Туйчиев А.И. Аномальные изменения геомагнитного поля, обусловленные сейсмогеодинамическими и техногенными процессами на территории Узбекистана. Геология и минеральные ресурсы. 2007. № 3. –С.52-54.

8. Максудов С.Х., Рахматуллаев Х.Л., Туйчиев А.И. Предварительные результаты геомагнитных исследований на территории месторождения Хаузак–Шади.// Сб. «Проблемы сейсмологии в Узбекистане». Ташкент. №5. 2008. –С.42-45.

9. Туйчиев А.И. Особенности проявления сейсмогеодинамических и техногенных процессов в вариациях геофизических полей. Автореф. дисс. на соискание ученой степени докт. физ.- мат. наук. Ташкент. 2020. 64 с.

**Молодобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Зубович А.В., Шаршебаев А.К.,
Алтынбекуулу Талант**

Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли г. Бишкек

СИСТЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СЕЙСМОКАТАСТРОФ АЗИИ НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСТАНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Аннотация. Приведена методология интегрированного мониторинга сейсмичности на территории Кыргызского Тянь-Шаня и прилегающих трансграничных районов стран Центральной Азии. Пункты регистрации сильных движений установлены в скважинах глубиной от 50 до 150 м и одновременно на этажах репрезентативных зданий. Система раннего оповещения адаптирована для информирования населения о приближающихся сейсмических угрозах в течение от первых до десятков секунд и имеет оснащенное программное обеспечение. Предусмотрен автоматический созыв аварийных и кризисных штабов, спасательных подразделений, пожарных команд, отрядов быстрого реагирования, медицины катастроф. В течение первых секунд система активирует группу сирен а в течение нескольких минут обратную информацию об активировании системы. Современные технологии он-лайн раннего оповещения населения от сейсмокатастроф функционируют в тестовом рабочем режиме сигнализации бедствий для городов Бишкек и Ош

Annotation. The methodology of integrated monitoring of seismicity in the territory of the Kyrgyz Tien Shan and adjacent transboundary regions of the countries of Central Asia is presented. Points of registration of strong movements are installed in boreholes up to 150 m deep and on the floors of representative buildings. The early warning system is adapted to inform the population about approaching seismic threats within a few seconds to tens of seconds and has equipped software. Automatic convocation of emergency and crisis headquarters, rescue units, fire brigades, rapid response teams, disaster medicine is provided. Within the first seconds the system will activate the group of sirens and within a few minutes feedback on the activation of the system. Modern technologies for on-line early warning of the population from seismic catastrophes function in a test operating mode of disaster signaling for the cities of Bishkek and Osh.

Введение. Например, в развитой стране сейсмически опасных зонах расположенных в густонаселённых районах Западного побережья континентальной части США проживает более 143 млн. чел. Годовой от землетрясения ущерб составляет 6,1 млрд. доллар, при этом 73% (4,5 млрд) приходится на Калифорнию, Орегон и Вашингтон, а

также 61% или (3,7 млрд. долл. в год на Калифорнию). В ближайшие 30 лет ожидаются землетрясения с вероятностью в 99,7% М 6,7 балл и в 10% мощностью от магнитудой от 8 до 9 в зоне субдукции Каскадия [1-5]. В развивающейся стране Кыргызстане были впервые установлены на постоянной основе станции сети сильных движений в режиме реального времени, как основа региональной системы раннего оповещения и быстрого реагирования. Раннее оповещение землетрясений требует получения информации об происходящих разрушительных сейсмических волнах, для быстрого реагирования населения спасательных групп, которая крайне необходима для густонаселенных городов территории Кыргызстана и стран Центральной Азии.

Методы. Используются геофизические методы оценки землетрясений, объемные панорамные киносъемки зданий, фиксации сильных движений акселерометрами установленными на этажах различных конструкций зданий и в скважинах на глубинах от 50 до 150 м., спутниковые высокоточные снимки, наземные инструментальные мониторинговые наблюдения сейсмичности [1-5].

Результаты исследований. В статье, в связи с вышеприведенной опасностью для густонаселенных городов кратко обоснована сеть раннего оповещения жителей их защита, снижение потерь от сейсмокатастроф в г. Бишкек и г. Ош (Рис.1-2) [1-5].



Рисунок 1. Карта расположения эпицентров сильных землетрясений за исторический период по 2010 годы на территории Кыргызстана и трансграничных районах со странами Центральной Азии



Рисунок 2. Космоснимок с размещением пунктов сети сильных движений для системы раннего оповещения населения от разрушительных землетрясений на территориях городов Бишкек и Ош

В г. Бишкек, г. Каракол, г. Нарын и его агломераций были ранее проведены измерения сейсмичности и составлены карты микрозонирования сайт-эффектов [1-5]. На рисунке 3 приведены записи землетрясения на разных этажах зданий 7 сейсмоприемникам-акселерометрам, а в табл. 1 показатели ускорения и вычисленные скорости и смещения. На территории Кыргызстана установлено 18 станций из акселерометров. Сеть служит для получения данных о сильных движениях грунта в реальном времени для систем раннего оповещения и быстрого реагирования.

На территории жилого массива МЧС Кыргызской Республики (Рис.4), расположенного по: ул. Чолпон-Атинская 1 А, пробурены были и установлены

акселерометры в 4 скв. (ВН-1, ВН-2, ВН-3, ВН-4)[1-5].Скважины глубиной 52-55 м., оснащены каждая 4-мя акселерометрами размещенными на глубинах 10, 20, 30 и 50 метро[1-5].Разрез в районе работ представлен аллювиально-пролювиальным четвертичными отложениями: 0-140 м (140 м) – Q III-IV;140-240 м (100 м) – Q III;240-370 м (130 м) – Q II. Валунно-галечные отложения с гравийно-песчаным заполнителем имеют высокие фильтрационные и емкостные параметры: коэффициент фильтрации 50-70 м/сут; - водопроницаемость 5000-12000 м²/сут. Амплитуда колебания уровня достигает 5-7 м.Наблюдение взаимодействия «грунт-здание» во время ощутимых землетрясений для смягчению сейсмического риска.

Обработка сейсмических измерений полученных из 4 скважин, на разных глубинах (0-15-30-50) из 16 акселерометров Sosoewinрегистрировали колебания грунтов в 3-ех зданиях на разных этажа, а также фиксировали колебания зданий: частоты и форма собственных колебаний, величины амплитуд смещений, скорости смещений и ускорения (рис. 3, 4, табл. 1) [1-5].

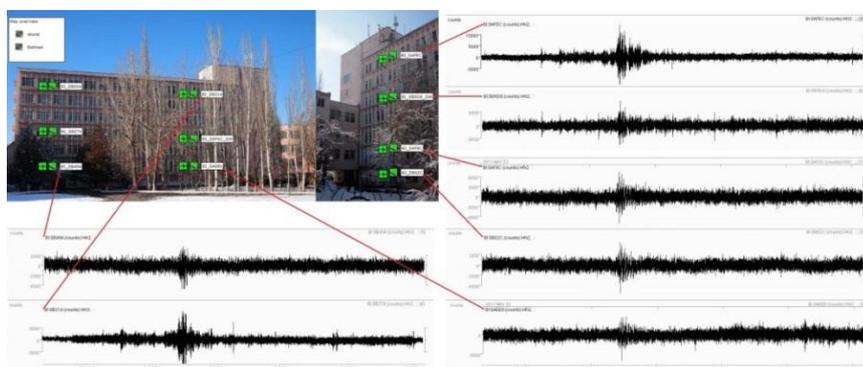


Рисунок 3. Графики инструментальной записи землетрясений на разных этажах зданий г Бишкек

Таблица 1. Показатели ускорения и вычисленные скорости и смещений

Измерение	SB494 1-эт.	SB214 7-эт.	SAEE0 1-эт.	SB02C подвал	SAF8C 1-эт.	SB5D8 5-эт.	SAFEC 7-эт.
Ускорение (см/с ²)	-1,81	6,23	-2,76	-2,11	-2,31	4,02	6,33
Скорость (см/с)	0,22	-0,67	0,29	0,24	0,28	-0,38	-0,56
Смещение (см)	0,12	0,13	0,14	0,14	0,12	-0,12	0,11



Рисунок 4.Тестируемая система раннего оповещения от сильных землетрясений населения г. Бишкек.

В рамках проекта ACROSS на территории Кыргызской Республики установлено 18 станций. На рисунке 6 представлена адаптированная для создания системы раннего оповещения «Карта инженерной сейсмогеологии трансформирующая георисками от землетрясений, вергентных новейших и современных движений литосферу Кыргызского Тянь-Шаня и трансграничных районов со странами Центральной Азии», составлена Усупаевым Ш.Э. на основе интегрирования следующих разновидностей карт: 1. сейсмической опасности; 2. региональных глубинных и соподчиненных разломов; 3. РОЗ -

районов ожидаемых землетрясений; 5. вергентных неотектонических движений; 6. меридиональных секущих сейсмоактивных зон; 8. энергии рельефа водоразделов горных сооружений; 9. расположений месторождений углей, нефти и газа на территории [1-5].

На составленной впервые карте инженерной сейсмогеоомии (Рис. 6) нанесены граница кон-, ди-, северо- и южно- моновергентных геоволновых структур трансграничных с районами Узбекистана, Таджикистана, Казахстана, Китайской Народной Республики. Из карты РОЗ - районов ожидаемых землетрясений на карту инженерной сейсмогеоомии вынесены прогнозируемые 51 эпицентров вероятных землетрясений [1-5].

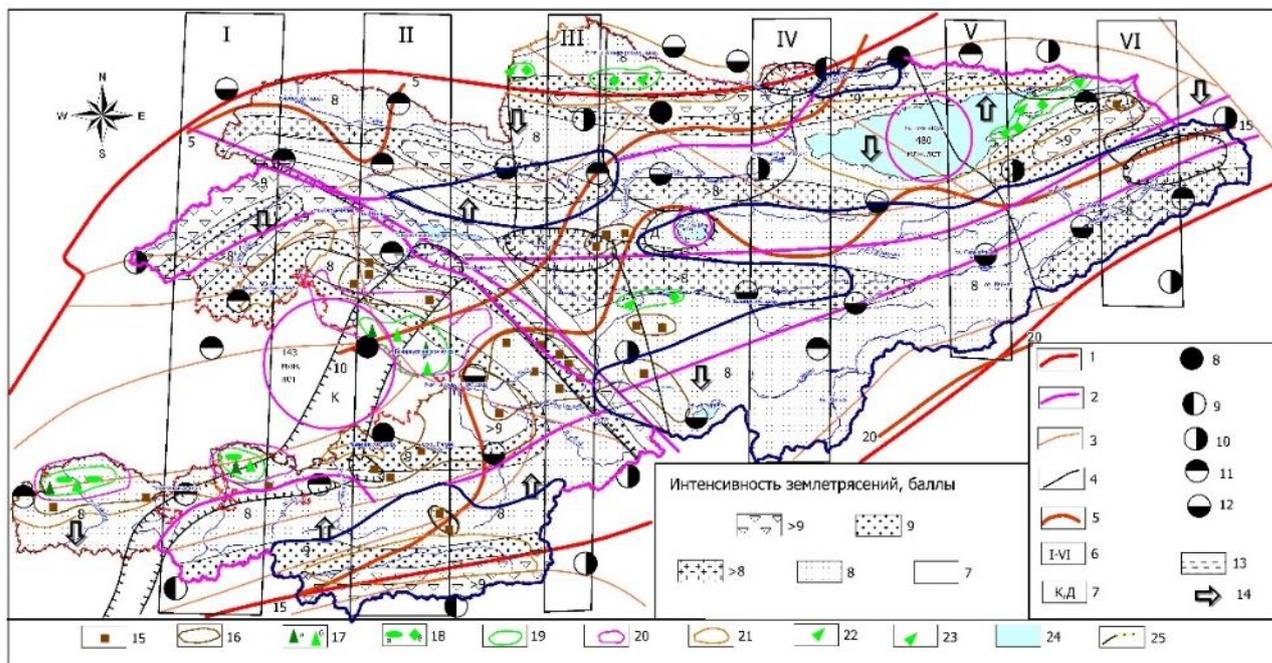


Рис. 5. Карта инженерной сейсмогеоомии показывающая трансформацию геориска от землетрясений, вергентных новейших и современных движений литосферы Кыргызского Тянь-Шаня и трансграничных районов со странами Центральной Азии адаптированная для использования в системе раннего оповещения от сейсмкатастроф, где:

1- границы Тянь-Шаньского орогена; 2- региональные глубинные разломы; 3 – соподчиненные региональным, крупные разломы; 4 – границы смены вергентных (геоволновых) неотектонических движений горных масс; 5 –границы смены интенсивности современных движений; 6 – нумерация меридиональных секущих структур; 7 – вергентные направления неотектонических движений (К-конвергентная, Д-дивергентная, Ю – южно-моновергентная, С-северо-моновергентная); эпицентры РОЗ – районов ожидаемых землетрясений с различной интенсивностью: с классом энергетическим К больше 15, 8 – первой категории опасности с вероятностью ожидания от 0, 65 по 0,75 для городов Бишкек и Ош; 9 - первой категории опасности с вероятностью ожидания от 0, 65 по 0,75; 10 - второй категории опасности с вероятностью ожидания от 0, 55 по 0,65; с классом энергетическим К меньше 15 и больше 12, 11 - первой категории опасности с вероятностью ожидания от 0,60 по 0,70; 12 - второй категории опасности с вероятностью ожидания от 0,50 по 0,60; 13 – крупные сейсмо-индуцирующие крупные озера и водохранилища; 14 – направления движения вергентных неотектонических структур; 15 – участки расположения месторождений каменных и бурых углей; 16 – границы распространения угольных бассейнов; 17 – участки добычи газа (светло зеленый цвет) и нефти (темно-зеленый); 18 – районы размещения месторождений нефти и газа; 19 – бассейны расположения месторождений нефти и газа(темно-зеленый цвет), выявленных признаков газа и нефти после бурения скважин (светло-зеленый); 20 – площади высоко-перспективные на поиск и разведку углеводородного сырья; 21 – площади перспективные на поиски и разведку углеводородного сырья; 22 – участки выявления по данным бурения следов газа; 23 – участки обнаружения при бурении скважин следов нефти; 24 – водоемы (вх-водохранилище Т - Токтогульское, оз.-озера Ч-Т Чатыр-Кель, С-К Сон-Кель, И – Иссык-

Куль); 25 – границы Тянь-Шаньского орогена [6-10].

В онлайн оповещении населения от сейсмокатастроф представленном на рисунке 6-ив отличии от (Рис.7) представляется следующая информация:

Программа **PRESTo**EarlyWarningSystem в рамках тестового эксперимента [Сейсмическая сеть АКРОСС](#) автоматически обнаружила землетрясение:

ML: **2.1** (0.7-3.5)

Date: **2023-06-03 21:48:31.59 (UTC)**

Place: "**ZhambylDistrict**", **Kyrgyzstan**

[GoogleMap](#) использовано **4 stations сейсмической сети**.

Первая информация о эпицентре и магнитуде была доступна в это время:

2023-06-03 21:49:06.10 (UTC) и примерно **25.2** секунд после первичной регистрации Р волны, которая детектировано на станции ТМСН в это время: **2023-06-03 21:48:40.87 (UTC)**

Подробную информацую вы можете найти в прикрепленном файле лог и скриншот. #The statistics of earthquakes detected by **PRESTo** during this experimentation can be found in the [on-line bulletin](#).

Внимание: Вы получили автоматическое сообщение от [SeismicNetwork@Kyrgyzstan](#). Могут быть неточности при автоматической обработке. При любых вопросах пишите [администратору сети](#).

-- Sent using Email 3.2.3-git <http://deanproxy.com/code/> Sent on: Sun, 04 Jun 2023 03:49:35 +0600 On System: Linux 4.4.0-210-generic x86_64

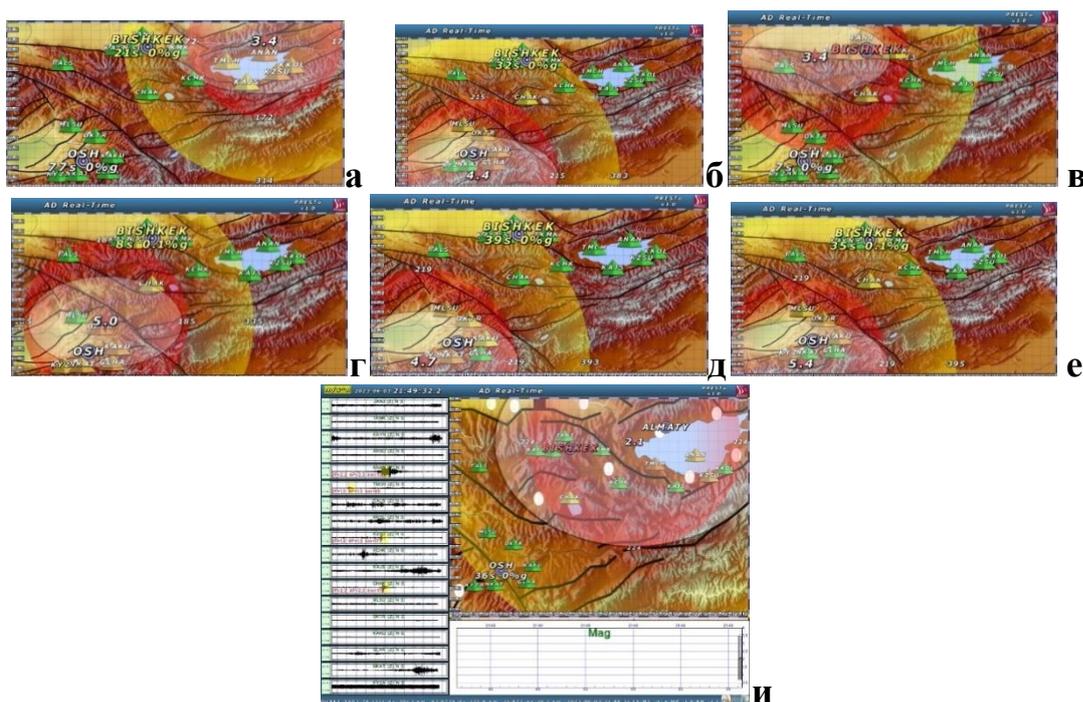


Рис. 6. Карты эпицентров и изосейст землетрясений автоматически зарегистрированных в качестве раннего оповещения населения от разрушительных землетрясений: а. M=3.4 с. Ананьево 7 июля, 00 час 04 мин, полночь 2021; б. M=4.4 г. Ош 29 июля, 23. час 10 мин, ночь 2021; в. M=3.4 г. Бишкек 28 сентября, 19 час 41 мин вечер 2021; г. M=5.0 г. Майлуу-Суу 29 сентября, 7 час. 47 мин утро 2021; д. M=4.7 с. Наукат 29 сентября, 12. час 42 мин., полдень 2021; е. M=5.4 г. Ош, 30 сентября, 13. час 05 мин., полдень 2021; и. M=4.1 с Гульча, 5 октября, 00 час 21 мин. полночь 2021.

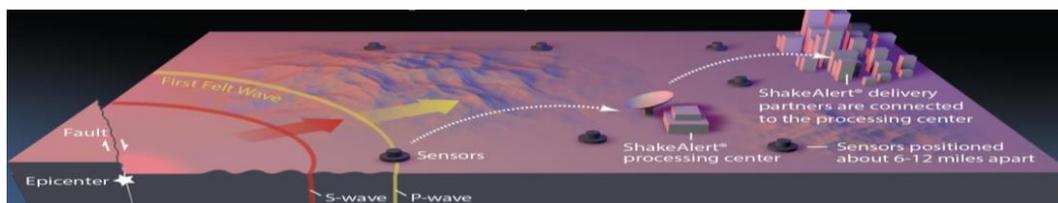


Рис.7. Геологическая служба США (United States Geological Survey, USGS) система раннего предупреждения о землетрясениях (Earthquake warning system, EEW) под названием ShakeAlert для зон повышенного риска: в штатах Калифорния, Орегон и Вашингтон. Цель системы заключается в уменьшении воздействия землетрясений и спасении людей и собственности, делая массовые оповещения.

Выводы.

1. Составлена инженерно-сейсмогеономическая карта типизации и прогноза георисков для системы раннего оповещения населения от сейсмокатастроф.
2. Функционирует в тестовом режиме сеть он-лайн раннего оповещения населения от сильных землетрясений для снижения потерь и ущербов в Кыргызстане и трансграничных районов стран региона Центрально Азии.
3. Разрабатывается новый программный продукт более точной обработки данных для уточнения координат эпицентров землетрясений в Кыргызстане.
3. Рекомендуются создать единую сеть он-лайн раннего оповещения населения от сильных землетрясений, с использованием нового программного обеспечения, для сокращения ожидаемых потерь и ущербов в Кыргызстане и трансграничных странах Центральной Азии.

Литература

1. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Д., Шакиров А.Э. Основы системы он-лайн предупреждения населения г. Бишкек и его агломераций от землетрясений. Материалы Первого Международного симпозиума: Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных напряжений в горных породах. 21-23 сентября, 2016. НАН КР, г. Бишкек. С. 223-224.
2. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Д. Карты сайт-эффектов и система раннего оповещения мегаполисов от сейсмокатастроф в странах Центральной Азии. Сборник докладов Международной конференции: “Актуальные проблемы современной сейсмологии”, посвященной 50-летию Института сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз 12-14 октября 2016 г. Ташкент, Узбекистан. Ташкент-2016. С. 720-727.
3. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д. Комплексные сейсмогеологические исследования георисков на примере городов Кыргызстана. Материалы 13-ой Международной сейсмологической школы. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск-2018. С. 268 – 272.
4. Matthew Free, Massimiliano Pittore, Kevin Fleming, Luis Sousa, Katherine Coates, M.EERI, Damian N. Grant, M.EERI, Yannis Fourniadis, Thomas Ader, Bolot Moldobekov, Sheraliev Temirlan. / Seismic Risk Assessment in the Kyrgyz Republic / GEM Special Issue - Earthquake Spectra 2018
5. Мамыров Э., Омуралиев М.О., Усупаев Ш.Э. Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. (монография). Бишкек, 2002. 93 с.

Надежка Л.И.1,2, Косинова И.И.1 Ежова И.Т.1,2, Сафронич И.Н.1,2, Колесников И.М.2, Пивоваров Р.С.2, Мохова В.В.1,2.
1ФГБОУ ВО ВГУ, г. Воронеж, Россия;
2ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия

СЕЙСМИЧЕСКИЕ РИСКИ ТЕХНОГЕННО-НАГРУЖЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕКМЕНТА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)

Аннотация. Территория южного сегмента Восточно-Европейской платформы (территория Воронежского кристаллического массива) подвержена значительному воздействию промышленных взрывов. Ежегодно производится от 300 до 500 взрывов при этом сейсмической энергии выделяется от 10^{11} – 10^{13} Дж. Распространяясь в геологической среде, она влияет на деформационные свойства земной коры способствует увеличению интенсивности фоновых колебаний. По степени их увеличения показано, что вся территория Воронежского кристаллического массива является зоной сейсмического риска, а вблизи карьеров, в радиусе 60-150 км. – зоной повышенного сейсмического риска.

Annotation. The territory of the southern segment of the East European Platform (the territory of the Voronezh Crystalline Massif) is subject to significant industrial explosions. Annually, between 300 and 500 explosions occur, releasing seismic energy ranging from 10^{11} to 10^{13} joules. As it propagates through the geological medium, this energy affects the deformation properties of the Earth's crust and contributes to the increase in background vibrations' intensity. Based on the degree of their increase, it is evident that the entire territory of the Voronezh Crystalline Massif is a seismic risk zone, while areas near quarries within a radius of 60-150 km are considered zones of elevated seismic risk.

Введение

Комфортность условий среды обитания человека в значительной степени зависит от сейсмических условий как природных, так и вызванных антропогенной и, в особенности, техногенной нагрузкой. К природным сейсмическим условиям относятся природная сейсмическая активность, т.е. частота, и сила местных и транзитных землетрясений, интенсивность и спектральный состав фонового микросейсмического шума (МСШ). К антропогенной нагрузке, которая вызывает изменение сейсмических условий, относятся, в первую очередь, воздействия быстро развивающейся промышленной цивилизации.

При этом возрастает нагрузка не только на быстро реагирующие компоненты среды (вода, воздух, растительный и животный мир), но и на верхние слои земной коры, вызывая увеличение интенсивности микросейсмических колебаний почвы и меняя характер деформационных процессов, происходящих в геологической среде. С увеличением темпов урбанизации растет степень риска негативных явлений, связанных с изменением сейсмических условий, особенно техногенно-нагруженных территорий.

Одной из техногенно нагруженных территорий равнинной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) является территория её южного сегмента - Воронежского кристаллического массива. Это индустриально развитый регион с активно функционирующей горнодобывающей промышленностью. Добыча полезных ископаемых осуществляется в карьерах открытым способом. В пяти из них полезные ископаемые добываются в кристаллических породах, в трёх карьерах («Железногорский», «Стойленский» и «Лебединский») – железная руда. Суммарная мощность одного короткозамедленного взрыва в этих карьерах составляет от 1000 т взрывчатого вещества (ВВ) до 2500 т. В карьерах «Павловский» и «Тихий Дон» добывается гранитный щебень, суммарная мощность одного короткозамедленного взрыва составляет от 100 до 300 т ВВ. В карьерах, в которых добываются полезные ископаемые в осадочном чехле, суммарная мощность одного взрыва в разных карьерах изменяется от 5 т до 50 т ВВ в зависимости от характера добываемого сырья.

Ежегодно производится от 300 до 500 и более промышленных взрывов, фактически

ежедневно происходит хотя бы один взрыв. Несмотря на то, что только 2-5% от общей энергии взрыва реализуется в виде сейсмической энергии [1], суммарное количество сейсмической энергии, выделяющейся при производстве промышленных взрывов в течение года, колеблется в интервале 10^{11} - 10^{13} Дж. Распространяясь в геологической среде, сейсмическая энергия меняет её деформационные свойства, накапливается на неоднородностях, создавая локальные участки повышенного напряжения и деформаций.

Характер и интенсивность реакции геологической среды на техногенные воздействия в значительной мере зависят от её свойств и деформационного состояния. Реакция может быть разнообразной, но наиболее заметно она проявляется в деформациях земной поверхности, наведённой сейсмичности, значительному увеличению интенсивности микросейсмических колебаний. Все эти факторы создают риски безопасного функционирования экологически ответственных объектов, зданий, сооружений, различного рода коммуникаций и т.п. Высокий уровень вибраций, возникающих в результате производства промышленных взрывов, оказывает негативное влияние и на здоровье человека.

Исходные данные и методика исследований

Значительное влияние на интенсивность негативных явлений оказывает скорость разработки месторождений полезных ископаемых, т.е. временная динамика промышленных взрывов.

За более чем четверть века сейсмологических исследований на территории Воронежского кристаллического массива зарегистрировано более 8000 промышленных взрывов [1-6]. Функционирующая на территории региона сейсмическая сеть позволяет регистрировать сейсмические события, начиная со второго класса [7]. На рисунке 1 представлено распределение сейсмических событий, возникающих при проведении промышленных взрывов по энергетическим классам.

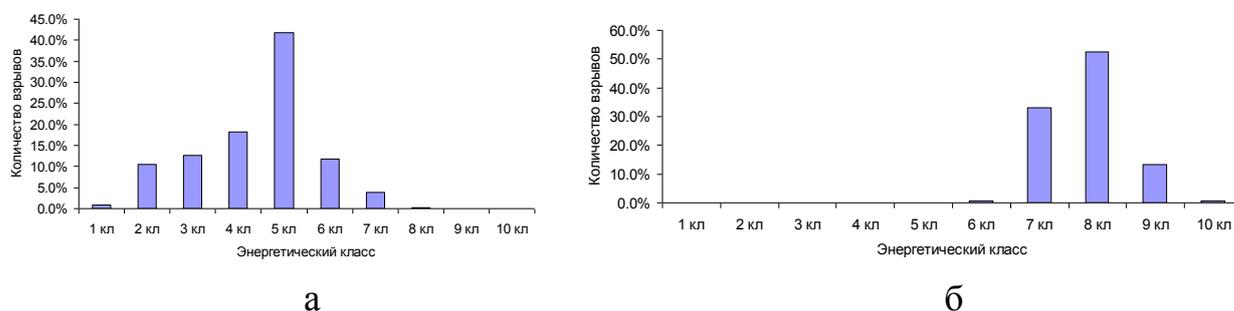


Рисунок 1 – Распределение сейсмических событий, возникающих при взрывах по энергетическим классам: (а) - при взрывах по добыче полезных ископаемых в осадочном чехле; (б) – в кристаллических породах

Как видно из рисунка 1, при взрывах по добыче полезных ископаемых в осадочном чехле, основная часть возникающих сейсмических событий относится к 5 энергетическому классу (40%), около 10% - к 6 энергетическому классу, менее 5% - к 7 энергетическому классу (рис. 1а). Наиболее сильный сейсмический эффект возникает при производстве взрывов при добыче железной руды (рис. 1б). Сейсмические события максимального энергетического класса (Кр 9-11) наблюдаются при взрывах в карьере «Железногорский». Это крупнейший карьер в Европейской части России.

Важным фактором при изучении сейсмических воздействий, вызванных короткозамедленными промышленными взрывами, является частота производства взрывов. Как отмечалось выше, в разные годы количество взрывов в карьерах производится от 300 до 500 и выше. На рис. 2 представлено распределение количества промышленных взрывов, функционирующих на территории ВКМ по годам.

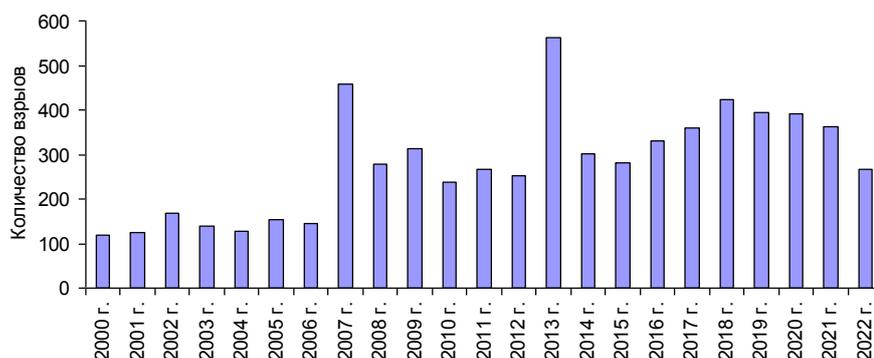


Рис.2 – Распределение количества промышленных взрывов по годам во всех карьерах

С 2007 года наблюдается увеличение количества зарегистрированных взрывов в промышленных карьерах. На общем фоне увеличения количества взрывов отмечается два максимума: в 2007 г. – 457, в 2013 году – 561 взрыв. В среднем в месяц с 2019 года и по настоящее время регистрируется более 30 взрывов, т.е. ежедневно происходит хотя бы один взрыв.

Анализ производства промышленных взрывов по времени суток показал, что взрывы в карьерах по добыче полезных ископаемых в кристаллических породах производятся в основном с 08 до 11 часов (время UTC). После 11.00 часов взрывы в этих карьерах бывают единичные.

Взрывы по добыче полезных ископаемых в осадочном чехле производятся фактически в течение всего рабочего дня, иногда и позже (рис.3).

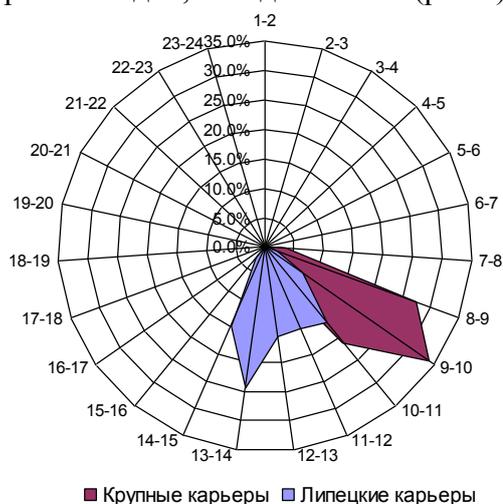


Рис. 3 – Распределение взрывов в карьерах по добыче полезных ископаемых в кристаллических породах и карьерах по добыче полезных ископаемых в осадочном чехле по времени (UTC)

Это приводит от ситуации, когда промышленные взрывы в разных карьерах производятся с интервалом менее одной минуты, что способствует увеличению времени и интенсивности сейсмических воздействий. На рисунке 4 представлен пример записи сейсмических событий, вызванных взрывами в крупных карьерах, практически синхронно.

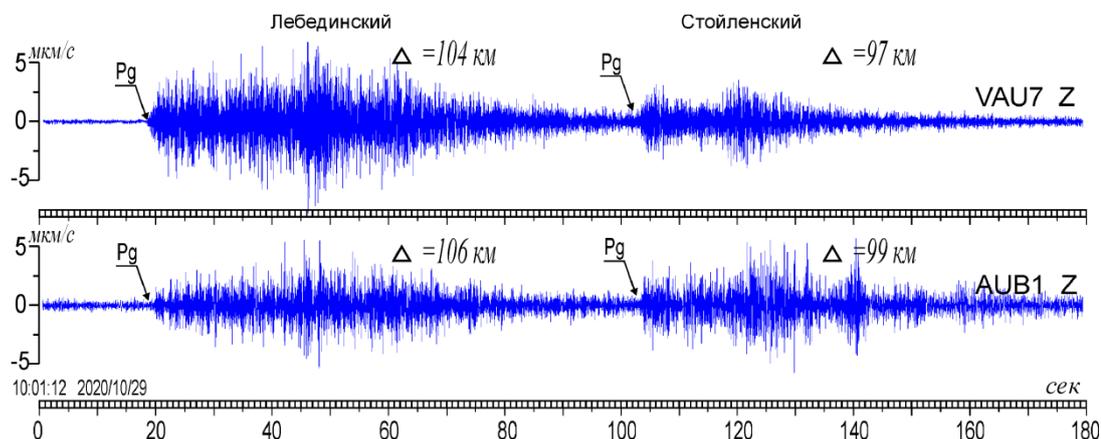


Рис. 4 – Пример записи Z- компоненты волновых форм взрывов в карьере «Лебединский», который произошел 29/10/2020 г. 10:01:12 (51.26N; 37.63E; $K_p=7.5$) и взрыва в карьере «Стойленский», который произошел 29/10/2020 г. 10:02:38 (51.27N; 37.73E; $K_p=7.7$)

Ежегодно в крупных карьерах производится более 120 промышленных взрывов, т.е. в течение каждых трех дней производится, по крайней мере, один крупный промышленный взрыв вызывая сейсмическое событие $K_p \geq 6.0$. Регулярность проведения взрывов в крупных карьерах способствует накоплению энергии, вплоть до насыщения геологической среды и конструктивных особенностей промышленных объектов.

Степень насыщения геологической среды сейсмической энергией зависит от многих факторов: регулярности производства промышленных взрывов, их интенсивности геологическим строением трассы, по которой распространяются сейсмические волны, а также локальными особенностями геологического строения в каждом конкретном месте территории региона. Кроме того, важным фактором является состояние геологической среды (сжатие-растяжение, обводненность, насыщенность локальными неоднородностями и т.п.). Все эти факторы ответственны за степень сейсмического воздействия промышленных взрывов на геологическую среду и насыщения её сейсмической энергией.

Степень насыщения геологической среды сейсмической энергией, возникающей при производстве взрыва, в первом приближении можно оценить по двум параметрам: длительности сейсмического воздействия и его средней интенсивности на этом промежутке.

Длительность события определялась как отношение осредненной на 10 сек-ом интервале амплитуды колебаний возмущенного поля к осредненной величине амплитуды фоновых колебаний. Так обработан большой объём информации, получены статистические представительные данные, которые позволили оценить степень риска, обусловленного сейсмическими воздействиями.

Обсуждение результатов

Оценка длительности сейсмического воздействия и его интенсивности показало, что фактически вся территория южного сегмента Восточно-Европейской платформы Воронежского кристаллического массива подвержена значительному сейсмическому воздействию.

На основе комплексного анализа полученных количественных данных выделены три зоны, характеризующиеся различной степенью рисков, обусловленных сейсмическими воздействиями, вызванными промышленными взрывами.

Зона повышенного риска. В пределах этой зоны сейсмические колебания, вызванные взрывами, превышают фоновые в 100 и более раз в низкочастотном диапазоне. Продолжительность высокоамплитудных колебаний до 30 сек. Так как максимальное расстояние интенсивных сейсмических воздействий зависит от мощности взрыва, в каждом карьере, то радиус зон вокруг карьеров разный: от 60 до 150км.

Зона риска. В пределах зоны превышение уровня микросейсмических колебаний в результате сейсмических воздействий промышленных взрывов изменяется от 10 до 100 раз как низкочастотных, так и высокочастотных составляющих волнового поля. Длительность максимального воздействия от 30 до 60 сек. Максимальное расстояние, на котором такие воздействия наблюдаются, составляет 450 км.

Зона нормы. Зона, в пределах которой увеличение интенсивности фоновых колебаний за счет сейсмического воздействия промышленных взрывов не превышает 10 раз, а максимальная продолжительность воздействия составляет более 250 сек.

Следует отметить, что фактически вся территория Воронежского кристаллического массива может быть отнесена к зонам риска и повышенного риска.

Выводы

Выделены 3 типа зон, различающихся интенсивностью и продолжительностью сейсмических воздействий, что соответствует трем типам зон комфортности среды обитания человека и его здоровья: **зона повышенного риска**, в пределах которой интенсивность сейсмических воздействий превышает фоновые колебания в 100 и более раз при продолжительности максимального воздействия до 30 секунд. В **зоне риска** превышение уровня интенсивности микросейсмических колебаний под воздействием техногенной нагрузки составляет 10-100 раз, продолжительность максимального воздействия увеличивается до 60 секунд и **зона нормы** в пределах которой превышение уровня интенсивности микросейсмических колебаний под воздействием техногенной нагрузки не превышает 10 раз.

Как правило, радиус зон зависит от мощности промышленных взрывов, строения и состояния геологической среды вдоль трассы распространения сейсмических волн, локальных особенностей геологической среды.

Следует также, отметить что изложенные результаты получены на основе статистической обработки большого объема данных и отражают усредненные характеристики. Отдельные интенсивные промышленные взрывы в карьере «Железнодорожный» могут создавать более сильные сейсмические воздействия, чем описанные выше, т.е. границы зон могут измениться в сторону увеличения зон.

Литература

1. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под ред. В.В. Адушкин и А.А. Маловичко – М.: Изд-во ГЕОС, 2013. – 384с.
2. Адушкин В.В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России. – Физик земли. – 2013. –32. С. 110-130.
3. Семёнов А.Е., Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Ежова И.Т. Характер и интенсивность сейсмических воздействий горнопромышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива / Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов // Материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. Воронеж, 22-25 сентября 2020 г. – Воронеж : изд-во ВГУ, 2020. – С.317-321.
4. Надежка Л.И., Семенов А.Е., Сафронич И.Н., Ежова И.Т., Золототрубова Э.И., Сизаск И.А. Сейсмический мониторинг при решении проблем сейсмической безопасности техногенно-нагруженных территорий // Материалы VII международной научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы»/под ред. И.И. Косиновой. – Воронеж: АО «Воронежская областная типография», 2021. – С 101-106 . ISBN 789-5-4420-0924-8.
5. Сафронич И. Н., Пивоваров С. П., Ефременко М. А. Некоторые особенности сейсмического воздействия взрывов на объекты жизнедеятельности при производстве работ открытым способом // Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы VI Международной научно-практической конференции : в 3 ч., Воронеж, 21–22 декабря 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. –ч. 2. – С. 311-318.
6. Надежка, Л.И., Семенов А. Е., Ежова И. Т. Техногенная сейсмичность территории Центрально-Чернозёмного экономического региона и её возможные экологические последствия //

Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы VI Международной научно-практической конференции : в 3 ч., Воронеж, 21–22 декабря 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. – ч.2 – С. 286-289.

7. Ежова И.Т., Надежка Л.И., Ефременко М.А. Инструментальные сейсмологические наблюдения промышленных взрывов как эффективный контроль сейсмических воздействий на геологическую среду // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов : сборник научных статей / Российский фонд фундаментальных исследований; Воронежский государственный университет; Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Москва : Издательство «Научная книга», 2022. – С. 42-54. – EDN YQUQVB.

8. Пивоваров С.П., Ежова И.Т., Ефременко М.А. Изменение динамики производства буровзрывных работ в крупных карьерах на территории Воронежского кристаллического массива (2000-2021 гг.) // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Тезисы XVI Международной сейсмологической школы, Минск, 12–16 сентября 2022 года. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2022. – С. 71. – EDN CNDPLX.

9. Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А. Оценка регистрационных возможностей сети сейсмических станций на территории Воронежского кристаллического массива // Землетрясения Северной Евразии. – 2018. – № 21 (2012). – С. 466-470.

Хамидов Л.А., Анварова С.Г., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р.
Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

НАПРЯЖЕНИЯ СБРОШЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЗЛОМАХ ВОКРУГ ВОДОХРАНИЛИЩ

Аннотация. В работе представлены результаты оценки сбросов напряжений от землетрясений, возникающих в тектонически-активных разломах вблизи Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ Узбекистана. Определяя снятие напряжений, возникающих в выделенных разломах вокруг водохранилищ Гиссаракском и Тупалангском регионе представлены отношения масштабирования между основными параметрами источника, которые в последующем могут служить полезными данными для оценки опасности землетрясений при техногенных дополнительных напряжениях.

Annotation. The paper presents the results of an assessment of stress releases from earthquakes that occur in tectonically active faults near the Gissarak and Tupalang reservoirs in Uzbekistan. Determining the release of stresses that occur in the identified faults around the reservoirs of the Gissarak and Tupalang regions, the scaling relationships between the main source parameters are presented, which in the future can serve as useful data for assessing the earthquake hazard under technogenic additional stresses.

Введение. История наблюдений за состоянием эксплуатации крупных гидротехнических сооружений показало возможную их влияние на изменения внутреннего силового поля окружающей геологической среды. Результаты исследования в различных странах мира показывало, что масштабы силового поля воздействия на напряженно-деформированное состояние земной коры весьма ощутимы и многообразны. Проблема возбужденной (или наведённой) сейсмичности вызванной водохранилищами представляется самой актуальной задачей, так как резкое изменение объема воды и фоновой сейсмичности в зонах их влияния могут сопровождаться более опасными геодинамическими процессами с провоцированием возникновения чрезвычайных ситуаций. На сегодняшний день в мире зарегистрировано более сотни случаев водохранилищной сейсмичности, связанной с изменением уровня воды в искусственных озерах. Как отмечено исследователями Н.К.Gupta и В.К.Rastogi большинство из них,

которые касались событий большой магнитуды, таких как Койна-Варненское землетрясение 10 декабря 1967 г. силой 6,3 балла, произошли после затопления крупного водохранилища [1]. Ранее Н.К.Gupta отметил, что события меньшей магнитуды также могут быть вызваны водохранилищами, но они могут быть зарегистрированы только локальными, плотными и технически совершенными сейсмическими сетями [2]. Как подчеркивают M.L.Bell, A.Nur, механизмы, связанные с сейсмичностью вызванной водохранилищами, двойки: первое - мгновенная упругая реакция на нагрузку коллектора (быстрая реакция) и второе диффузия порового давления жидкости из пласта, которые могут снижать эффективную прочность пород вокруг [3]. Колебания нагрузки на резервуар также могут влиять на устойчивость разлома, которая зависит от расположения резервуара по отношению к разлому, ориентации разлома и поля напряжений [4,5].

В работах T.A.Stabile, A.Giocoli, V.Lapenna, A.Perrone, S.Piscitelli, L.Telesca отмечено, что в небольших по размеру резервуарах изменение напряжения в результате водной нагрузки можно считать незначительным [6]. G.King, R.Stein, J.Lin и R.Harris продемонстрировали, что, учитывая, что земная кора находится в самоорганизующемся критическом состоянии при уровнях напряжений, близких к разрушению, даже изменение напряжения на уровне 0,01МПа кажется локально достаточным для того, чтобы спровоцировать землетрясение [7,8]. Как правило, сейсмичность, вызванная водохранилищем наблюдался после первоначального заполнения водохранилища или повышения уровня воды выше предыдущего максимума; затем сейсмичность вокруг водохранилища вернулась к состоянию до затопления. Однако существуют водохранилища, например, возле озера Мид [1], Койна-Варна и Комбс [9,10] или Нурекской плотины [11], которые по-прежнему демонстрируют сейсмичности вызванной водохранилищем каждый год или запаздыванием в несколько лет. Этот конкретный тип сейсмичности, вызванной водохранилищем был классифицирован как затяжная [5] или непрерывная [2] сейсмичность. Наиболее распространенные наблюдения сейсмичности, вызванной водохранилищем при заполнении искусственных озер, как правило, связаны с первоначальным затоплением озера или повышением уровня озера выше предыдущего максимума. Редко сейсмичности, вызванной водохранилищем сохраняется в течение многих лет без снижения частоты или величины. Если это происходит, то это называется «затяжной» или «продолжающейся» сейсмичностью. Например, искусственное озеро Пертусильо в высокогорной долине Агри (юг Италии) представляет собой небольшой водоем, столб воды которого колеблется за год примерно на 10–15 м (в среднем), что соответствует возмущению давления на дне озера 0,10–0,15 МПа [8]. Результаты мониторинга локальной сейсмичности, вызванной деятельностью водохранилищ, показали, что достаточно приемлемо были снижены пороги обнаружения и улучшены места регистрации сейсмичности [12,13]. Дополнительные полевые исследования привели к выявлению факторов, которые контролируют наблюдаемую сейсмичность, возможно вызванных деятельностью водохранилищ.

Цель и методы исследований. Основной целью исследований, является оценка сбросов напряжений, возникающих в разломах вокруг Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ. Допуская $\sigma_{xy} = \mu \varepsilon_{xy}$ и, используя соответствующие выражения из математической модели для произвольного внутреннего концентратора и вычитая от него решение для области без концентратора, можно получить разницу двух упругих состояний основания водохранилищ (при нагрузках и разгрузках) [14]. Отсюда можно определить связь тектонических деформаций и напряжений с магнитудой землетрясения, которому отвечает сброс напряжений (или вариация двух напряженных состояний) оцененной силы в приразломных зонах:

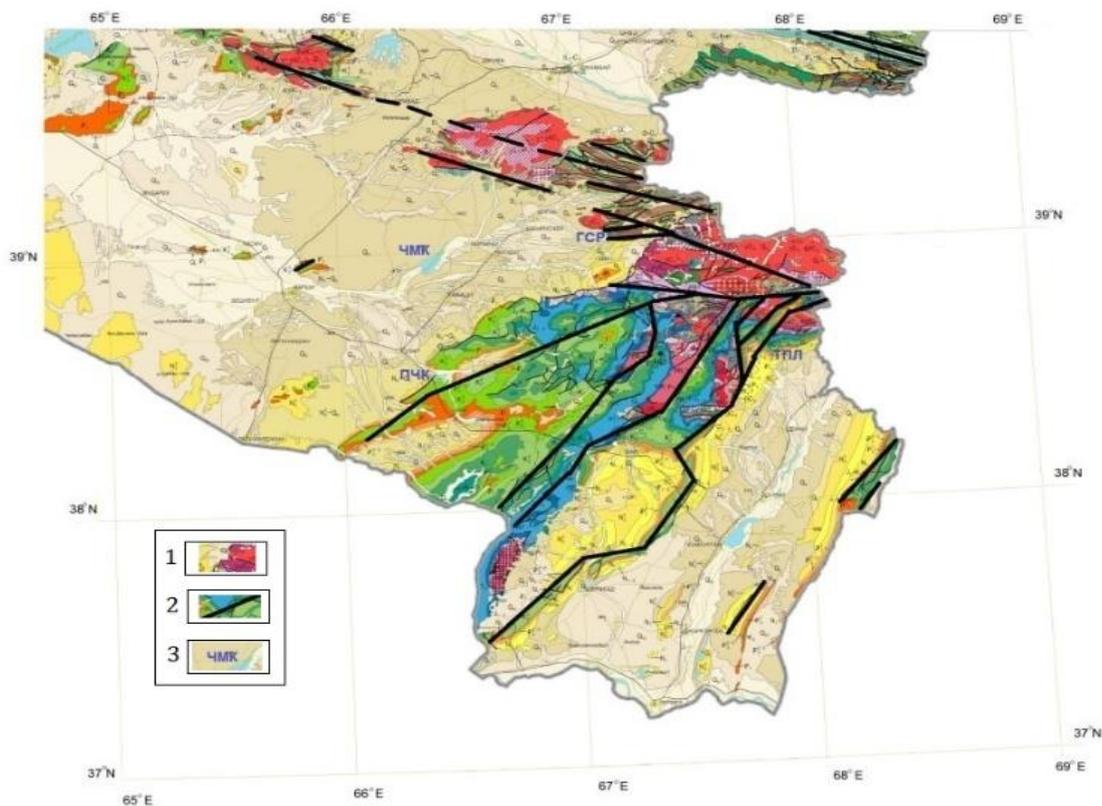
$$\sigma_{xy} = \sum_{m=1}^2 \left\{ -\frac{3V_i \Delta \sigma_i}{2\pi^3} \left[\frac{3r^2 - H^2}{2r^2} - \frac{15x^2 y^2}{r^4} + \frac{1-2\nu}{2(r+H)^2} \left(6r^2 + 4H^2 + \frac{4x^2 y (5r+2H)^2}{r(r+H)^2} + \frac{4x^2 y (5r+2H)^2}{r(r+H)^2} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Для оценки сбросов напряжений, возникающих в разломах в зоне влияния Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ нами выделено несколько возможных наиболее сейсмоактивных тектонических структур. Они были следующие: Южно-Тяньшаньский, Южно-Кызылкум-Гиссарский, Бухаро-Гиссарский, Дехканабадский, Шурчинский и Амударьинские зоны тектонических разломов [15].

Результаты и их обсуждение. Тектонические структуры в зонах влияния крупных водохранилищ Южного Узбекистана Южно-Тяньшаньский разлом является наиболее активным за последний геологический период. Выбранные зоны разломов являются одними из наиболее протяженных структурных разрывных нарушений, простирающихся с юго-запада на северо-восток территории Южного Узбекистана. Поверхность их смесителя наклонена на юго-запад под углом от 70° до 90° . Ниже в рис. 1 и рис.2 показано тектонические структуры и поле распределения эпицентров землетрясений в Южном Узбекистане за период 2011-2022 годы. В этой же схеме отражены участки расположения Гиссаракского и Туполангского водохранилищ. Вложены также в эту схему расположение основных разломов Южного Узбекистана, пользуясь [15] и названных согласно [16] Южно-Тяньшаньский, Южно-Кызылкум-Гиссарский, Бухаро-Гиссарский, Поперечно-Тяньшаньский, Дехканабадский, Шурчинский и Амударьинские зоны.

Для расчета сбросов напряжений в зоне Южного Узбекистана, зон влияния Гиссаракского и Туполангского водохранилищ использованы формулы из [12,17]. Максимальная вертикальная амплитуда перемещения по разломам за определенный период в некоторых участках превышала 2500м. Подвижки в этих разломах происходили и в четвертичное время, что фиксируется перемещением отложений крупных террас. Это соответствует относительным деформациям до $4,6 \times 10^{-7} / год$.

Южно-Тяньшаньский разлом простирается на юго-запад под покровом соответствующих геологических отложений севера Сурханской депрессии (рис.1). Видимая часть разломов локализуется тремя участками: 1 участок - с $\varphi^{\circ}N=38^{\circ}59'59''$ и $\lambda^{\circ}E=69^{\circ}58'56''$ до $\varphi^{\circ}N=38^{\circ}54'39''$ и $\lambda^{\circ}E=68^{\circ}08'17''$, угол наклона $75^{\circ}-80^{\circ}$, длина 120 км, глубина 50 км, ширина 0,5-1 км; 2 участок - с $\varphi^{\circ}N=38^{\circ}54'39''$ и $\lambda^{\circ}E=68^{\circ}08'17''$ до $\varphi^{\circ}N=39^{\circ}27'09''$ и $\lambda^{\circ}E=66^{\circ}10'46''$, угол наклона $75^{\circ}-80^{\circ}$, длина 188 км, глубина 50 км, ширина 0,5-1 км; 3 участок - с $\varphi^{\circ}N=39^{\circ}27'9''$ и $\lambda^{\circ}E=66^{\circ}10'46''$ до $\varphi^{\circ}N=39^{\circ}58'02''$ и $\lambda^{\circ}E=64^{\circ}10'55''$, угол наклона $75^{\circ}-80^{\circ}$ (более подробно по другим разломам эти параметры представлены в [18]).



Условные обозначения: 1 – стратиграфические и магматические образования;
2- разломы; 3- водохранилища;

Рис.1. Тектонические структуры в зонах влияния крупных водохранилищ Южного Узбекистана (вырезка из [15])

Как отмечено в исследованиях М.Т.Турапова, У.А.Нурматова, Т.К.Захидова и У.А.Юсупджанова, «...по линии Южно–Тянь-Шанского разлома ширина зоны сейсмичности достигает 80-100 км, а зоны возникновения глубокофокусных Памиро-Гиндукушских землетрясений к югу еще больше [19]. Например, Юго-Восточный борт Кашкадарьинско-Бешкентской зоны синклиналильных прогибов согласно неотектоническому районированию, района исследований Камаши и Ертепинских землетрясений находится на границе перехода Туранской плиты к орогену Тянь-Шаня [18].

Предел его ограничивается Западно-Тянь-Шаньским и севернее пересекается с Южно-Тянь-Шаньским разломом, где могут возникнуть землетрясения с $M=7,6\div 8$. Район попадает в зону активного динамического влияния Южно Тянь-Шаньского разлома. Видимо сочленяясь с ним, более мелкие разрывные нарушения образует ряд структурных участков меньшего ранга и блоков [16,18].

Землетрясения в этих участках распределены в зоне контакта между платформой и орогеном и в пределах юго-восточного борта Кашкадарьинско-Бешкентской зоны синклиналильных прогибов [16,18,19]. Границы этих структур, по мнению разных авторов, являются спорными. Часть исследователей эту границу стараются разделить четко. Есть группа исследователей считающих переход постепенным.

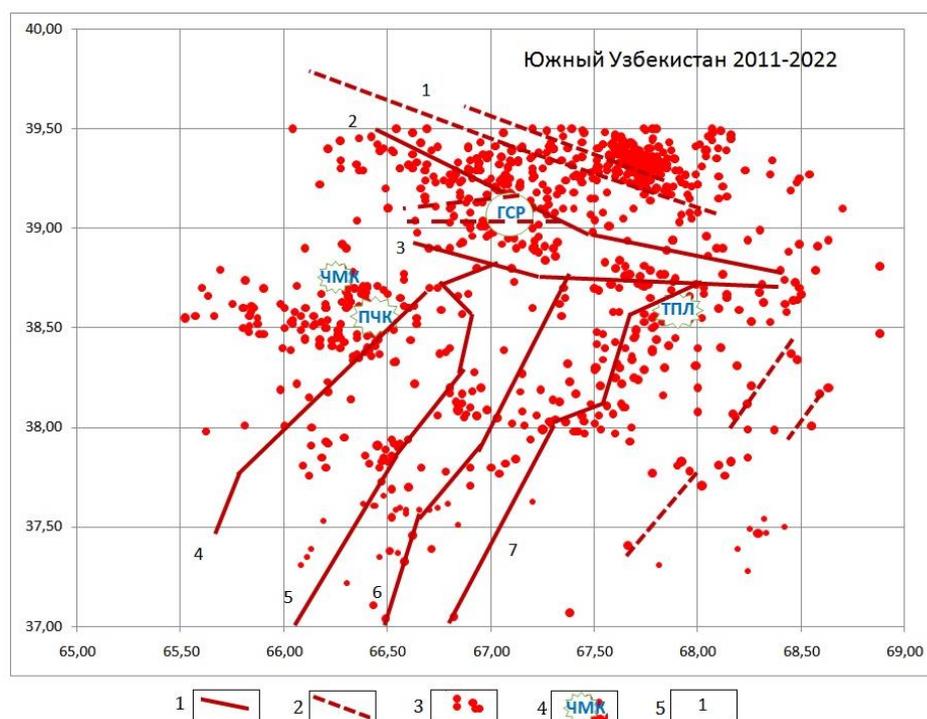


Рис.2. Схема распределения землетрясений в Южном Узбекистане за период 2011-2022 годы

Условные обозначения: 1-разломы, введенные по координатам в систему расчета напряжений и деформаций; 2- разломы, не введенные по координатам в систему расчета напряжений и деформаций; 3-очаги землетрясений; 5: 1-Южно-Тяньшаньский, 2-Южно- Кызылкум-Гиссарский, 3-Бухара-Гиссарский, 4-Поперечно-Тяньшанский, 5 - Дехканабадский, 6 – Шурчинский, 7 - Амударьинский

Существует и третья группа исследователей делающих вывод о связи этой структуры с расколами фундамента, определившимися ее ступенчато-блоковым строением с большим погружением к юго-западу. Рассчитаны сброшенные напряжения и деформации в зонах нескольких очагов землетрясений (таблица 1), происходивших в ближних зонах водохранилищ с магнитудой $M \geq 4,9$ за период 2011-2022 годы пользуясь выражением (1). Эти напряжения и деформации, сброшенные при сильных землетрясениях в области влияния Гиссаракского и Туполангского водохранилищ приурочены соответственно зонам разломов Южного Узбекистана согласно рис.2а,б.

Землетрясение Сариясия1 произошло 20 февраля 2012 года с магнитудой $M=4,7$ в Сурхандарьинском вилояте, в районе Сариясия, в 25 км к северо-западу от створа Туполангского водохранилища и приурочена к Бухара-Гиссарскому разлому согласно рис.1.

Землетрясение Сариясия 2 произошло 28 июня 2014 года с магнитудой $M=4,0$ в Сурхандарьинском вилояте, в районе Сариясия, в 23 км к северо-западу от створа Туполангского водохранилища и приурочено также близко к Бухара-Гиссарскому разлому. Землетрясение Китаб произошло 5 апреля 2016 года с магнитудой $M=4,9$ в районе Китаб Кашкадарьинского вилоята в 14 км к северо-западу от створа Гиссаракского водохранилища, приурочен ближе к Южно-Тяньшанскому разлому.

Землетрясение Байсун1 произошло 9 января 2022 года с магнитудой $M=4,7$ в Сурхандарьинском вилояте, в районе Байсун, в 38 км к юго-западу от створа Туполангского водохранилища и приурочена ближе Амударьинскому разлому согласно. Землетрясение Байсун2 произошло 12 мая 2022 года с магнитудой $M=5,9$ в Сурхандарьинском вилояте, в районе Байсун, в 98 км к юго-западу от створа Туполангского водохранилища и приурочена ближе Шурчинскому разлому согласно.

Таблица 1. Сброшенные напряжения и деформации для сильных землетрясений в области влияния Гиссаракского и Туполангского водохранилищ

Формулы, по которым проведены расчеты	Сариасия 1 2012 г. M= 4,7; H= 6 км;	Сариасия 2 2014 г. M= 4,0; H= 4 км;	Китаб 2016 г. M= 4,7; H= 11 км;	Байсун 1 2022 г. M=5,2; H= 20 км;	Байсун 2 2022 г. M= 5,9; H= 15 км;
Уломов: $\lg \Delta\sigma=0,198M+0,360$	$\varepsilon_0= 0,5 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma= 22,4$ бар	$\varepsilon_0= 0,2 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=16,2$ бар	$\varepsilon_0= 0,5 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma= 22,4$ бар	$\varepsilon_0= 1,7 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=21,3$ бар	$\varepsilon_0= 2,8 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma= 33,7$ бар
Хамидов (1)	$\varepsilon_0= 0,8 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=2,7$ МПа	$\varepsilon_0= 0,4 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=1,7$ МПа	$\varepsilon_0= 0,8 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=2,7$ МПа	$\varepsilon_0= 1,8 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=2,9$ МПа	$\varepsilon_0= 2,9 \times 10^{-4}$ $\Delta\sigma=3,2$ МПа

В региональном плане район Гиссаракского, Чимкургаского и Пачкамарского водохранилищ и очаговая зона Ертепинских землетрясений ограничен на юго-востоке Караиль-Лянгарской флексурно-разрывной зоной.

Заключение. Анализ данных о землетрясениях ($2,5 < M < 6$), зарегистрированных в период 2011–2022 гг. показывает, что в регионе возникают малонапряженные перепадные землетрясения. Анализ выбранных 763 землетрясений показывает значения падения напряжения (возможный начальный избыток напряжений до разгрузки) от $\sim 0,04$ до 63,12 бар. Землетрясения с низким перепадом напряжения имеют большое значение для понимания локального сейсмотехногенеза.

Литература

- Gupta, H. K., and B. K. Rastogi (1976). Dams and Earthquakes, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 229 pp.
- Gupta, H. K. (2002). A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India, Earth Sci. Rev. 58, no. 3/4, 279–310, doi: [10.1016/S0012-8252\(02\)00063-6](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00063-6).
- Baecher, B. G., and R. L. Keeney (1982). Statistical examination of reservoir induced seismicity, Bull. Seismol. Soc. Am. 72, 553–569.
- Roeloffs, E. A. (1988). Fault stability changes induced beneath a reservoir with cyclic variations in water level, J. Geophys. Res. 93, 2107–2124, doi: [10.1029/JB093iB03p02107](https://doi.org/10.1029/JB093iB03p02107).
- Talwani, P. (1997). On the nature of reservoir-induced seismicity, Pure Appl. Geophys. 150, 473–492, doi: [10.1007/s000240050089](https://doi.org/10.1007/s000240050089).
- King, G., R. Stein, and J. Lin (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am. 84, no. 3, 935–953.
- Harris, R. (1998). Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard, J. Geophys. Res. 103, no. B10, 24,347–24,358, doi: [10.1029/98JB01576](https://doi.org/10.1029/98JB01576).
- Stabile T.A., Giocoli A., Lapenna V., Perrone A., Piscitelli S., Telesca L. Evidences of Low-Magnitude Continued Reservoir-Induced Seismicity Associated with the Pertusillo Artificial Lake (Southern Italy)// Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 4, pp. 1-10, August 2014, doi:[10.1785/0120130333](https://doi.org/10.1785/0120130333)
- Carder, D. S. (1945). Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the influence of reservoir loading on earthquake activity, Bull. Seismol. Soc. Am. 35, 175–192.
- Durá-Gómez, I., and P. Talwani (2010). Hydromechanics of the Koyna-Warna region, India, Pure Appl. Geophys. 167, 183–213, doi:[10.1007/s00024-009-0012-5](https://doi.org/10.1007/s00024-009-0012-5).
- Simpson, D. W., and S. K. Negmatullaev (1981). Induced seismicity at Nurek Reservoir, Tadjikistan, USSR, Bull. Seismol. Soc. Am. 71, no. 5, 1561–1586.
- Lutfulla Khamidov, Farkhod Artikov, Khayrulla Khamidov, Barno Ganieva and Sadoqat Anvarova Seismicity caused by the hydrological regime of large reservoirs.// CONMECHYDRO.- J. E3S Web of Conferences 365, 03043 (2023).-P.1-11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503043>
- Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Иброгимов Ф.И. Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 52–67. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.05>.
- Хамидов Л.А., Ганиева Б.Р., Хамидов Х.Л., Анварова С.Г. Модель расчета упругих

смещений и деформаций основания крупных резервуаров.// Актуальные проблемы теорий оптимального управления, динамических систем и операторных уравнений.- Материалы IV Международной научной конференции.- 23-25 июнь 2022.- Бишкек, Кыргызстан.- С.151-155.
<http://optimal.biz.kg/mat.php>

15. Михайлов В.В., Чирикин В.В., Саидова Н.Г., Пинхасов Б.И. Геологическая карта территории Узбекистана масштаб 1:1000000 - ГК РУз по геологии и минеральных ресурсов.- Ташкент.-2010.

16. Алимухамедов И.М. Морфоструктурное районирование Южного Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент, 2004. №4. С.39-43.

17. Хамидов Л.А., Ганиева Б.Р., Хамидов Х.Л., Анварова С.Г. Модель расчета упругих смещений и деформаций основания крупных резервуаров.// Актуальные проблемы теорий оптимального управления, динамических систем и операторных уравнений.- Материалы IV Международной научной конференции.- 23-25 июнь 2022.- Бишкек, Кыргызстан.- С.151-155.

18. Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ. //J.Seysmologiya muammolari.-№1(2),-2020.-С.64-80.

19. Турапов М.Т., Нурматов У.А., Захидов Т.К., Юсупджанова У.А. Результаты изучения взаимоотношения разрывов (мегатрещин) с крупными разломами глубинного заложения Чаткало-Кураминского региона. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане - Ташкент. ИС АН РУз. 2014. -№11.- С.95-99.

Абдуллаев А.У., Смоляр В.А., Борисов В.Н.

ТОО «Институт сейсмологии» Алматы, Казахстан

u.abdullaev@mail.ru; v_smolyar@mail.ru; borisov_wn_71052@mail.ru.

СЕЙСМОУСЛОВЛЕННЫЕ ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Выполнен детальный обзор и анализ ранее проведенных работ по изучению опасных геологических явлений (ОГЯ) на территории Юго-Восточного Казахстана. Выявлены основные факторы, определяющие инженерно-геологические условия территории и закономерности развития и распространения ОГЯ. Таковыми являются: землетрясения, обвалы, оползни, осыпи, лавины, ледники, селевые потоки. В процессе работ проанализирован обширный материал по инженерно-геологическим, гидрогеологическим, геолого-сейсмическим условиям рассматриваемой территории. Это позволило оценить условия развития опасных геологических явлений, получивших распространение в Юго-Восточном Казахстане, выявлены основные закономерности развития и степень активности ОГЯ, составлена карта распространения опасных геологических явлений масштаба 1:1000000. Особенно актуально в настоящее время проведение мониторинговых исследований опасных геологических явлений с целью изучения их закономерностей распространения и интенсивности проявления на изучаемой территории.

Annotation. A detailed review and analysis of previous work on the study of the dangerous geological phenomena (DGP) in the territory of South-Eastern Kazakhstan has been carried out. The main factors that determine the engineering-geological conditions of the territory and the patterns of development and distribution of the DGP are identified. These are: earthquakes, landslides, landslides, talus, avalanches, glaciers, mudflows. In the course of the work, extensive material was analyzed on the engineering-geological, hydrogeological, geological-seismic conditions of the territory under consideration. This made it possible to assess the conditions for the development of hazardous geological phenomena that have become widespread in South-East Kazakhstan, the main patterns of development and the degree of activity of the DGP were identified, and a map of the distribution of hazardous geological phenomena at a scale of 1:1000000 was compiled. It is especially important at present to conduct monitoring studies of hazardous geological phenomena in order to study their patterns of distribution and intensity of manifestation in the study area.

Введение. На поверхности земли и в прилегающих к ней слоях атмосферы и литосферы протекает развитие множества сложнейших физических, физико-химических и

биохимических процессов, сопровождающихся обменом и взаимной трансформацией различных видов энергии. Эти процессы лежат в основе эволюции Земли и служат источником развития опасных природных явлений. Согласно развиваемой нами генетической классификации природных опасностей ведущим фактором является среда, в которой они формируются и развиваются. При таком подходе выделяются три класса процессов: *атмосферные, гидросферные и литосферные*, обуславливающих ОГЯ [23]. Систематизация литосферных процессов и явлений является весьма сложной задачей. В данном вопросе особенно следует отметить предыдущие разработки учёных, [18, 23, 25]. В группе *литосферных природных процессов* выделяются две подгруппы: *эндогенные* (глубинные) и *экзогенные* (поверхностные) процессы.

Разнообразие природных ландшафтов, сложность структурно-геологического строения и гидрогеологических условий способствовали распространению на территории Восточно-Казахстанской, Алматинской и Жамбылской областей комплекса самых различных по генезису опасных геологических явлений [3-14]. К основным природным факторам, влияющим на развитие опасных геологических явлений, относятся: физико-географические (рельеф, гидрография, климат, почвенно-растительный покров), геолого-тектонические, сейсмические, геоморфологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия. В этой сложной динамической системе воздействующие факторы разделяются на три основные группы: постоянные, медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся.

1. Постоянные факторы, которые на период проведения работ можно считать неизменными, определяют генетические особенности ОГЯ и интенсивность их проявления. К ним относятся: 1) геологическое строение (тектоника, стратиграфия, литология); 2) геоморфологические условия (общий характер, морфология и морфометрия).

2. Медленно изменяющиеся факторы влияют на общую тенденцию развития ОГЯ. К основным относятся: 1) современные тектонические движения (горизонтальные, вертикальные); 2) климатические условия. К производным: 1) изостатические и эвстатические изменения уровня крупных водоемов; 2) температурные и влажностные условия; 3) гидрогеологические условия (изменения уровня грунтовых вод, повышение минерализации и пр.); 4) растительность; 5) почвы.

3. Быстро изменяющиеся факторы делятся на основные и производные. Основные факторы обуславливают режим производных факторов и режим активизации ОГЯ. К ним относятся: 1) метеорологические (атмосферные осадки, температура воздуха и др.); 2) гидрологические (расходы и уровни воды в реках, уровни воды и волнения в озерах, водохранилищах и т. п.); 3) сейсмические (землетрясения); 4) хозяйственная деятельность человека. Учет факторов первых двух групп особенно важен для пространственных прогнозов, а факторов третьей группы – для прогнозов развития ОГЯ во времени.

Геоморфологические условия изучаемой территории чрезвычайно разнообразны, имеют длительную историю развития, в том числе под влиянием неотектонических движений. Ландшафты – от песчано-пустынных, низкогорий и мелкосопочника, до высокогорий с альпийскими формами рельефа. Восточный Казахстан представляет собой горную складчатую страну с межгорными впадинами с краевой частью Западно-Сибирского артезианского бассейна на крайнем западе правобережья Иртыша [11-15]. Алматинская область располагается на территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского сейсмоопасного региона Южного Казахстана, который в сейсмическом отношении является наиболее изученным, [12-16, 20-23]. В Жамбылской области на юге расположены отроги Киргизского хребта с максимальными отметками до 4500 м, на крайнем юго-западе области отмечаются отроги Таласского Алатау с отметками до 4000 м, с юго-востока на северо-запад расположился хребет Каратау с отметками до 2000м, а на востоке области

горы Кендыктас с отметками до 1000 м.

Тектонические структуры наряду с климатом являются определяющими факторами развития основных форм рельефа и прямо связанных с ним экзогенных процессов. В связи с этим любую земную поверхность необходимо рассматривать как результат последовательного наложения и сложения разного возраста и различной глубины заложения тектонических структур, закономерно преобразованных многообразием экзогенных процессов. Закономерность состоит в том, что тектонические (эндогенные) процессы и структуры определенным образом организуют состав, пространственное распределение, временной ход и интенсивность экзогенных процессов, [1, 2, 9, 18, 19]. Главным эффектом эндогенных (тектоно-магматических) процессов, являются деформации земной поверхности и создание определенным образом распределенных в пространстве и сопряженных друг с другом поднятий и впадин различных рангов. В зависимости от уклонов поверхности, связанных с деформацией, и климатических условий устанавливается определенный комплекс экзогенных процессов денудационного и аккумулятивного рядов, [2, 9, 18, 19]. Огромную роль на формирование современного рельефа и экологическое состояние геологической среды в целом оказывают эндогенные геологические процессы, которые могут вызвать или активизировать любой природный процесс до катастрофического состояния. Наибольшее значение среди эндогенных геологических процессов для данного района имеют *неотектонические процессы и землетрясения*.

Неотектонические процессы играют значительную роль в развитии экзогенных процессов. Разрывным нарушениям придается особое значение и с их помощью объясняются многие, но особенно пространственные особенности развития форм рельефа и экзогенных процессов. Наиболее наглядно влияние разломов на экзогенные процессы проявляется в явлениях сейсмогравитационного класса. Прежде всего, это сейсмические удары и колебания земной поверхности, вызванные подвижками по разломам на разных глубинах литосферы, которые являются причиной гравитационных смещений как рыхлых, так и скальных пород. Тектонические движения, усилившиеся в конце неогена и четвертичное время, сформировали горную страну, расчлененную на системы поднятий и депрессий. Преобладающую роль в активизации ОГЯ получили восходящие движения. Наличие сложной разветвленной системы разломов в Алматинской области во многом определило распределение проявления сейсмичности в наше время – большая часть землетрясений генетически связана с движениями в приразломных зонах. Наиболее сейсмичными оказываются зоны разломов, ограничивающие Заилийский Алатау с юга и севера, зона Чилико-Кеминского, Главного и Северо-Джунгарского глубинных разломов. В этих зонах локализовались наиболее сильные известные землетрясения: Верненское (1887), Чиликское (1889), Кеминское (1911) и др. (рис. 1)

Будучи глубоко проникающими и высокопроницаемыми зонами, разломы создают условия для активной циркуляции в них подземных вод и газов и способствуют формированию линейных зон выветривания, уходящих на большие глубины, [2, 9, 18, 19]. Свообразным типом разрывных нарушений являются трещины. Трещины и особенно зоны повышенной их концентрации, как и разломы, снижают прочностные свойства и повышают проницаемость пересекаемых ими пород и по этой причине благоприятствуют развитию вдоль них ряда экзогенных процессов (выветривание, эрозия, дефляция, карст, суффозия). В первую очередь этим смещениям подвержены массивы, характеризующиеся неустойчивостью своего положения и известными особенностями структуры, литологического состава и обводненности. В результате формируются сейсмогенные обвалы, осыпи, оползни, осывы пород, оплывины, лавины, грязекаменные потоки, которые обладают значительной опасностью, [18, 19]. На территории юга, юго-востока и востока Казахстана, приуроченной к орогенным областям Северного и Центрального Тянь-Шаня,

Джунгарии и горного Алтая, не раз отмечались разрушительные землетрясения с $M \geq 7$. Значительную площадь этой территории занимают чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении 8 – 9^и бальные зоны. Исключительную важность для этих территорий представляет оценка уровня потенциальной сейсмической опасности. Под этим понимается выделение региональных сейсмогенерирующих зон, определение сейсмopotенциала (M_{max}) и пространственно-временных закономерностей возникновения землетрясений в них и установление возможных сейсмических воздействий, (рис.1), [2, 9, 18, 19]. С современными тектоническими движениями связано возникновение напряжения и деформаций в земной коре. Когда напряжения достигают критических значений, превышающих предел длительной прочности горных пород, происходит разрядка накопившейся упругой энергии, сопровождаемая *землетрясением*.

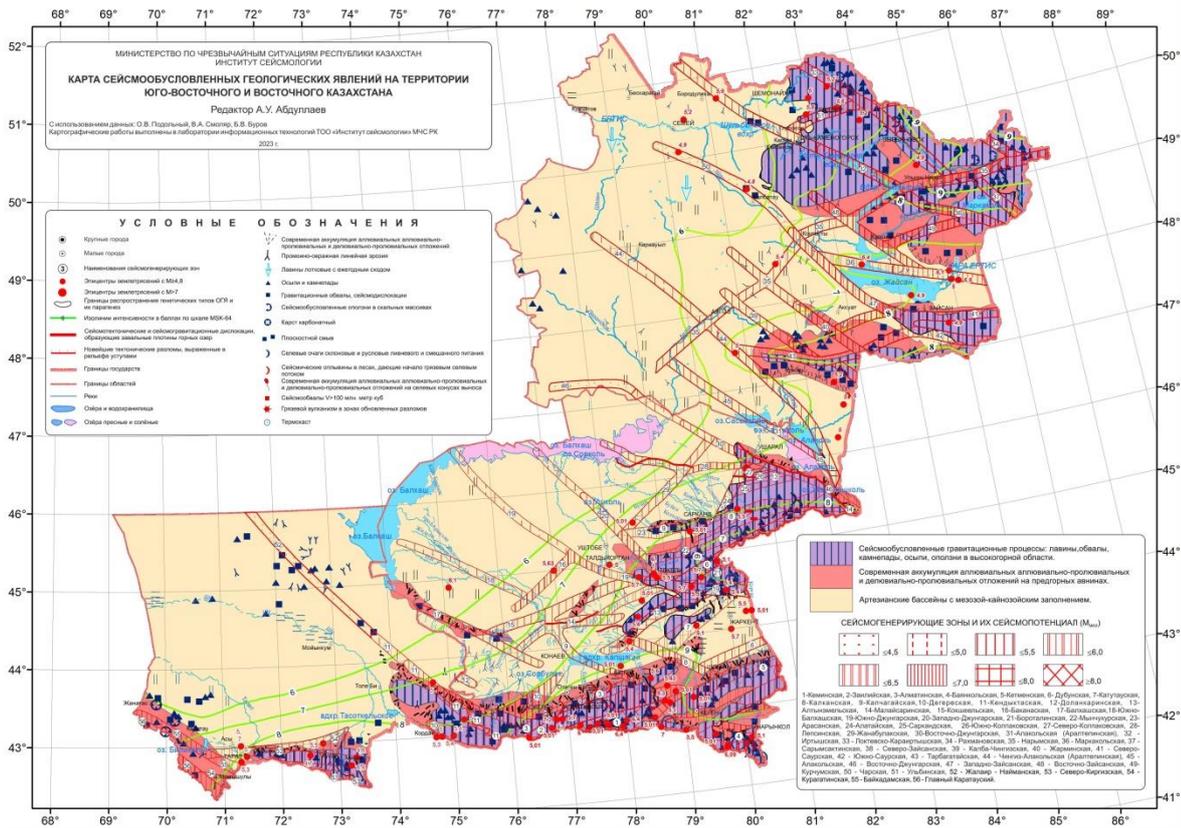


Рис 1 Карта ОГЯ Юго-Восточного Казахстана

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИИ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ЗОНАХ

Аннотация. Автозаправочные станции в городской среде известны как одна из существующих и потенциальных опасностей в городах, которые в соответствии с их централизованной пожарной нагрузкой могут иметь большое значение для безопасности. В г. Алматы располагается более 200 действующих заправочных станций с потенциально высокой взрывоопасностью, 40 из которых находятся на тектонических разломах. В результате возможного девятибалльного землетрясения с эпицентром в районе города, с выдавливанием емкостей с бензином на поверхность, с прорывом и утечкой бензина, могут возникнуть десятки очагов сильных пожаров.

Annotation. Petrol stations in urban environments are known as one of the existing and potential hazards in cities, which, according to their centralized fire load, can be of great importance for safety. There are more than 200 operating petrol stations in Almaty with a potentially high explosive hazard, 40 of which are located on tectonic faults. As a result of a possible strong earthquake with an epicenter near the city, with squeezing gasoline containers to the surface, with a breakthrough and leakage of gasoline, dozens of strong fires may occur.

В самом общем понимании, сейсмическая опасность – это угроза разрушения зданий и имущества, а также нанесения вреда человеческой жизни, являющаяся следствием возникновения сильных землетрясений. Очевидно, что вопросы, касающиеся раннего предупреждения возникновения стихийного бедствия, методов и механизмов предотвращения или минимизации разрушений, являются одними из наиболее актуальных при строительстве объектов в сейсмоопасных районах.

Катастрофическое землетрясение в крупном мегаполисе может нанести значительный урон и отбросить на 10–15 лет назад экономику страны. Поэтому работы по определению состояния зданий и сооружений и разработке сценариев возможных событий способствуют уменьшению человеческих жертв. Такие работы являются приоритетными для территорий, подверженных землетрясениям. По степени сейсмической активности Казахстан занимает одно из ведущих мест на территории Центральной Азии. Южная столица страны г. Алматы является крупным городом, где сосредоточены промышленные и гражданские объекты. Пугает высокая плотность застройки в Алматы. В последние годы не выполняется требование “желтой” линии: расстояние между домами должно быть таким: высота здания плюс одна пятая часть здания. Еще один из множества нерешенных вопросов - как быть с автомобильными пробками на дорогах и скоплением машин на подъездных путях к зданиям. Практика показывает: при ликвидации пожаров в высотных зданиях у пожарных больше времени уходит на то, чтобы подобраться к очагу пожара. А если произойдет землетрясение, то подъехать к разрушенным зданиям будет вообще невозможно. По данным Бюро Координатора ООН по оказанию помощи в случае стихийных бедствий (ЮНДРО), расходы на стихийные бедствия за 36 лет равны годовому мировому национальному доходу. Известно, что Спитакское землетрясение 1988 г. обошлось в сумму 20 миллиардов долларов! И это без стоимости человеческих жизней...

В США, начиная с прошлого века, широко используются сценарии на случай землетрясения, моделируется возможное поведение всех инженерных сооружений и зданий в зоне землетрясения и принимаются надлежащие меры по их усилению. Благодаря этим мерам, последствия мощного землетрясения 1989 г. в Сан-Франциско (США) обошлись в 6 миллиардов долларов, хотя интенсивность и зона сотрясения превышали известное армянское землетрясение 1988 г. в Спитаке. Спутники

землетрясений – пожары. Страницы мировой истории хранят весьма точные, яркие описания этих катастроф. Землетрясения в прошлом весьма часто сопровождалось большими пожарами.

От сейсмического удара может происходить разрыв газопроводных труб и взрыв наземных железобетонных и металлических резервуаров с горючим. Так, например, после землетрясения 16 июня 1964 г. в префектуре Ниигата (Япония), буквально через несколько минут, когда еще не все люди успели выбраться из-под обломков, вдоль реки Синано начали один за другим взрываться резервуары с горючим. Таким образом, в течение получаса вспыхнуло 9 гигантских очагов пламени! Огонь 36 нефтебаков компании "СиоваСэки" перекинулся через канал на нефтебаки, расположенные непосредственно в городской черте. Пожаром охватило более 100 домов! Пожарные команды, воинские подразделения и жители города вели борьбу с огнем, пытаясь остановить его наступление на город, но им не хватало воды, так как водопроводные сети были уже разрушены! В то же время вся поверхность реки Синано покрылась толстым слоем (жирной пленкой) разлившейся нефти. Огненные смерчи бушевали над городом Ниигата - более 30 часов - после землетрясения. Почти два дня длился масштабный пожар, охвативший 90 резервуаров с горючим; более 400 тысяч тонн нефтепродуктов сгорели полностью. Повреждения в зданиях, а также повреждения всего оборудования в промышленных зданиях и нарушение в связи с этим обычного, нормального производственного процесса, особенно в огнеопасных производствах, также могут служить причиной возникновения пожаров при землетрясении. Очень важно знать, что зоны наибольших повреждений от землетрясений часто совпадают с очагами наибольших пожаров. Следовательно, разрушенные или поврежденные здания легко поддаются воздействию огня.

Исторические события прошлых лет свидетельствуют, что Центрально-азиатский регион и столицы стран, расположенных в его пределах, неоднократно ощущали сильные сейсмические толчки. Город Алматы расположен в одной из наиболее сейсмоопасных зон во всей Центральной Азии, с максимальной силой землетрясений более 10 баллов. Крупное Кеминское землетрясение, произошедшее в 1911 году, разрушило более 600 домов, а также 3 тысячи коммерческих помещений, складов и других нежилых зданий, а 300 домов получили повреждения фундаментов, печей и штукатурки. Толчки также вызвали ряд оползней, которые стали причиной смерти многих людей. Погибло 452 человека, а еще 740 человек получили ранения.



Рисунок 1 – Кеминское землетрясение в 1911г.

В соответствии с действующей картой сейсмического районирования Казахстана, город Алматы расположен в 9-ти бальной зоне. Территорию города пересекают 5 тектонических разломов.



Рисунок 2 – Карта разломов г. Алматы

Наибольшую сейсмическую опасность для города представляет Заилийский разлом (диагональный), проходящий вдоль ул. Аль-Фараби, через антенное поле, пл. Республики, пересечение ул. Абая и Кунаева, по ул. Казыбек—Би, через Парк культуры на восток. Разлом в широтном направлении проходит по ул. Джандосова, Тимирязева, Сатпаева, Фурманова—на северо-восток. Северный разлом проходит с запада через оз. Сайран (плотина), вдоль ул. Виноградова, Кабанбай-Батыра, по ул. Казыбек—Би к Парку культуры и отдыха на восток. Алматинский разлом проходит с запада, через пересечение ул. Саина и пр. Райымбека, вдоль ул. Рыскулова до ул. Сейфуллина, затем севернее 700—800 м по ул. Райымбека, далее через территорию на севере Медеуского района, который делит город на 2 части. Северо-Западный разлом проходит вдоль западной границы города через поселки Кок-Кайнар, Ожет, Карасу и далее на северо-восток.

Для установления потенциально возможных очагов пожаров и взрывов на территории города как вторичных сейсмообусловленных факторов антропогенного характера были установлены местонахождение и название около 350 автозаправочных станций на территории Южной столицы. Рассматриваемая проблема в условиях существующей застройки города Алматы и строительства автозаправочных станций на улицах в непосредственной близости от жилых и общественных зданий, является острейшим вопросом, который не раз поднимали в прессе. Мировой опыт ликвидации последствий разрушительных землетрясений показывает, что более 50% ущерба от землетрясений связаны не с самим землетрясением, а с его вторичными факторами. Например, при интенсивности колебаний почвы в 8 баллов около 50% зданий получают тяжелые повреждения и разрушаются, а в крупных городах более 30% систем жизнеобеспечения выходят из строя. Из-за высокой концентрации промышленных предприятий, газопроводов, автозаправочных станций, хранилищ сильнодействующих ядовитых веществ, землетрясения вызывают серии техногенных катастроф – пожары, взрывы, выбросы и разливы СДЯВ, в результате чего значительно увеличиваются число жертв и экономические потери. Например, при семибалльном землетрясении в г. Кобе (Япония) одновременно вспыхнуло 350 пожаров, уничтоживших уцелевшие при землетрясении здания на площади более 100 га в густонаселенном районе города. На территории г. Алматы сегодня сосредоточены 23 химически опасных объекта с большими запасами аммиака и хлора, более 200 автозаправочных станций с общим количеством

бензина 25-35 тыс. тонн, равномерно распределенным по территории города. Более 40 крупных АЗС по данным института сейсмологии расположены над тектоническими разломами и при сильном землетрясении будут обязательно разрушены.

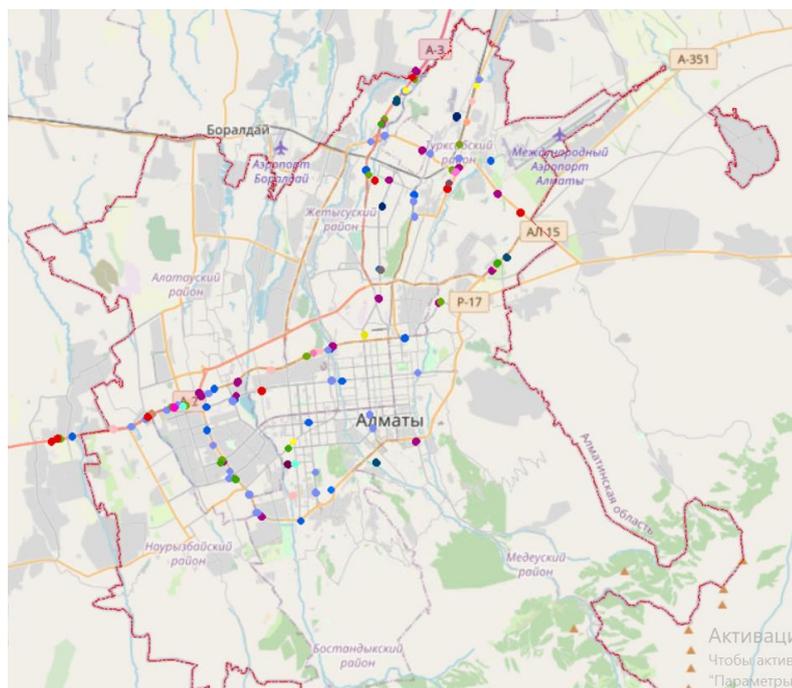


Рисунок 3 - Карта автозаправочных станции города Алматы

В результате возможного девятибалльного землетрясения, с эпицентром в районе нашего города, по оценке межведомственной комиссии разрушения жилого фонда могут составить до 55-60%, количество жертв – 80-95 тыс. человек, количество раненых до 400-500 тысяч, оставшихся без крова – 600-700 тысяч, суммарный экономический ущерб 6,5-7,0 млрд. долларов. Дополнительно при разрушении химически опасных объектов безвозвратные потери составят около 50 тыс. человек, количество отравленных – до 90 тысяч. Сколько будет выброшено в атмосферу города угарного газа от многочисленных пожаров никто никогда не считал, но считается, что количество жертв и материальный ущерб может увеличиться вдвое. При этом, считают специалисты, будут уничтожены более 40 промышленных предприятий, множество детских садов, школ, других учебных заведений и общественных зданий.

При сильном землетрясении в случае выдавливания емкостей с бензином на поверхность, их прорывов и утечек бензина на территории города, если учесть, что на каждой автозаправочной станции сосредоточено до 50-60 тонн горюче-смазочных материалов, могут возникнуть десятки очагов сильных пожаров. Следует также отметить, что строительство ряда автозаправочных станций произведено на тектонических разломах (более 40 автозаправочных станций) или в непосредственной близости к ним, которые является дополнительным осложняющим фактором.

Острота рассматриваемой проблемы углубляется еще и тем, что строительство автозаправочных станций и ряда жилых массивов осуществлена с нарушением строительных норм – близкое расположение автозаправочных станций к жилым домам и общественным зданиям, не соблюдение так называемой «красной линии», узкие улицы. В случае пожаров и взрывов автозаправочных станций распространение пожаров будет происходить по асфальтным улицам, естественный уклон и практическая ровная поверхность которых, а также сосредоточение автомобилей на несанкционированных автостоянках вдоль улиц, многократно увеличат зону распространения пожаров, что значительно затруднит работу спасателей и бригад скорой помощи по ликвидации

последствий землетрясения.

В результате возникновения разрушительного землетрясения, в г. Алматы может сложиться следующая обстановка:

- образование пожаров и очагов возгорания.
- источниками пожаров и взрывов явится утечка газа, разлив нефтепродуктов в районах размещения автозаправочных станции (АЗС);
- возникновение масштабных очагов возгорания на нефтебазах с разливом горюче – смазочных материалов.

При возгораниях только на каждой третьей заправке в случае землетрясения, на участках города размером 2х2км возникнет более 70 крупных пожаров на АЗС, не считая других источников возгорания. Это наиболее тяжкий вариант развития событий, но нельзя же сказать, что он не может произойти и тем более сбрасывать его со счетов

Исходя из вышесказанного, в целях обеспечения допустимого уровня безопасности на АГЗС необходима разработка комплекса требований сейсмобезопасности с учетом специфики эксплуатации различных типов АГЗС (АГНКС, АГЗС, МТАЗС), а также внесения изменений в нормативно-правовую базу.

Литература

1. Узбеков А.Н., Полешко Н.Н. Изменение в сеймотектонической обстановке в районе площади исследовательского атомного реактора ВВР-К ИЯФ по результатам изучения механизмов очагов последних лет. Вестник НЯЦ РК выпуск 4, декабрь 2016
2. A.V. Sadykova, A. Sydykov, G.G. Stiharnaya, A.M. Danabayeva, Probabilistic assesment of the initial seismicity of Almaty city due to microzoning of its territory. News of the national academy of the Republic of Kazakhstan series of geology and tehncial sciences number 425(2017), 79-92
3. Халиков Д.К. - Уроки землетрясения в Японии и сейсмическая безопасность города Алматы, Вестник Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан № 2, 2011
4. BelindaUlfaAulia,WidyaUtama,PutuGdeAriastita, LocationAnalysisforPetrolFillingStationBasedonStakeholders' PreferenceandSeismicMicrozonationProcedia - SocialandBehavioralSciences 14 July 2016, Pages 115-123
5. Курскеев, А.К. Общее сейсмическое районирование территории Казахстана / А.К. Курскеев, А.В. Тимуш, А.С. Сыдыков, В.И. Шапилов // Карта ОСР территории Казахстана. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 2003. – С. 84.
6. Полешко Н.Н., Досайбекова С. Сеймотектоническая обстановка по данным механизмов очагов землетрясений Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона Казахстана // Вестник АО «КазНИИСА» Наука –2016. –№4(9). –25–33.
7. Полешко, Н. Н. Механизмы очагов землетрясений и сеймотектоническая деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: дис...канд. г.м. наук: 25.00.10: защищена 24.04.2009: утв. 07.10.2009 / Н.Н. Полешко // Алматы, 2009.– С. 135.
8. Абдуллаев А.У., Есенжигитова Е.Ж., Жунисбеков Т.С., Мухамадиев А.О., Борисов В.Н., Турабаева Ж.Т. Проявление гидрогеохимических аномалий слабых землетрясений в Алматинском сейсмоактивном районе. 2022г.Труды Международной научно-практической конференции, посвященной к 115-летию член-корр. АН КазССР А.Ж. Машанова и 100-летию Академика АН КазССР Ж.С. Ержанова. 567-573.
9. Турашова Ж.Е., Сартаев Д.Т., ӘділханБ.Н. Анализинженерногеологическихусловийтерриторийпоуровнюсохранностидля строительного освоения (на примере города Алматы). Труды Международной научно-практической конференции, посвященной к 115-летию член-корр. АН КазССР А.Ж. Машанова и 100-летию Академика АН КазССР Ж.С. Ержанова.573-585

Сальменов Е.З.1, Кулбекова Ш.А.1,2, Сарсенбаев Д.А.1
erken.zeinullaevich@mail.ru, kulbekovasholpan@gmail.com
, d.sarsenbayev@seismology.kz

1 ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК, Алматы, Казахстан
2 Satbayev University, Алматы, Казахстан

СОБЛЮДЕНИЕ СТАДИЙНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМОУСЛОВЛЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ И УЯЗВИМОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности изучения сейсмообусловленных экзогенных геологических процессов в сейсмоопасных районах Северо Тянь-Шанском регионе. Особенности их изучения, причины возникновения, приуроченность и т.д. Подчеркивается обязательность поэтапного выполнения изыскательских работ предваряющих мониторинговые работы по снижению и управлению рисками и уязвимостями. Особенно актуальны в настоящее время мониторинговые исследования опасных экзогенных геологических процессов, получивших развитие на территории Юго-Восточного Казахстана, в районах крупных городских агломераций г. Алматы, где эти процессы в значительной мере активизируются за счет воздействия факторов техногенного характера и представляют непосредственную угрозу жизнедеятельности населения. Даются основные термины и определения по оценке рисков и уязвимостей.

Abstract.: The article discusses the features of studying seismically conditioned exogenous geological processes in earthquake-prone areas of the North Tien Shan region. Features of their study, causes of occurrence, timing, etc. It is emphasized that it is mandatory to carry out exploration work in stages prior to monitoring work to reduce and manage risks and vulnerabilities. Monitoring studies of dangerous exogenous geological processes that have developed in the territory of South-Eastern Kazakhstan, in the areas of large urban agglomerations of the city of Almaty, where these processes are largely activated due to the impact of man-made factors and pose an immediate threat to the life of the population. The basic terms and definitions for assessing risks and vulnerabilities are given.

Введение. Деформации склонов являются одним из наиболее распространенных сейсмообусловленных экзогенных геологических явлений в Юго-Восточном Казахстане (Казахстан). С 2010 по 2020 гг. в горных районах Илийского Алатау было зарегистрировано 700 деформаций склонов [1]. Природные и антропогенные оползни в значительной степени определяют развитие регионов, где они происходят. Они представляют опасность и часто наносят значительный ущерб домам и приводят к человеческим жертвам. Для оценки опасности оползней важно определить причинные факторы потенциальной нестабильности склона и возникновения оползней. Определение факторов, вызвавших возникновение деформаций склона в прошлом, помогает предсказать возникновение новых деформаций.

Разнообразие физико-географических и геоморфологических условий, обусловившие резкую смену рельефа и природных ландшафтов, сложность структурно-геологического строения и гидрогеологических условий способствовали распространению в районе г. Алматы и прилегающих территорий комплекса самых различных по генезису опасных геологических процессов. Активизации опасных экзогенных геологических процессов (далее - ЭГП) способствуют высокая сейсмичность территории, а также воздействие техногенных процессов, обусловленных влиянием хозяйственной деятельности человека на геологическую среду в целом.

Значительное повышение активности опасных геологических процессов наблюдается в последние годы. Это обусловлено как техногенными факторами (хозяйственной деятельностью человека: преимущественно интенсивной застройкой как предгорной зоны, прилегающей к г. Алматы, так и самой городской территории), так и природными (повышенная водность последних лет, которая в свою очередь вызывает увеличение величины осадков, частые ливневые дожди, резкие оттепели, способствующие

обильному снеготаянию, паводки, повышение уровня подземных вод и пр.).

Наиболее важными факторами, определяющими возникновение и обуславливающими развитие оползней, являются: геологическое строение (литология, тектонические, сейсмические и структурные условия), геоморфологические условия и топография (морфометрические характеристики, крутизна склонов, уклон и высота), гидрогеологические условия (залегания подземных вод – характер вмещающих пород, форма и глубина залегания, направление движения и характер разгрузки; особенности режима подземных вод – изменение уровней, расходов, температура и химический состав подземных вод), геокриологические условия (промерзание и протаивание горных пород), гидрологические и климатические условия и факторы, связанные с антропогенными факторами, представленными структурой почвенного покрова и землепользованием. Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие определяется естественными условиями и хозяйственной деятельностью людей т.е. экологическим и ресурсным потенциалом. Оползневые процессы, с одной стороны существенно снижают экологический потенциал при освоении территорий, с другой стороны, возрастающая техногенная нагрузка при интенсивном хозяйственном освоении является фактором активизации оползневого процесса [2].

Материалы исследования. В горной и предгорной зонах Алматинского регионе, вблизи крупных речных систем, значительный ущерб окружающей среде наносится опасными геологическими процессами, прежде всего землетрясениями, селями, оползнями, обвалами, подтоплением территорий подземными водами, эрозионными процессами.

Особенно актуальны в настоящее время мониторинговые исследования над опасными геологическими процессами, получившими развитие на территории г. Алматы и прилегающих предгорий Илейского Алатау, обусловлена, прежде всего, следующими факторами:

расположением г. Алматы в зоне развития опасных природных и техногенных процессов, представляющих угрозу не только зданиям и сооружениям, но и самой жизни людей;

значительной численностью населения г. Алматы и близлежащих населенных пунктов (более 1500 тыс. чел.), приуроченной к зонам активного проявления опасных геологических процессов (землетрясения, сели, оползневые процессы, осыпи, обвалы, речная эрозия, подтопление и пр.);

интенсивностью активизации ЭГП в связи с расположением города в сейсмически активном регионе, где отмечались катастрофические землетрясения;

значительным влиянием процессов техногенеза на активизацию ЭГП под воздействием интенсивной застройки предгорной зоны и самой территории города;

отсутствием нормативных документов на проектирование и застройку территории города с учётом развития опасных природных процессов и неудовлетворительным уровнем инженерной защиты территории города;

необходимостью разработки генеральной схемы и проектов инженерной защиты территории;

увеличением количества ветхого и аварийного жилья в городе, представляющего угрозу безопасности проживания людей, особенно в условиях высокой сейсмичности предгорий Илейского Алатау;

наличием в г. Алматы зданий, сооружений повышенной социальной значимости и повышенной опасности;

несоответствием современным условиям нормативно-правовой базы на эксплуатацию жилых, общественных и производственных зданий в городе;

моральным износом зданий;

необходимостью корректировки генерального плана города с использованием карт районирования его территории по условиям сейсмичности, степени опасности и уровню

риска для городской застройки,

- с учётом реконструкции и модернизации жилого фонда;

особым статусом города, город республиканского значения Казахстана;

надёжностью в обеспечении города теплом, электроэнергией, водой и водоотведением [2,3].

Все работы по изучению ЭГП и организация ведения мониторинга должны проводиться поэтапно и последовательно, начиная со сбора и анализа имеющихся предыдущих материалов по объекту исследований, дистанционных методов, полевых, лабораторных, геофизических, опытно-фильтрационных и картосоставительских работ. Затем необходимо организовать мониторинговую сеть наблюдений на наиболее актуальных ключевых участках.

Обязательная поэтапность проведения работ при изучении ЭГП:

1) предполевая подготовка; 2) дешифрирование аэро и космоснимков; 3) аэровизуальные наблюдения; 4) наземные инженерно-геологические маршруты; 5) горные работы; 6) геофизические работы; 7) топогеодезические работы; 8) метрологические обеспечение геофизических работ, оценка точности измерения электрических и магнитных характеристик; 9) буровые работы; 10) отбор монолитов; 11) лабораторно-аналитические исследования; 12) камеральную обработку полученных результатов с составлением комплекта карт инженерно-геологического содержания.

Проводимые исследования позволяют получить достаточно полную информацию о современных инженерно-геологических условиях изучаемой территории, физико-механических свойствах горных пород, условиях развития и активизации опасных геологических процессов, выявить основные факторы, способствующие возникновению и активизации ЭГП, четко определить роль техногенных факторов в активизации ЭГП, позволяет проводить оценку территории относительно опасности и риска проявления ЭГП.

Оценки рисков и уязвимости. Анализ и оценка риска от стихийных бедствий является составной частью его управления.

Риск - совокупная мера вероятности и ущерба от проявления опасного экзогенного геологического процесса, оказывающего воздействие на людей, инженерные сооружения и природную среду. Количественно риск оценивается выражением «Риск = Опасность x Потенциальный ущерб» [4].

Риск = потенциальный ущерб × вероятность получения ущерба

При оценке рисков, связанных с неблагоприятными геолого-геоморфологическими процессами количественный показатель риска рассматривается численно равным денежной сумме, которую необходимо затратить для устранения последствий. Риск – произведение ущерба и вероятности получения ущерба за некоторый период времени [5];

Риск можно дифференцировать по различным критериям. Они являются: по объекту воздействия (индивидуальный, социальный, технический, хозяйственный, стратегический, экологический); по источнику воздействия (природный, техногенный, социальный, экономический, политический); по расположению относительно объекта (внешние и внутренние); по механизму возникновения (связанные с неблагоприятными условиями, с негативными явлениями, с негативными тенденциями развития, с принятием решений в условиях неопределенности); по степени влияния (пренебрежимый, приемлемый, чрезмерный); по возможности страхования (страхуемый и не страхуемый) [6].

Таблица -1. Оцениваемые виды риска

№	Виды рисков	Характеристика
1	Физические риск	оценка проводится в физическом выражении, в количестве объектов-реципиентов риска (количество домохозяйств, зданий и т.д.)
2	экономический риск	оценка проводится в денежном выражении потенциального ущерба при стихийном бедствии (в долларах США и др.)

3	социальный риск	оценка проводится в количестве человек которые потенциально могут погибнуть/пострадать в результате чрезвычайной ситуации
---	-----------------	---

Анализ оползневой риска обычно учитывает потенциальный ущерб, вызванный оползнями во всех областях Казахстана. Уязвимые факторы включают население, инфраструктуру, сельское хозяйство, важнейшие объекты и т.д. [7]

Оценка уязвимости к оползням - это сложный процесс, который должен учитывать множество аспектов, включая как физические, так и социально-экономические факторы.

Физическая уязвимость зданий и инфраструктуры является функцией интенсивности оползня и уровня сопротивления открытых элементов.

Социальная уязвимость и устойчивость сообщества, с другой стороны, связаны с такими факторами, как демография, уровень готовности, память о прошлых событиях, а также институциональный и не институциональный потенциал для преодоления стихийных бедствий. Хотя существует значительное количество литературы по оценке уязвимости общества к стихийным бедствиям, в немногих исследованиях конкретно рассматривается социальная и экономическая уязвимость к оползням.

На практике эффективное снижение риска оползней должно осуществляться на местном и региональном уровне. разработка мер по снижению рисков, например системы раннего предупреждения, может основываться на ряде сценариев и включать следующие шаги:

- определить сценарии для условия формирования и механизма запуска оползня (оползней) и оценить вероятность их возникновения;
 - оценить объем и масштабы оползня и рассчитать расстояние до социальной инфраструктуры, для каждого сценария;
 - оценка потерь от рисков, для каждого сценария;
 - сравнить оцененный риск с критериями приемлемости/толерантности к риску
 - при необходимости принять соответствующие меры по снижению рисков [8,9].;
- Управление рисками состоит из следующих основных элементов таблица -2 [7].

Таблица - 2. Управление рисками по изучение ЭП

Управление риском		
1	Идентификация и оценка опасности	анализ вероятности реализации опасности, ее характеристики
2	Оценка уязвимости и оценка риска	анализ потенциальных последствий реализации опасности и уязвимости территорий и объектов
3	Количественная оценка риска	анализ уровня и степени риска в количественной форме
4	Контроль риска	организация и проведение мониторинга.

Необходимые мероприятия для обеспечения безопасности по управлению и защите от природных опасностей и рисков [10] входят в следующую систему и состоят из нескольких видов деятельности:

1) исследовательский – это проведение исследований, разработка мер обеспечению безопасности и снижение рисков от опасных природных и техногенных явлений, нормативно- правовое обеспечение;

2) производственный - производство режимных наблюдений за объектом изменением индикационных показателей (ИП); определение нормативных критериев безопасности (критерии стабильности (КС), критерии безопасности (КБ) и критерии экстремальности (КЭ)).

Оценка состояния объекта по соответствию индикационных показателей критериям безопасности: а) Чрезвычайная ситуации: ИП больше КЭ - требуется экстренные решения; б) Опасное состояние: ИП больше КБ - требуются управляющие решения; в) Безопасное состояние: ИП меньше КБ - управляющие решения не требуются.

3) организационно-управленческий - постановка задач, организация системы

обеспечение безопасности, управление системой; коррекция нормативных критериев безопасности; применение экстренных мероприятий для предотвращения ущерба и восстановление объекта; применение специальных мероприятий для стабилизации природных процессов для предотвращения ущерба.

Выводы. Окончательным результатом всех этапов работ является составление специализированных карт уязвимости и рисков, а также районирование территорий по интенсивности проявления ЭГП и организация мониторинга на ключевых актуальных объектах местного и регионального уровней, захватывающих наибольшее количество реципиентов.

На основе всех выполненных видов работ осуществляется организация мониторинга ЭГП на современном уровне, в онлайн формате с целью передачи данных в административные органы и МЧС для принятия оперативных решений и мер по ликвидации последствий и стабилизации опасных экзогенных процессов.

Литература

1. Кулбекова Ш.А., Изтурганов К.Е., Жакып А.Е., Альжигитова М.М. Опасные геологические процессы в Алматинской агломерации: изучение, контроль и оповещение // Труды Сатпаевский чтения-2021 г.2021. Т.1. С.283-287.
2. Мустафаев С.Т., Смоляр В.А., Буров Б.В. Опасные геологические процессы на территории Юго-Восточного Казахстана // А.: Фылым. 2008. С. 156-208.
3. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Ранова С.У. Опасность сейсмообусловленных экзогенных процессов в горных районах Казахстан // Алматы – 2017. С 15-26.
4. Marco U., Farrokh N., Suzanne L., Amir M. K., 2008. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides // Engineering Geology. March.2008. Vol.102. № 3-4.P. 251–256.
5. Вахрушев И.Б. Оценка сейсмоэкологической ситуации с использованием элементов ГИС-картографирования // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». – 2006. – №1. – С. 22-33.
6. Мележ Т.А. Оценка современных геологических процессов, проявляющихся в пределах речных долин (на примере республики Беларусь). Проблемы снижения природных опасностей и рисков //Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК – 2012». Т.1. С. 133-137.
7. Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Пендин В.В Оценка оползневого риска (на примере северо-западной части провинции Лаокай, Вьетнам) // Инженерная геология 2018. № 3.Т. 13. С. 40-53.
8. Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives // International Strategy for Disaster Reduction. July.2002. Geneva: United Nations. P.48-66.
9. Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment, Hazard Specific Risk Assessment. Landslide Hazard and Risk Assessment // UNISDR 2017. P.4-9.
10. Кутепова В.М., Шеко Природные опасности России. Экзогенные геологические опасности // А.И. – М.: КРУК, 2002. Т. 1. С 345.

М.С. Хайдаров, А.К. Бектемиров
ТОО «Казахмониторинг»

ГЛОБАЛЬНЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ДО АВАРИИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

Аннотация. На примере разрушения Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. показано пространственно-временное соответствие геодинамических процессов с местом и временем этой аварии.

Abstract. Using the destruction of the Sayano-Shushenskaya HPP in 2009 as an example, the spatio-temporal correspondence of geodynamic processes with the place and time of this accident is shown.

Краткая характеристика местоположения СШГЭС. Большая опасность заключается в активном воздействии геодинамических процессов на грандиозные антропогенные объекты, приводящие к внезапным и обширным экологическим бедствиям. Крупнейшая в России и шестая в мире гидроэлектростанция – Саяно-Шушенская, была остановлена 17 августа 2009 г., когда в машинный зал хлынула вода. Три из десяти генерирующих гидроагрегатов были полностью уничтожены, а все остальные повреждены. Крупнейшая в истории российской и советской гидроэнергетики авария привела к гибели 75 человек. Не вдаваясь в технические подробности аварии этого гидросооружения, остановимся только на геодинамических процессах. По мнению российских специалистов «Группа проблем связана с реакцией пород и земной коры в районе станции на давление колоссальных масс воды и бетона». СШГЭС проектировалась с расчетом на 6...7 балльные землетрясения. В 1988 году, после Спитака, расчеты сейсмической устойчивости плотины были проведены заново. Они показали, что она не боится и 8 балльного землетрясения. Вероятность возникновения такого события оценить трудно. Есть мнение, что давление провоцирует землетрясения, но имеются и данные, что оно как раз способствует снятию напряжений в земной коре и тем самым не позволяет развиваться катастрофическому землетрясению. Мелкие же в районе плотины происходят постоянно» [3]. Ближайшее сильнейшее в этих местах за последнее время землетрясение, произошло 10 февраля 2011 года в 12:35:17 местного времени на юге Хакасии и Красноярского края. По данным геологической службы США (USGS), эпицентр землетрясения находился в 180 км к югу от Абакана на глубине 14,5 км, магнитуда составила 5,4. Плотина СШГЭС сама по себе имеет огромный вес и меняет поле напряжений вокруг себя в первую очередь благодаря гравитационному эффекту. Давление от воды в водохранилище меняется в зависимости от паводков и различных спусков воды. Кроме того, имея арочную конструкцию, она оказывает дополнительное боковое воздействие. И, наконец, вся эта система находится под вибрационным воздействием мощных турбин и водных струй, падающих с высоты в несколько сот метров. По мнению профессора Тетельмина В.В. [1], специалиста по плотинам и эколога, куда больше землетрясений вызывают тревогу другие процессы, происходящие в земной коре. Плотина «в районе водохранилища под действием нагрузки медленно погружается в вязкое вещество подстилающей мантии... На периферии этих процессов происходит компенсационное поднятие земной коры. Приблизительные расчеты показывают, что за годы эксплуатации «стрела прогиба» толщи земной коры в районе створа плотины составляет около 30 см». К этому надо прибавить и то, что «массив кристаллических сланцев под воздействием передаваемой от плотины сдвигающей нагрузки почти в 18 млн т испытывает необратимые пластические деформации».

Заметим, что эта деформация на порядок больше чем обычно наблюдается в природе даже в тектонически активных регионах! Кроме того, это очень важная характеристика, она свидетельствует, что крупные объекты антропогенной деятельности человека становясь новой неоднородностью земной коры неизбежно входят во взаимовлияние с нею и с литосферой. Это также подтверждает наши предположения о взаимодействии новых неоднородностей земной коры Казахстана - глубоких шахт - с сейсмотектоническим полем напряжений литосферы, сделанные нами в работах о взрывной эмиссии метана [2, 3]. Мы можем заключить, что плотина СШГЭС является такой же яркой неоднородностью в поле напряжений литосферы как и глубокие шахты и соответственно она концентрирует поле напряжений в своей окрестности, что вызывает, по крайней мере, множество мелких землетрясений. Но, по всей видимости, она еще и меняет региональное поле напряжений. Проверим это на эксперименте.

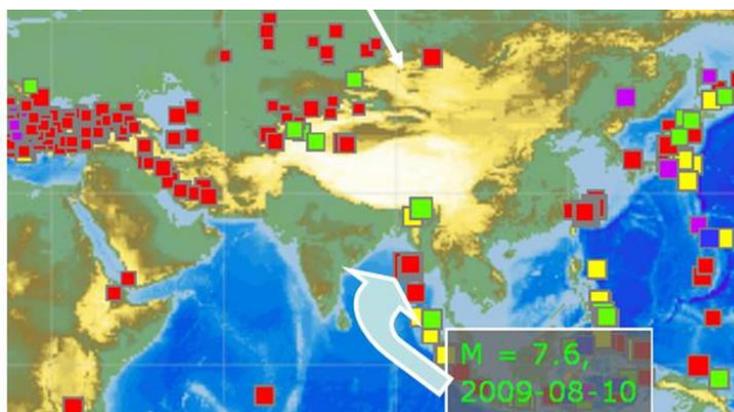


Рис.1. Карта эпицентров за период с 1 по 17 августа по данным EMSC к моменту аварии Саяно-Шушенской ГЭС. Белой стрелкой показано местоположение СШГЭС с фотографией фронтальной части плотины ГЭС. Фигурной стрелкой показано наиболее сильное М7.6 землетрясение 10 августа 2009 года, за неделю до аварии. Размеры квадратиков пропорциональны магнитуде землетрясений (от 3 до 8), их цветом (оттенками) отражена глубина очагов землетрясений.

Карта эпицентров на рис.1. и другие были построены автором с помощью открытых баз данных Европейского Средиземноморского Сейсмологического Центра (EMSC) и/или по оперативным картам эпицентров консорциума IRIS (США). Можно отметить высокую активность как в азиатской, так и европейской части, хотя речь идет всего лишь о периоде с 1 по 17 августа 2009 года. Обычно, общий уровень активности ниже в несколько раз.

Еще более драматично, за тот же срок – две недели до аварии СШГЭС – глобальная сейсмическая ситуация выглядит по данным IRIS на рис.2. На юго-восточной окраине азиатского континента произошла целая серия землетрясений с магнитудами около 7.

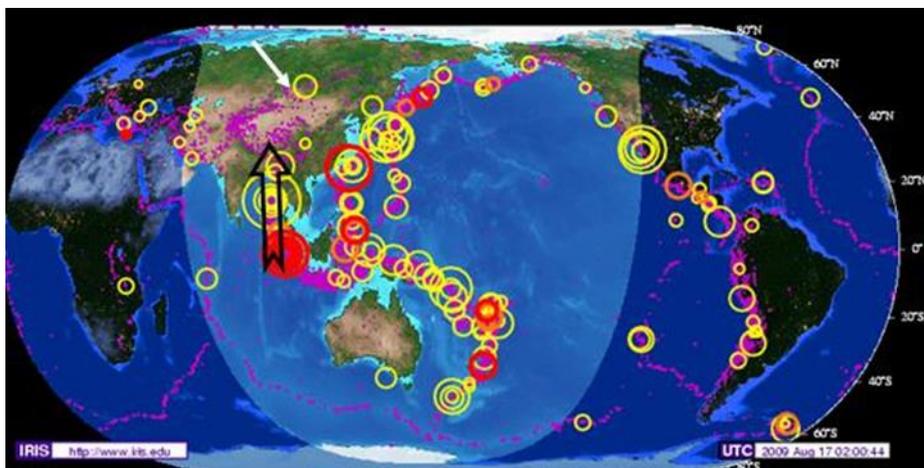


Рисунок 2. Глобальная карта эпицентров по данным IRIS (США) в день аварии СШГЭС.

Диаметры кружков каждого эпицентра пропорциональны магнитуде. Максимальное землетрясение на карте М7.6, минимальное М4.0. Цветом (оттенком) показано время возникновения землетрясения – красные за последние сутки, остальные за день и за 2 недели. Белой стрелкой показано местоположение СШГЭС. Черной стрелой показано близмеридиональное направление геодинамического процесса, вытекающее из временной последовательности землетрясений с карты на рис.3.

Миграция этой серии отражена черной стрелкой на рис.2. и она показывает близмеридианальное направление с юга на север. И как будет показано на следующих картах (рис.3,5.) она стремится к местоположению СШГЭС. И действительно, более

отчетливо эта миграция видна на карте, рис.3., где показана сейсмическая обстановка без слабых толчков - только по умеренным-сильным землетрясениям с $M \geq 5.0$ за период с 10 по 31 августа.

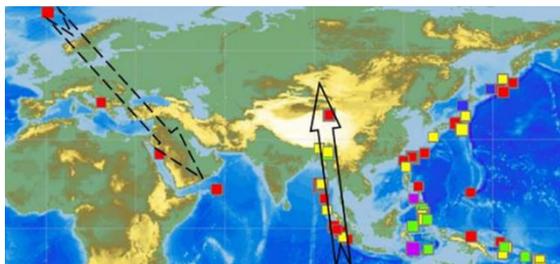


Рисунок 3. Распределение эпицентров сильных и умеренных землетрясений $M \geq 5.0$ за период с 10 по 31 августа 2009 г.

Демонстрационными стрелками показана миграции очагов сильных и умеренных землетрясений, вытекающие из временной последовательности землетрясений. Общая миграция очагов от Индонезии направлена почти по меридиану на север – сплошная стрела. Кончик стрелы указывает на местоположение СШГЭС. Показана также кажущаяся миграция от Исландии до Африканского рога пунктирная стрела. По данным EMSC.

Большими демонстрационными стрелами показана миграция очагов умеренных и сильных землетрясений с $M \geq 5.0$. Первая основная миграция с района Индонезийских островов до Алтайских гор (район расположения СШГЭС) ориентирована в близмеридиональном направлении и вполне соответствует движению Индийской плиты, что согласуется с основными положениями тектоники плит. Этот путь миграции очагов умеренно-сильных землетрясений действует permanently, о чем свидетельствуют многолетние данные по глобальной и региональной сейсмичности. В частных случаях цепочек очагов могут быть непродолжительные отклонения от магистрального направления. Но показанное направление многократно доказано векторами сил, действующих в очагах землетрясений, геомагнитными полями и наконец, прямыми геодезическими замерах GPS. Назовем его условным (или демонстрационным) вектором ГДП, так как его размер и точка приложения произвольны и только направление обосновано.

Все это дает нам основание предполагать наличие естественного геодинамического процесса (ГДП), перемещающегося от периферии к центру Евразийского континента. Согласно тектонике плит медленные деформации под литосферой передаются в ее нижние слои и уже в литосфере, по-видимому, ближе к ее верхним хрупким слоям, концентрируются и приобретают линейные формы, проявляющиеся в виде цепочек землетрясений [5].

Кроме это в последнее время подмечены и обоснованы так называемые суперинтенсивные деформации [6]. Таким образом, можно предполагать, что геодинамический процесс несет с собой целый комплекс деформаций, создающих экологические угрозы как на поверхности, так в земной коре.

Еще одним проявлением ГДП является рассмотренные нами геодинамические явления, которые, кстати, хорошо видны в виде широко протяженного облака эпицентров слабых землетрясений на рис.1,4. от Урала до Алтая примерно на широте СШГЭС. Мы подробно рассматривали это в разделе о взрывной эмиссии метана в угольных бассейнах [2, 3]. Нами был сделан вывод, что в основном такая эмиссия возникает в результате давления на Евразийскую плиту со стороны Тихоокеанской и Индийской плит.

Интересно отражение еще одного предполагаемого нами условного ГДП от Исландии через всю Европу и Аравийскую плиту до Африканского рога, показанное на рис.3. фигурной стрелой с пунктирной линией. Основанием для этого послужили времена

возникновения этих четырех относительно сильных для Европы землетрясений с магнитудами около 5. Причем отметим, что первое землетрясение (в Исландии) имело магнитуду 6.0, что является несчастным явлением и свидетельствует о большой активности Срединно-Атлантического хребта в этот период времени.

В целом, получается, что Евразийская плита подвергалась в августе 2009 г. сжатию со всех сторон. Важно также отметить, что все эти воздействия иногда проявляются в земной коре в виде экологических бедствий. Например, на Карагандинском угольном бассейне они проявляются в виде выбросов метана на угольных шахтах [2, 3]. В данном рассматриваемом случае, по нашему мнению, они способствовали разрушению СШГЭС. То есть большие антропогенные объекты, иногда вызывают собственные разрушения через механизм концентрации тектонических напряжений, действующих в литосфере.

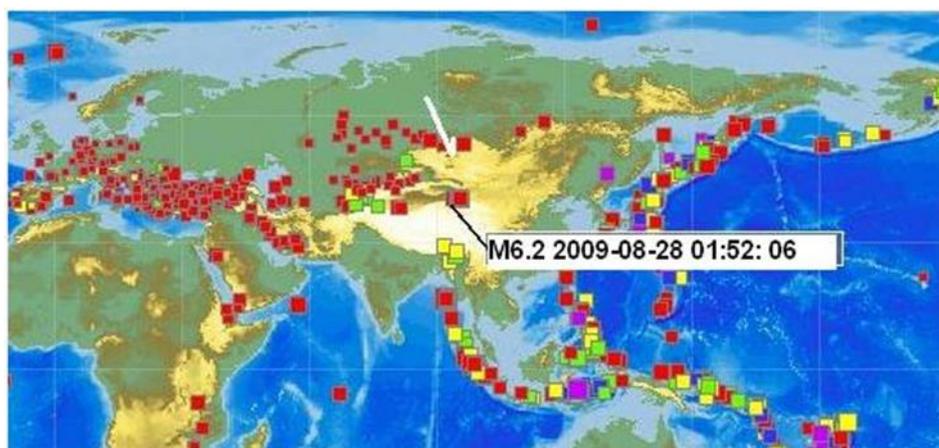


Рисунок 4. Карта эпицентров всех зарегистрированных сейсмических событий за август 2009 г.

Полосы эпицентров свидетельствуют об активной реакции литосферы на геодинамические воздействия. Белой стрелкой показано местоположение С-Ш ГЭС. Отмечено также ближайшее к СШГЭС сильное землетрясение 28 августа 2009 года магнитудой 6.2., произошедшее уже после аварии. Видимо, ГДП продолжался и после аварии.

Мы не можем утверждать, что конкретно некое землетрясение способствовало разрушению СШГЭС 17 августа 2009 года – такого землетрясения не было. Детальные сведения по данным казахстанской сейсмической сети Центра данных ИГИ НЯЦ РК свидетельствуют о повышении уровня местной (слабой) сейсмичности в районе СШГЭС в период аварии и приведены на рис.5. Условные вектор ГДП выделенный нами на рис.3. перенесем на карту эпицентров в более крупном масштабе, где показаны карты эпицентров слабых землетрясений по данным Центра Данных ИГИ НЯЦ РК, рис.5. Видно, что направление ГДП сохраняется и для слабых землетрясений непосредственно перед аварией. Хотя район СШГЭС (звездочка на карте) находится уже на краю чувствительности казахстанской сейсмической сети, тем не менее эти и другие данные подтверждают, что сильного землетрясения вблизи СШГЭС не было.

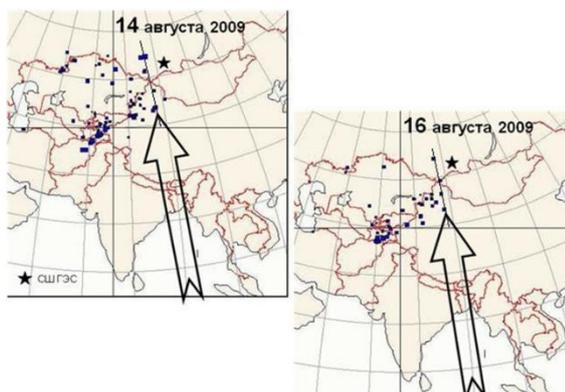


Рисунок 5. Карта эпицентров слабых землетрясений за 14 и 16 августа 2009 г. по данным Казахстанского Национального Центра Данных ИГИ НЯЦ РК.

Черные квадратики – эпицентры землетрясений, размер которых пропорционален магнитуде в диапазоне от ≤ 1 до 5. Звездочка – место Саяно-Шушенской ГЭС. Большая стрела – условный ГДП, тонкая линия – его продолжение в поле эпицентров слабых землетрясений.

Важно отметить, что наш условный вектор, подмеченный на уровне умеренных и сильных землетрясений $M > 5.0$, находит подтверждение и на уровне слабых землетрясений $M = 1 - 5$. Действительно, на рис.5. видно, что условный вектор ГДП имеет продолжение (показано тонкой линией) в виде цепочки эпицентров слабых землетрясений. Эта линия проходит западнее СШГЭС на расстоянии примерно 400 км. Мы предполагаем, что основная деформация земной коры имела место на этой линии и только относительно небольшая ее часть достигла района плотины.

Таким образом, наше предположение о ГДП подтверждается в очень широком энергетическом диапазоне магнитуд землетрясений и согласуется по времени. Время жизни ГДП в данном случае занимает примерно 1 месяц при охвате площади литосферы примерно 5×5 тысяч км.

Важно, с нашей точки зрения, отметить собственно геодинамические процессы, так как только они обладают энергией достаточной для разрушения подобных грандиозных объектов. Эта энергия не обязательно проявляется в виде землетрясений. Прежде всего, это медленные деформации. Например, в сейсмологии давно известен эффект наклонов земной поверхности перед сильными землетрясениями. Также часто наблюдались медленные деформации в виде сжатия и растяжений. Наконец, отмечены так называемые суперинтенсивные деформации в зонах разломов, на самих разломах, даже в сейсмически неактивных районах. Они достигают значений первых сантиметров за очень короткие промежутки времени. То есть могут иметь место разнообразные медленные деформации литосферы. И здесь очень важны данные, приведенные исследователем этой аварии - профессором В.В Тетельминым, о наблюдающемся суммарном прогибе земной коры под СШГЭС величиной 30 сантиметров [1]. То есть можно с большой уверенностью предполагать наличие аномального наклона земной коры и считать местоположение СШГЭС новым (антропогенным) концентратором напряжений земной коры в масштабах региона Азии.

Будучи таковым концентратором СШГЭС привлекала и будет привлекать литосферные тектонические напряжения, о чем свидетельствуют многочисленные землетрясения. Возможно, что к 17 августа 2009 г. деформации и наклоны земной коры превысили допустимые нормы этих величин для генераторов ГЭС, которые отличаются строгими требованиями.

В первом приближении можно полагать, что в первой половине августа деформация условного ГДП была больше (ближайшее сильное землетрясение: 10 августа 2009 года $M7.6$, рис.1.), чем после аварии, когда произошло ближайшее сильное

землетрясений 28 августа всего лишь М6.2., рис.4. Все это наводит на мысль, что в августе земная кора в районе СШГЭС испытала существенную деформацию, которая, видимо, имела медленный характер и к 17 августа она достигла максимума, а затем постепенно уменьшилась. Например, можно предположить, что это были медленные наклоны, которые 17 числа достигли максимума вследствие чего основания, жестко закрепленные на фундаменте тела плотины, отошли от гироскопически стабильных осей вращающихся генераторов СШГЭС на недопустимо большую величину чем технический допуск, что, по мнению гидроэнергетиков этой ГЭС, и привело к массовым разрушениям. Однако, данное предположение, конечно, нуждается в дополнительной технической аргументации и расчётах.

В любом случае, очевидна синхронность во времени и пространстве собственно аварии СШГЭС и геодинамического процесса, выявленного нами по данным о сейсмичности.

Заключение. В данной работе мы показали на примере аварии СШГЭС, что глобальные геодинамические процессы проявили себя как внешние эндогенные угрозы. В то же время, рассматривая эти глобальные процессы, мы наметили пути их мониторинга через простой и быстрый анализ геодинамических процессов. В целом, мы стремились показать, что только привлечение новых научных подходов и эффективных методов способно принести ясность в понимание причин экологических угроз. Также наш подход открывает возможности предупреждения внешних экологических угроз.

Литература

1. Тетельмин В. В. Воздействие строительства крупных гидроузлов на изостатическое состояние земной коры // Гидротехническое строительство. – 2009, № 11. _ С 46 _ 50.;
2. Тулекбаев Е.Т., Хайдаров М.С., «Сейсмоэкология подземных угольных месторождений Центрального Казахстана» в сб. Труды первой международной научно-практической конференции «Современное состояние и проблемы инженерной экологии, биотехнологии и устойчивого развития». – Алматы: КазНТУ, 2010, С. 321-326,
3. Тулекбаев Е.Т., Хайдаров М.С., Геодинамические явления и глобальная температура атмосферы Земли // «Гидрометеорология и Экология» - 2010, № 4, С. 67-76.
4. Хайдаров М.С. «Очаговые спектры землетрясений Северного Тянь-Шаня и пространственно-временные вариации угловой частоты», диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта АН СССР Москва. 1986 г., 149 с.
5. Гарагаш И.А., Хайдаров М.С. Модель развития сейсмоструктурного процесса в зоне тектонического разлома перед сильным землетрясением // Междуведомственный геофизический комитет при президиуме АН СССР, Результаты исследований по международным геофизическим проектам, В сб. Сейсмологические исследования № 11, М.: 1989. – С. 88-97.
6. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов.// М.: Наука, 1989, 199 с.

Ядгоров Ё.Х., Аминзода П.

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии
Национальной академии наук Таджикистана

**ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПРИ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ (на примере плотины Нурекской ГЭС)**

Аннотация. Одной из важнейших составляющих системы контроля за деформированным состоянием грунтовых плотин при эксплуатационных и сейсмических нагрузках является сейсмический контроль, который позволяет определить поведение плотины, её основания и бортов каньона при землетрясениях и других динамических воздействиях. Приведенные в статье результаты свидетельствуют, что цифровая система регистрации землетрясений позволяет в оперативном режиме и на более детальном уровне определять деформированное состояние плотины при происходящих сейсмических событиях.

Annotation. One of the most important components of the control system for the deformed state of earth dams under operational and seismic loads is seismic control, which allows you to determine the behavior of the dam, its base and sides of the canyon during earthquakes and other dynamic impacts. The results presented in the article indicate that the digital earthquake registration system allows in the operational mode and at a more detailed level to determine the deformed state of the dam during seismic events.

Территория Таджикистана расположена в зоне высокой сейсмической активности, в связи с чем вопросы обеспечения сейсмостойкости и надежности существующих и строящихся гидросооружений, в первую очередь их плотин, являются чрезвычайно актуальными, поскольку такие сооружения являются источниками повышенной опасности, а их разрушения могут привести к катастрофическим последствиям. Вопросы снижения риска разрушения плотин требуют обеспечения постоянного контроля за их состоянием в процессе эксплуатации. Одной из важнейших составляющих этого контроля является проведение постоянного мониторинга за поведением плотин при землетрясениях и других динамических воздействиях.

Целями проведения сейсмического мониторинга являются:

- контроль состояния сооружений при землетрясениях и предупреждение о возможном развитии в них опасных деформаций;
- накопление фактического материала о поведении сооружений, их оснований и элементов каньона при землетрясениях различной интенсивности.

Первоначально на плотине Нурекской ГЭС существовала аналоговая система сейсмического мониторинга, которая создавалась по мере возведения объекта и в полном объеме была завершена к 1981 году. Особенностью системы сейсмического мониторинга Нурекской плотины является размещение измерительных (наблюдательных) точек не только на поверхности плотины, но и в ее теле и в бортах каньона.

В 2021-2022гг. система сейсмического мониторинга за плотинной Нурекской ГЭС была модернизирована и переведена на цифровую систему регистрации, которая позволяет определять деформированное состояние плотины при землетрясениях в оперативном режиме. Цифровая система сейсмического мониторинга на плотине Нурекской ГЭС включает 12 измерительных точек, работающие в режиме «реального времени»: ИТ1 - на скальном основании в сае «Лагерный», расположенном на правом берегу; ИТ2 - в здании ГЭС; ИТ3 - в основании плотины со стороны низового откоса; ИТ4 - на левом борту склона каньона на уровне гребня плотины; ИТ5-на гребне плотины; ИТ6-на гребне плотины; ИТ7-на правом борту склона каньона на уровне гребня плотины; ИТ8 - во второй смотровой галерее на отметке 244м; ИТ9-в первой смотровой галерее на отметке 143м; ИТ10 –в бетонной пробке под ядром плотины на условной отметке 0.00; ИТ11, ИТ12- на низовом откосе(рис.1).

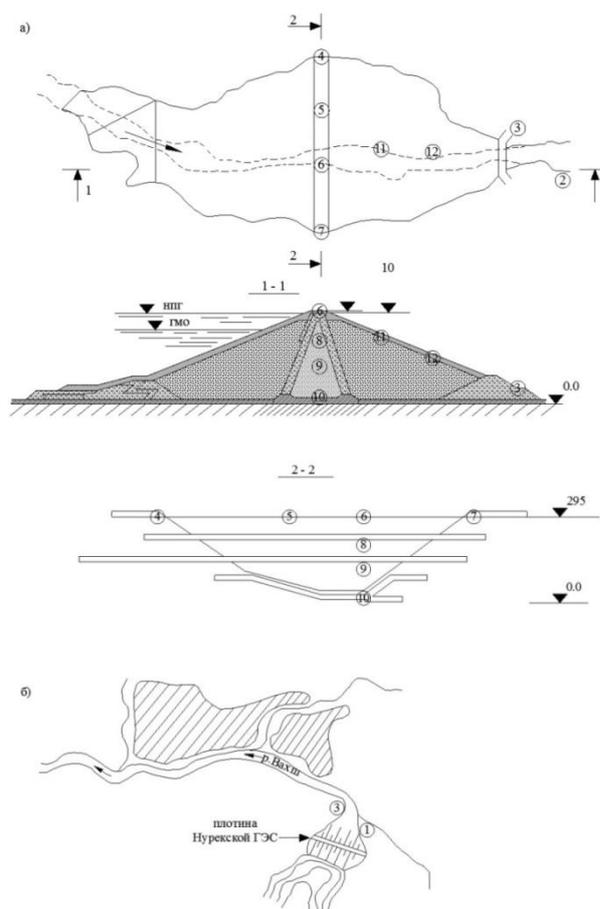


Рис. 1. Схема расположения измерительных точек системы сейсмического мониторинга плотины Нурекской ГЭС. а) на сооружении, б) за его пределами.

В каждой измерительной точке установлены 3-компонентные акселерометры производства швейцарской фирмы GeoSIG, ориентированные в следующих направлениях: X - поперек плотины (вдоль русла реки), Y - вдоль гребня плотины (поперек русла реки), Z - вертикально.

В первой половине 2023 года цифровой системой регистрации было зарегистрировано 4 ощутимых землетрясения, из них одно землетрясение интенсивностью 4 балла (табл. 1).

Таблица 1 Каталог зарегистрированных землетрясений

№ п/п	Дата з/г	Время гринвич ч.м.с.	Координаты гипоцентра		Глубина очага H, км	Класс К	Магнитуд а М	ГЭС I, балл
			$\varphi,^{\circ}$	$\lambda,^{\circ}$				
1	05.01.23г.	14.25.59	36.40	70.86	204	14.8	6.0	3
2	23.02.23г.	00.37.39	38.06	73.29	10	15.9	6.8	2
3	21.03.23г.	16.47.24	36.46	71.00	199	15.5	6.5	4
4	22.03.23г.	20.07.28	39.37	69.97	22	14.4	5.8	3

Эпицентр землетрясения 21.03.23г. магнитудой $M=6.8$ находился в Памиро-Гиндукушской зоне на расстоянии 230 км от плотины. Глубина очага землетрясения составляла 199 км. В районе Нурекской ГЭС землетрясение ощущалось интенсивностью 4 балла по шкале MSK (рис. 2).



Рисунок 2. Эпицентр землетрясения 21.03.2023г.

Записи зарегистрированных системой сейсмического мониторинга плотинакселерограмм землетрясения в основании и гребне плотины приведены на рис. 3-4.

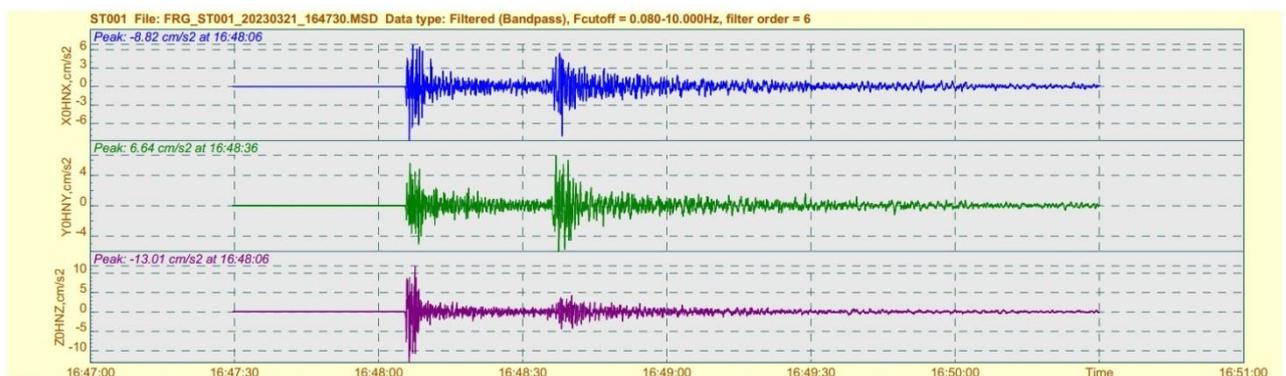


Рисунок 3. Акселерограммы землетрясения 21.03.2023г. зарегистрированная в ИТ 1 (основание плотины)

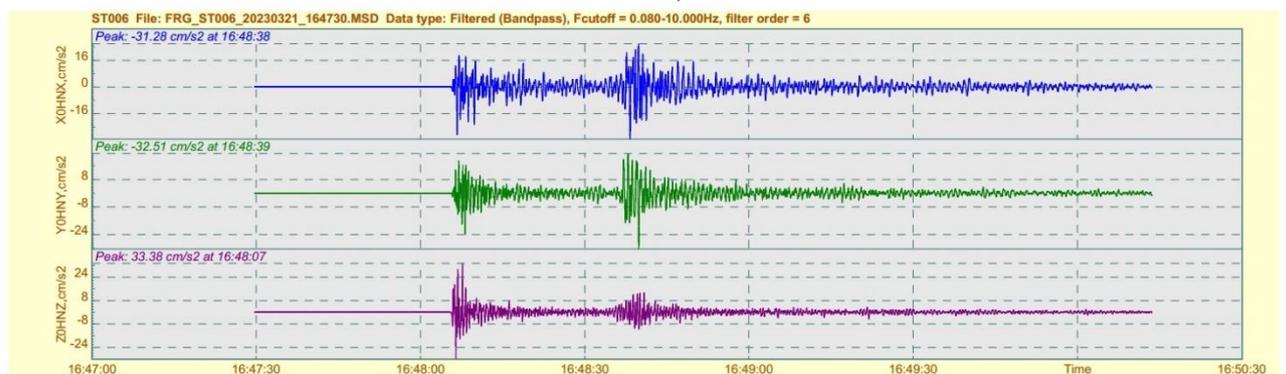


Рисунок 4. Акселерограммы землетрясения 21.03.2023г. зарегистрированная в ИТ 6 (гребень плотины)

Максимальное ускорение в основании плотины составило: по оси X $A_{max}=8.82 \text{ см/с}^2$, по оси Y $A_{max}=6.64 \text{ см/с}^2$, по оси Z $A_{max}=13.01 \text{ см/с}^2$. Максимальное ускорение на гребне плотины составило, соответственно: по оси X $A_{max}=31.28 \text{ см/с}^2$, по оси Y $A_{max}=32.51 \text{ см/с}^2$, по оси Z $A_{max}=33.38 \text{ см/с}^2$.

Согласно спектров Фурье преобладающей частотой колебаний в основании плотины по оси X являлась частота $f=1.17 \text{ Гц}$, амплитуда при которой составила

$A_x=0.3047\text{см/с}^2$. Соответственно по оси У преобладающей частотой являлась частота $f=0.78$ Гц, при которой $A_y=0.2802\text{ см/с}^2$ и по оси Z частота $f=5,27$ Гц, при которой $A_z=0.1996\text{см/с}^2$.

На гребне плотины по оси X преобладающей частотой колебаний являлась частота $f=0.98$ Гц, при которой амплитуда составила $A_x=2.358\text{ см/с}^2$, по У преобладающей частотой являлась частота $f=1.17$ Гц, при которой $A_y=1.912\text{ см/с}^2$, и по оси Z частота $f=1.56$ Гц с $A_z=0.9875\text{см/с}^2$ (рис. 5-6).

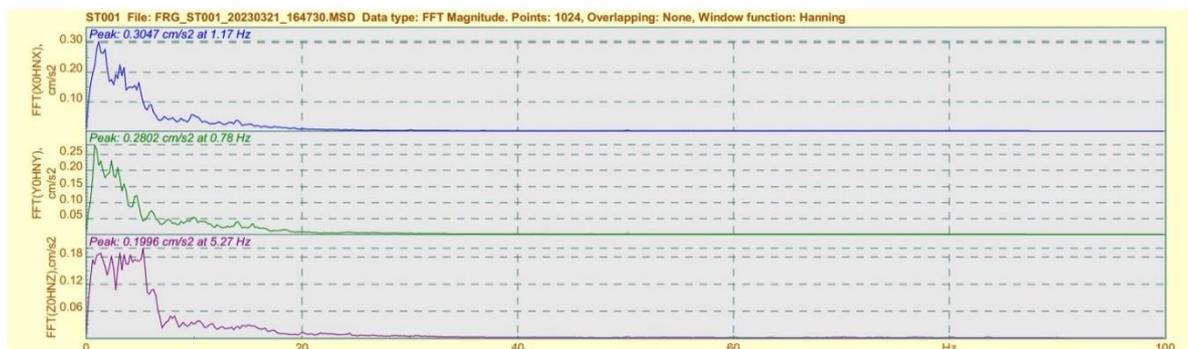


Рисунок 5. Спектры Фурье акселерограмм землетрясения 21.03.2023г., зарегистрированных в основании плотины

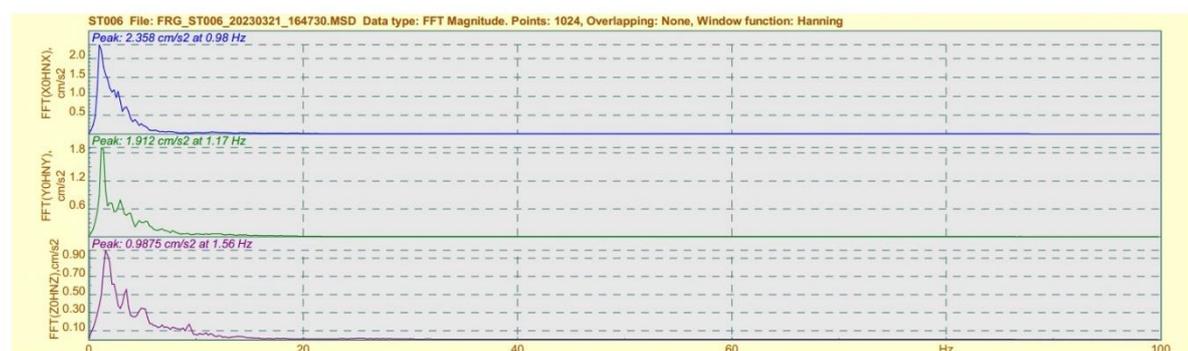


Рисунок 6. Спектры Фурье акселерограмм землетрясения 21.03.2023г., зарегистрированных на гребне плотины

По зарегистрированным акселерограммам с применением программы GeoDAS построены записи расчетных скоростей (рис. 7-8) и смещений (рис. 9-10).

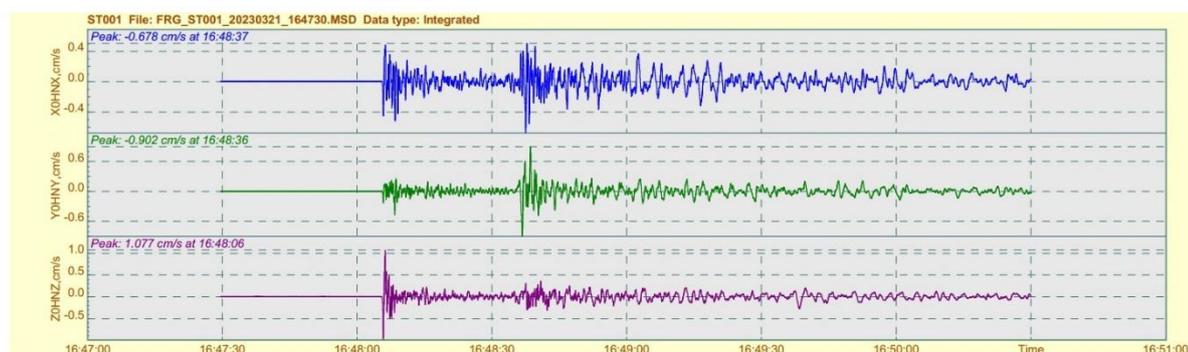


Рисунок 7. Расчетные велосиграмы землетрясения 21.03.2023г. в основании плотины

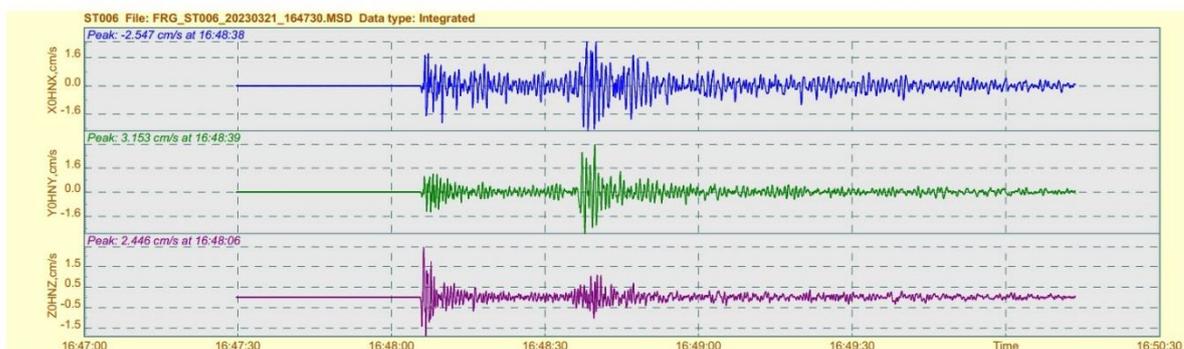


Рисунок 8. Расчетные велосиграммы землетрясения 21.03.2023г. на гребне плотины

Максимальная расчетная скорость в основании плотины по оси X составила $A_{max}=0.678$ см/с, по оси Y $A_{max}=0.902$ см/с, по оси Z $A_{max}=1.077$ см/с.

Максимальная расчетная скорость на гребне плотины, соответственно, составила $A_{xmax}=2.547$ см/с, $A_{ymax}=3.153$ см/с, $A_{zmax}=2.446$ см/с.

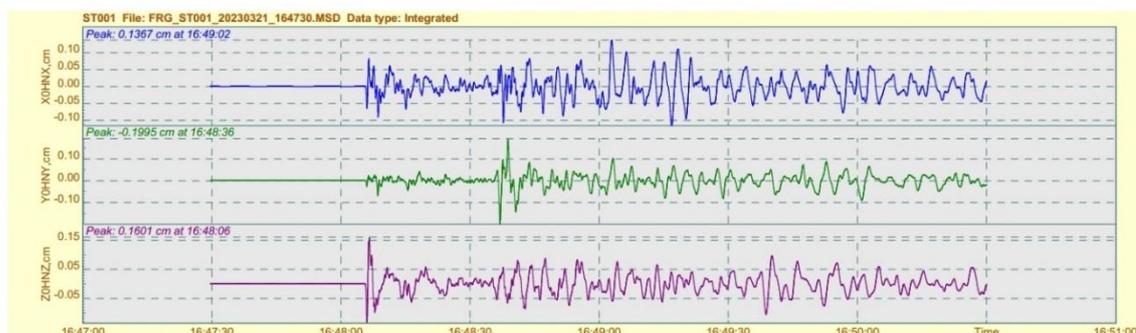


Рисунок 9. Расчетная сейсмограмма землетрясения 21.03.2023г. ИТ 1 в основании плотины

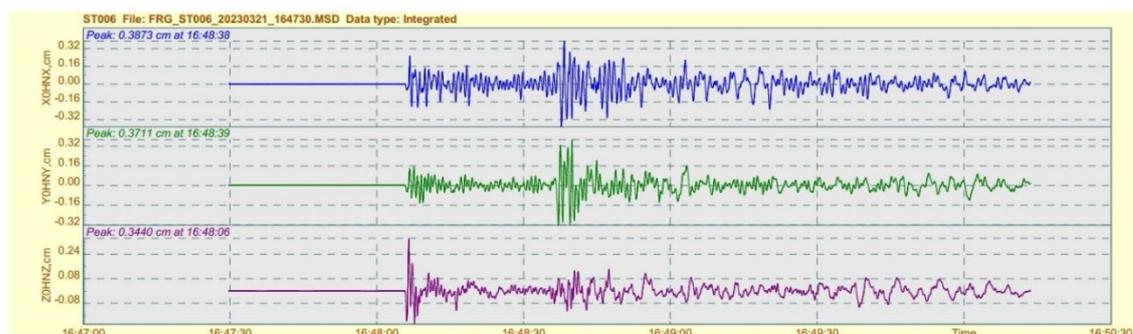


Рисунок 10. Расчетная сейсмограмма землетрясения 21.03.2023г. ИТ 6 на гребне плотины

Максимальное расчетное смещение в основании плотины составило по оси X $A_{max}=0.1367$ см, по Y $A_{max}=0.1995$ см, по Z $A_{max}=0.1601$ см. Соответственно, максимальное расчетное смещение на гребне плотины составило $A_{xmax}=0.3873$ см, $A_{ymax}=0.3711$ см и $A_{zmax}=0.3440$ см.

Выводы

1. Цифровой системой сейсмического мониторинга Нурекской ГЭС в первом полугодии 2023 года было зарегистрировано 4 землетрясения с магнитудой $M=5.8 \div 6.8$, из которых землетрясение 21.03.2023г. с магнитудой $M=6.8$ ощущалось в районе Нурекской ГЭС интенсивностью 4 балла по сейсмической шкале MSK.

2. Согласно зарегистрированных записей, землетрясение 21.03.2023г. состояло из имевших место друг за другом толчков примерно равной силы с интервалом по времени 30с. Максимальные ускорения при этом землетрясении в основании, плотины составили по оси X $A_{max}=8.82 \text{ см/с}^2$ в 16:48:06 часов, по оси Y $A_{max}=6.64 \text{ см/с}^2$ в 16:48:36 часов и по оси Z $A_{max}=13.07 \text{ см/с}^2$ в 16:48:06 часов. Соответственно, на гребне плотины максимальные ускорений составили по оси X $A_{max}=31.28 \text{ см/с}^2$ в 16:48:38 часов, по оси Y $A_{max}=32.51 \text{ см/с}^2$ в 16:48:39 часов и по оси Z $A_{max}=33.38 \text{ см/с}^2$ в 16:48:07 часов.

3. Преобладающие колебания плотины на гребне плотины происходили по оси X на частоте $f=0.98 \text{ Гц}$, по оси Y на частоте $f=1.17 \text{ Гц}$ и по оси Z на частоте $f=1.56 \text{ Гц}$, амплитуды по которым составили, соответственно, $A_x=2.358 \text{ см/с}^2$, $A_y=1.912 \text{ см/с}^2$ и $A_z=0.9875 \text{ см/с}^2$

4. Цифровая система регистрации землетрясений позволяет в оперативном режиме и на более детальном уровне определять деформированное состояние плотины при происходящих сейсмических событиях.