

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

SEISMOLOGIYA MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

PROBLEMS SEISMOLOGY

№ 1

ТОМ 5

2023

Jurnal 2019-yildan yiliga ikki marta nashr etiladi

Журнал издается с 2019 года по два номера в год

The magazine has been published since 2019 for two issues per year

Toshkent 2023

TAHRIR XAY'ATI

Tahrir kengashi raisi:

Rafikov Vaxob
Asomovich,
g.f.d.

Bosh muharrir o'rinbosari:

Ismailov Vaxitxan Alixanovich
g.-m.f.d., prof.

Bosh muharrir:

Abdullabekov Kaxarboy
Nosirbekovich
f.-m.f.d., akad.

Mas'ul kotib:

Nurmatov Ulfat Amanovich,
f.-m.f.n.

Tahrir hay'ati a'zolari:

Abdraxmatov Kanatbek Yermekovich, g.-m.f.d., prof. (Qirg'iziston); **Abdullabekov Kaxarboy Nasirbekovich**, f.-m.f.d., akad. (O'zbekiston); **Akbarov Xabibulla Asatovich**, g.-m.f.d., akad. (O'zbekiston); **Pulod Aminzoda**, t.f.d. (Tojikiston); **Atabaev Dilshod Xusainbaevich**, g.-m.f.d., dos. (O'zbekiston); **Etirmishli Gurban Djalal o'g'li**, g.-m.f.d., Ozarbayjon Milliy fanlar akademiyasi muxbir-a'zosi (Ozarbayjon); **Ibragimov Alisher Xaydarovich**, f.-m.f.n. (O'zbekiston); **Ibragimova Tatyana Lyudvigovna**, f.-m.f.d. (O'zbekiston); **Ismailov Vaxitxan Alixanovich**, g.-m.f.d., prof. (O'zbekiston); **Kevin Makkey**, (PhD) (AQSh); **Kopilova Galina Nikolaevna**, g.-m.f.d. (Rossiya); **Maksudov Sabitjan Xamidovich**, f.-m.f.d., prof. (O'zbekiston); **Mixaylova Natalya Nikolaevna**, f.-m.f.d., prof. (Qozog'iston); **Nurmatov Ulfat Amanovich**, f.-m.f.n. (O'zbekiston); **Nurtaev Baxtiev Sayfullaevich**, f.-m.f.n. (O'zbekiston); **Paul Wordsworth**, (PhD) (Buyuk Britaniya); **Radjabov Shuxrat Sayfullaevich**, g.-m.f.d., prof. (O'zbekiston); **Richard Walker**, prof. (Buyuk Britaniya); **Robert Mellors**, (AQSh); **Solovyov Anatoliy Aleksandrovich**, f.-m.f.d., chl.-korr. RAN (Rossiya); **Tuychiev Axmadjon Ismailovich**, f.-m.f.d. (O'zbekiston); **Xamidov Lutfulla Abdullaevich**, f.-m.f.d. (O'zbekiston); **Yusupov Valijon Rustamovich**, g.-m.f.f.d. (PhD) (O'zbekiston); **Yusupov Shuxrat Sakidjanovich**, g.-m.f.d. (O'zbekiston).

Jurnalda chop etilgan materiallardan foydalanilganda «Seysmologiya muammolari» ilmiy jurnalidan olindi, deb ko'rsatilishi shart. Maqolada keltirilgan dalillar va ma'lumotlar uchun mualliflar javobgar. Tahririyat taqrizdan o'tamagan maqolalarni qaytarish majburiyatini olmagan.

Jurnalning elektron shaklida joylashtirilgan barcha materillar nashr qilingan hisoblanadi va mualliflik huquqi ob'ekti sanaladi.

«Seysmologiya muammolari» ilmiy jurnali O'zbekiston Respublikasi Matbuot va axborot agentligi tomonidan 2019 yil 8 aprelda № 1013-raqam bilan ro'yxatdan o'tkazilgan.

Ta'sischi: O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Seysmologiya instituti.

Tahririyat manzili: O'zbekiston, 100128, Toshkent shahri, Shayxontoxur tumani, Zulfiyaxonim ko'chasi, 3-uy. Tel.: +998 71 241-51-70; +998 71 241-44-80. E-mail: seismologiya@mail.ru. Website: www.seismos.uz

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редакционной коллегии:

Рафилов Вахоб

Асомович,

д.г.н.

Заместитель главного редактора:

Исмаилов Вахитхан Алиханович

д.г.-м.н., проф.

Главный редактор:

Абдуллабеков Кахарбой

Носирбекович

д.ф.-м.н., акад.

Ответственный секретарь:

Нурматов Улфат Аманович,

к.ф.-м.н.

Члены редакционной коллегии:

Абдрахматов Канатбек Ермакович, д.г.-м.н., проф. (Киргизия); **Абдуллабеков Кахарбой Носирбекович**, д.ф.-м.н., акад. (Узбекистан); **Акбаров Хабибулла Асатович**, д.г.-м.н., акад. (Узбекистан); **Пулод Аминзода**, д.т.н. (Таджикистан); **Атабаев Дилшод Хусайнбаевич**, д.г.-м.н., доц. (Узбекистан); **Етирмишли Гурбан Джалал ўғли**, д.г.-м.н., член-корр. НАНА (Азербайджан); **Ибрагимов Алишер Хайдарович**, к.ф.-м.н. (Узбекистан); **Ибрагимова Татьяна Людвиговна**, д.ф.-м.н. (Узбекистан); **Исмаилов Вахитхан Алиханович**, д.г.-м.н., проф. (Узбекистан); **Кевин Маккей PhD (США)**; **Копылова Галина Николаевна**, д.г.-м.н. (Россия); **Максудов Сабитжан Хамидович**, д.ф.-м.н., проф. (Узбекистан); **Михайлова Наталья Николаевна**, д.ф.-м.н., проф. (Казахстан); **Нурматов Улфат Аманович**, к.ф.-м.н. (Узбекистан); **Нуртаев Бахтиер Сайфуллаевич**, к.ф.-м.н. (Узбекистан); **Paul Wordsworth, PhD (Великобритания)**; **Раджабов Шухрат Сайфуллаевич**, д.г.-м.н., проф. (Узбекистан); **Richard Walker, PhD, проф. (Великобритания)**; **Роберт Меллорс, PhD, проф. (США)**; **Соловьёв Анатолий Александрович**, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН (Россия); **Туйчиев Ахмаджан Исмаилович**, д.ф.-м.н. (Узбекистан); **Хамидов Лутфулла Абдуллаевич**, д.ф.-м.н. (Узбекистан); **Юсупов Валижон Рустамович, PhD (Узбекистан)**; **Юсупов Шухрат Сакиджанович**, д.г.-м.н. (Узбекистан).

При использовании материалов, опубликованных в журнале, следует указать, что они взяты из научного журнала «Проблемы сейсмологии». Авторы несут ответственность за факты и информацию, представленные в статье. Редакция не берет на себя обязательство возвращения статей, не прошедших рецензирование.

Все материалы, размещенные в электронном варианте журнала, считаются опубликованными и являются объектами авторского права.

Научный журнал «Проблемы сейсмологии» зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 8 апреля 2019 г. под номером № 1013.

Учредитель: Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан.

Адрес редакции: Узбекистан, 100128, г. Ташкент, Шайхантахурский район, ул. Зулфияханум, 3. Тел.: +99871 241-51-70; +99871 241-44-80. E-mail: seismologiya@mail.ru. Website: www.seismos.uz

EDITORIAL BOARD

Chairman of the Editorial board:

Rafikov Vahob

Asomovich,

D.Sc. in Geog.

Deputy Chief Editor:

Ismailov Vahidkhan Alikhanovich,

D.Sc. in Geol. & Min., Prof.

Editor-in-Chief:

Abdullabekov Kakhkharboy

Nosirbekovich,

D.Sc. in Phys. & Math., Acad.

Assistant Editor:

Nurmatov Ulfat Amanovich,

PhD in Phys. & Math.

Members of the Editorial Board:

Abdrakhmatov Kanatbek Ermekovich, *D.Sc. in Geol. & Min., Prof. (Kyrgyzstan)*; **Abdullabekov Kakhkharboy Nosirbekovich**, *D.Sc. in Phys. & Math., Acad. (Uzbekistan)*; **Akbarov Khabibulla Asatovich**, *D.Sc. in Geol. & Min., Acad. (Uzbekistan)*; **Pulod Aminzoda**, *D.Sc. in Geol. & Min. (Tajikistan)*; **Atabaev Dilshod Khusainbaevich**, *D.Sc. in Geol. & Min., Doc. (Uzbekistan)*; **Etirmishli Gurban Jalal ogli**, *D.Sc. in Geol. & Min. (Azerbaijan)*; **Ibragimov Alisher Khaidarovich**, *PhD in Phys. & Math. Sc. (Uzbekistan)*; **Ibragimova Tatyana Ludvigovna**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Ismailov Vakhidkhan Alikhanovich**, *D.Sc. in Geol. & Min., Prof. (Uzbekistan)*; **Kevin Mackey**, *PhD (USA)*; **Kopylova Galina Nikolaevna**, *D.Sc. in Geol. & Min. (Russia)*; **Maksudov Sabit Khamidovich**, *D.Sc. in Phys. & Math., Prof. (Uzbekistan)*; **Mikhailova Natalya Nikolaevna**, *Prof. D.Sc. in Phys. & Math. (Kazakhstan)*; **Nurmatov Ulfat Amanovich**, *PhD (Uzbekistan)*; **Nurtaev Bakhtiyor Saifullaevich**, *PhD (Uzbekistan)*; **Paul Wordsworth**, *PhD (United Kingdom)*; **Radjabov Shukhrat Saifullaevich**, *D.Sc. in Geol. & Min., (Uzbekistan)*; **Richard Walker**, *D.Sc. Prof. ((United Kingdom)*; **Robert Mellors**, *D.Sc. (USA)*; **Solovyov Anatoly Alexandrovich**, *D.Sc. in Phys. & Math., Corresponding Member RAS (Russia)*; **Tuychiev Akhmadjon Ismailovich**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Khamidov Lutfulla Abdullaevich**, *D.Sc. in Phys. & Math. (Uzbekistan)*; **Yusupov Valijon Rustamovich**, *PhD (Uzbekistan)*; **Yusupov Shukhrat Sakidjanovich**, *D.Sc. in Geol. & Min. (Uzbekistan)*.

When using materials published in the journal, it should be noted that they are taken from the scientific journal «Problems of Seismology». The authors are responsible for the evidence and information presented in the article. The Editorial Board do not undertake obligation to return articles that have not passed peer review.

All materials posted in the electronic form of the journal are considered published and protected by copyright.

The scientific journal «Problems of Seismology» is registered in the Press and Information Agency of the Republic of Uzbekistan on April 8, 2019 under the number № 1013.

Founder: Institute of Seismology of the Academy of Sciences Republic of Uzbekistan.

Editorial office address: 3, Zulfiyakhnum str., Shaykhantohur district, Tashkent, 100128, Uzbekistan, Тел.: +998 71 241-51-70; +998 71 241-44-80. E-mail: seismologiya@mail.ru. Website: www.seismos.uz

SEYSMIK XAVFNI BAHOLASH VA SEYSMIK RAYONLASHTIRISH

УДК 550.34

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА В ПОКАЗАТЕЛЯХ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ, ОСНОВАННЫЕ НА РАНЖИРОВАНИИ ЗАКОНОВ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С РАССТОЯНИЕМ

Р.С.Ибрагимов, Т.Л.Ибрагимова, М.А.Мирзаев, С.Х.Ашуров

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент
ibrroma@yandex.ru*

Аннотация. Оценки сейсмической опасности сейсмоактивных территорий в значительной степени зависят от выбора законов затухания сейсмических воздействий с расстоянием, используемых в расчетах. В практике вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) для учета эпистемических неопределенностей в характере сейсмических воздействий рекомендуется использование нескольких различных уравнений затухания. Наиболее эффективным инструментом для выбора этих уравнений является процедура ранжирования, состоящая в придании весов той или иной зависимости, по степени соответствия прогнозируемых на их основе сейсмических воздействий реальным экспериментальным данным, имеющимся для исследуемого региона. В данном исследовании ранжирование моделей затухания макросейсмической интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием, разработанных для территории Центральной Азии, проводилось двумя различными методами – LH (Sherbaum, 2004) и LLH (Sherbaum, 2009). С учетом процедуры ранжирования построена обобщенная модель затухания, и на ее основе получены вероятностные оценки сейсмической опасности территории Узбекистана в значениях балла макросейсмической шкалы MSK-64.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, законы затухания, макросейсмическая интенсивность, ранжирование моделей затухания, карты сейсмического районирования, вероятностный анализ сейсмической опасности.

Введение

Действующие в Узбекистане строительные нормы (КМК-2019) опираются на оценки сейсмической опасности в показателях макросейсмической интенсивности. 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) [Artikov et al., 2020a] была утверждена в 2019 г. Министерством строительства РУз в качестве нормативной для проведения антисейсмических мероприятий на территории республики. Эта карта составлена в рамках вероятностно-детерминистического подхода к оценке сейсмической опасности, базирующегося на теории макросейсмической и спектрально-временной сотрясаемости [Ризниченко, 1985; Ризниченко, Сейдузова, 1984]. В настоящее время оценки сейсмической опасности территории Узбекистана как в показателях макросейсмической интенсивности, так и в инженерных характеристиках сейсмических воздействий, осуществляются в рамках вероятностного подхода [Cornell, 1968; McGuire, 2004]. В [Ибрагимов и др., 2022] проведено сопоставление оценок опасности территории Узбекистана в рамках упомянутых выше подходов и показано, что первый из названных подходов не учитывает алеаторные неопределенности в характере сейсмических воздействий и, как следствие, недооценивает сейсмическую опасность. Данная статья посвящена вопросу уточнения оценок сейсмической опасности в рамках вероятностного подхода за счет выбора оптимальных для исследуемой территории законов затухания сейсмических воздействий с расстоянием.

Влияние законов затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием на оценки сейсмической опасности

Оценки сейсмической опасности сейсмоактивных территорий в значительной степени зависят от выбора законов затухания сейсмических воздействий с расстоянием, используемых в расчетах [Artikov et al., 2016; Быкова, Татевосян, 2015 и др.]. Прогнозируемый сейсмический эффект, определяемый по различным уравнениям, полученным даже по одной и той же экспериментальной базе данных, может существенно отличаться при различных формах связи, выражающей зависимость сейсмического воздействия от магнитуды землетрясения, кинематического типа подвижки в очаге, его удаленности от пункта регистрации, грунтовых условий пункта, для которого оценивается опасность. В практике вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) рекомендуется использование нескольких различных уравнений затухания сейсмических воздействий с расстоянием. Простое увеличение количества привлекаемых уравнений, если их брать с равными весами, как правило, не уменьшает эпистемическую неопределенность в прогнозе сейсмических воздействий. Наиболее эффективным инструментом в решении данной задачи является процедура ранжирования уравнений движения грунта, состоящая в придании весов тому или иному уравнению, в зависимости от степени соответствия прогнозируемых на его основе сейсмических воздействий реальным экспериментальным данным, имеющимся для исследуемого региона. В данном исследовании ранжирования моделей затухания макросейсмической интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием, разработанных для территории Центральной Азии, проводилось двумя различными методами – LH [Sherbaum, 2004] и LLH [Sherbaum, 2009]. С учетом процедуры ранжирования построена обобщенная модель затухания и на ее основе получены вероятностные оценки сейсмической опасности территории Узбекистана в значениях балла макросейсмической шкалы MSK-64.

Для оценки сейсмической опасности территории Узбекистана в значениях макросейсмической интенсивности отобраны несколько уравнений затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием. Наряду с зависимостью Н.В.Шебалина [Шебалин, 1968; Shebalin N.V., 1972], полученной по мировым данным:

$$I = 1,5M - 3,5 \lg R + 3, \quad (1)$$

рассматривались три авторские зависимости, установленные на основе анализа схем изосейст сильных землетрясений, произошедших на территории Центральной Азии [Artikov et al., 2020b]:

- зависимость типа Блейка-Шебалина:

$$I = 1,32M - 3,01 \lg R + 3,55, \sigma = 0,7; \quad (2)$$

- зависимость типа Ковеслигетти [Kovesligethy R., 1907]:

$$I = 1,33M - 2,37 \lg R - 0,00205 R + 2,24, \sigma = 0,73; \quad (3)$$

- зависимость, в которой коэффициент затухания зависит от глубины очага землетрясения [Artikov et al., 2020b]:

$$I = 1,475M - 2,646 \lg H + 1,905 - 0,498M \lg(R/H) + 1,159 \lg H \lg(R/H) - 1,401 \lg(R/H), \sigma = 0,6. \quad (4)$$

Кроме перечисленных выше уравнений, рассматривалась также зависимость D.Bindi et al. [D.Bindi et al., 2011], полученная также по макросейсмическим данным Центрально-Азиатского региона несколько ранее:

$$I = 0,898M + 1,215 - 1,809 \lg(R/H) - 0,0034(R-H), \sigma = 0,73. \quad (5)$$

Во всех приведенных выше зависимостях затухания, относящихся к макросейсмической интенсивности, в качестве расстояния R используется гипоцентрально-поверхностное расстояние R_{hyp} , а в качестве магнитуды M – магнитуда M_s .

Следует также подчеркнуть, что, хотя зависимости (5) и (2-4) получены по макросейсмическим данным практически одних и тех же землетрясений Центральной Азии (рис. 1), исходная информация для их построения была все же несколько различной. В первом случае использовались таблицы «пункты-баллы», во втором – размеры изосейст различной макросейсмической балльности при каждом землетрясении.

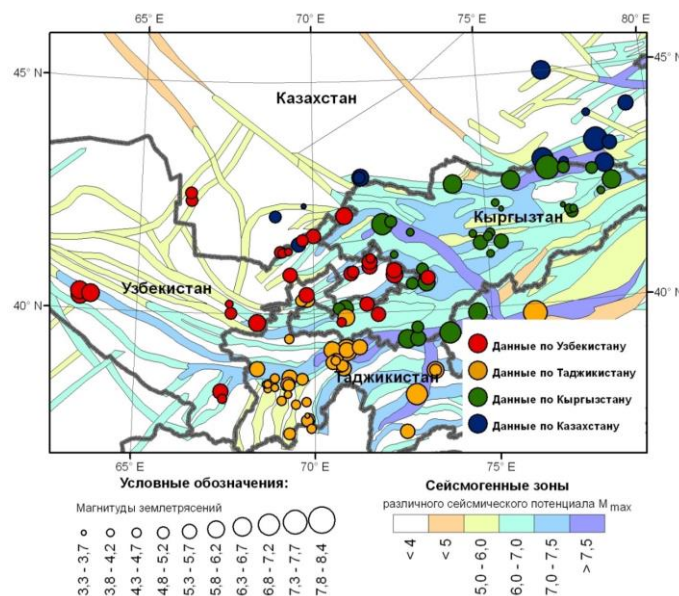


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений территории Центральной Азии, для которых имелись данные по макросейсмическому обследованию.

Fig. 1. Map of earthquakes epicenters in Central Asia, for which macroseismic survey data were available.

На рис. 2 показан характер затухания макросейсмической интенсивности с расстоянием для землетрясений с магнитудами $M = 5,0-7,0$ и глубине очага $H = 15$ км при каждой из пяти рассматриваемых зависимостей. Как следует из рисунка, для землетрясений с магнитудой $M = 6,0-7,0$ зависимость D.Bindi (5) дает существенно заниженные по сравнению с остальными значения макросейсмической интенсивности как в ближней зоне, так и на удалении от источника. Авторская же зависимость затухания в виде уравнения Блейка-Шебалина (2), напротив, отражает повышенные по сравнению с остальными значения макросейсмической балльности.

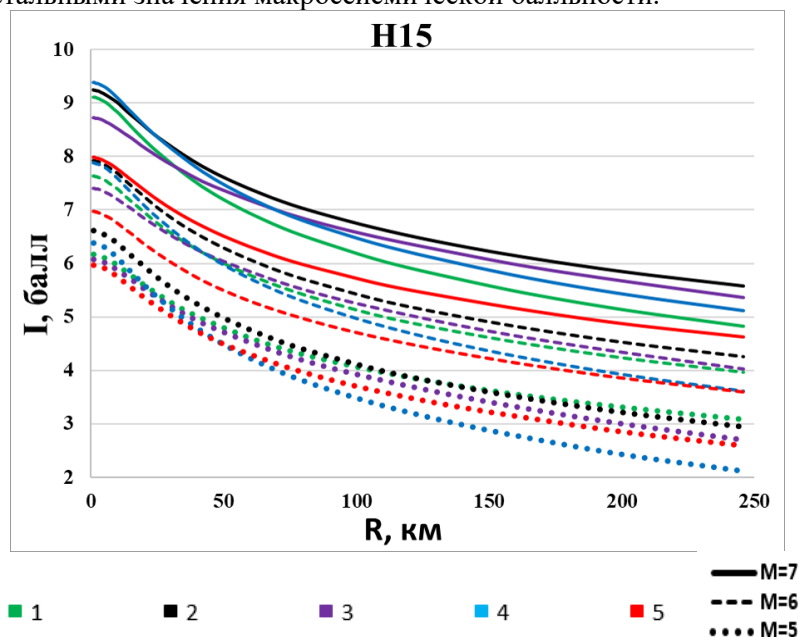


Рис. 2. Затухание интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием при землетрясениях с магнитудами $M = 5,0-7,0$ по различным зависимостям: 1 – авторская зависимость с учетом глубин; 2 – авторская зависимость типа Блейка-Шебалина; 3 – авторская зависимость типа Ковеслигети; 4 – зависимость Н.В.Шебалина, по мировым данным; 5 – зависимость Д. Бинди.

Fig. 2. Attenuation of seismic intensity with distance for earthquakes with magnitudes $M = 5,0-7,0$ according to different dependencies: 1 – author's dependence, taking into account the depths; 2 – Author's dependency of the Blake-Shebalin type; 3 – author's dependency type Kovesligeti; 4 – dependence N.V.Shebalin, according to world data; 5 – addition D.Bind.

Для иллюстрации степени влияния выбора закона затухания на результирующие оценки сейсмической опасности исследуемого региона построена серия вероятностных карт сейсмического районирования, в которых при неизменной геометрии сейсмических источников и их сейсмологической параметризации менялся лишь закон затухания. В качестве модели сейсмических источников рассматривались сейсмогенерирующие зоны территории Узбекистана [Ибрагимов и др., 2002]. Используемые методы и результаты определения сейсмического потенциала и параметров повторяемости сейсмических источников приведены в [Ибрагимов и др., 2022]. Расчеты опасности проводились с привлечением программного комплекса R-CRISIS [Ordaz et al., 2016]. На **рис. 3 и 4**, для примера, показаны карты сейсмического районирования исследуемой территории для различных вероятностей ($P = 0,9$, $P = 0,95$, $P = 0,98$ и $P = 0,99$) не

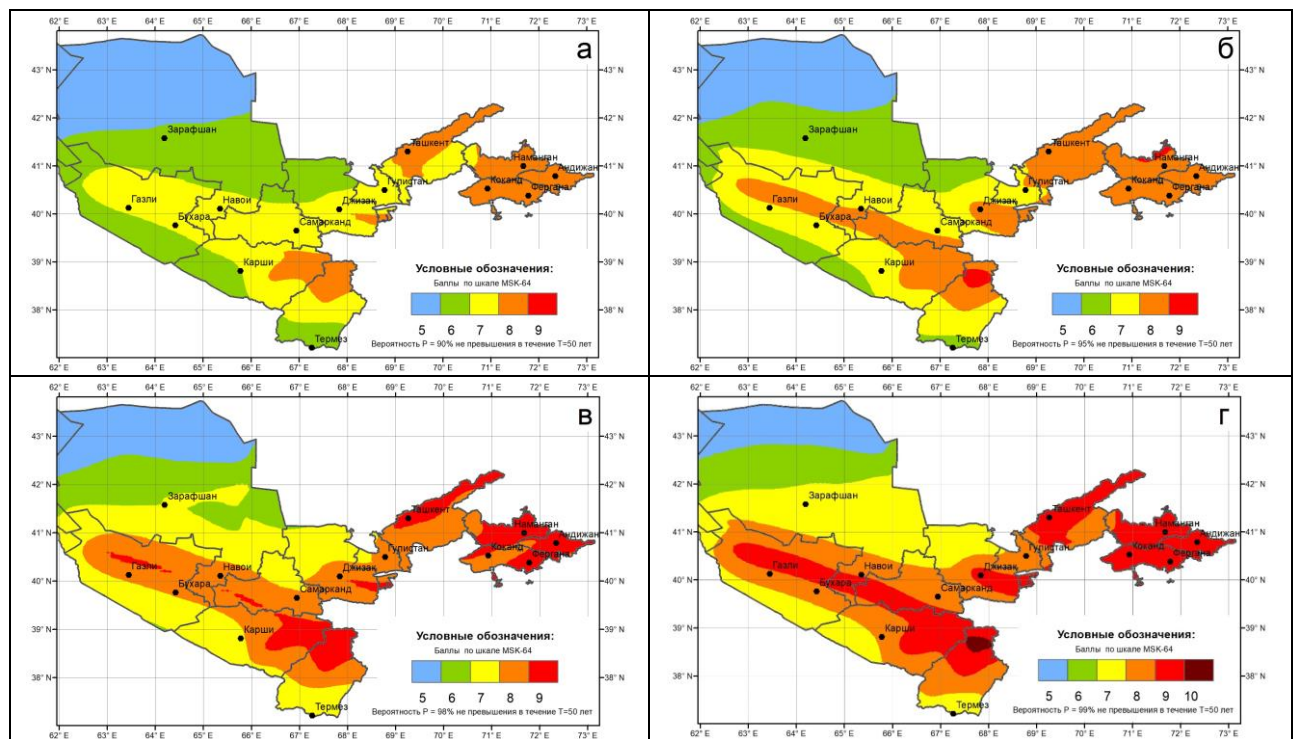


Рис. 3. Районирование сейсмической опасности территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы для различных вероятностей не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет. В качестве закона затухания принималась зависимость Н.В.Шебалина: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$.

Fig. 3. Seismic hazard zoning of the Uzbekistan's territory in points of macroseismic scale for different probabilities of not exceeding the level of seismic impacts during 50 years. Dependence of N.V.Shebalin was taken as attenuation law: a – $P = 0,90$; b – $P = 0,95$; c – $P = 0,98$; d – $P = 0,99$.

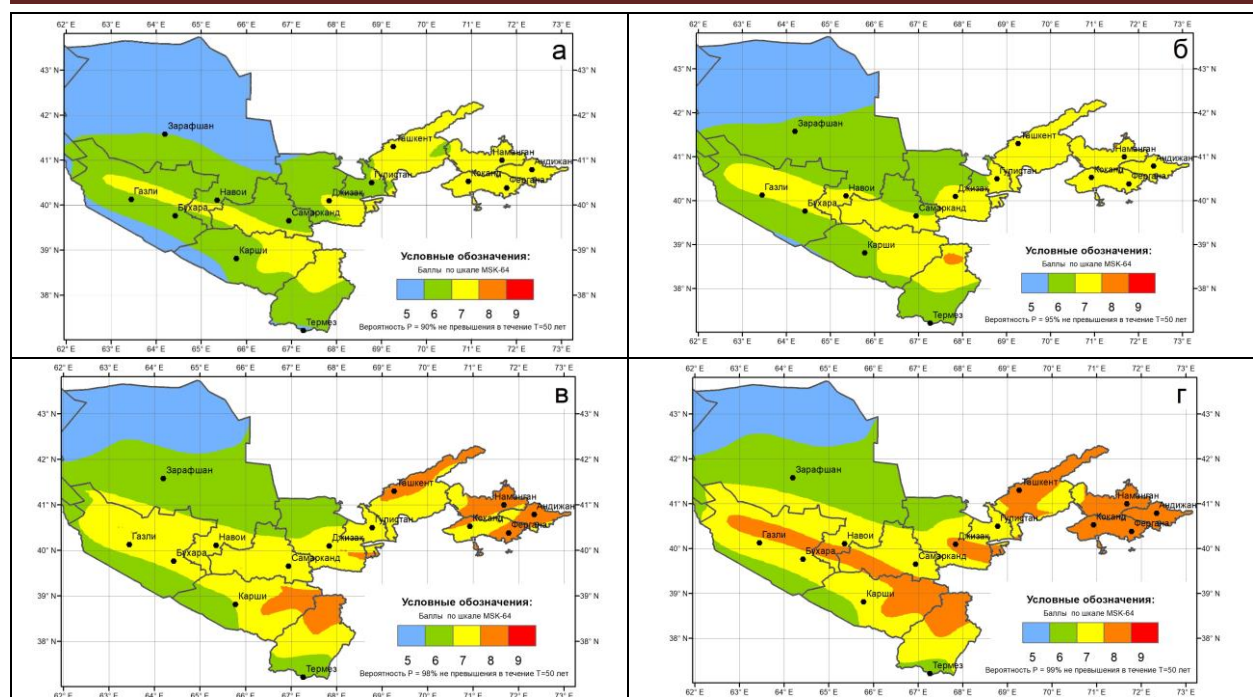


Рис. 4. Районирование сейсмической опасности территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы для различных вероятностей не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет. В качестве закона затухания принималась зависимость D.Bindi: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$.

Fig. 4. Seismic hazard zoning of the Uzbekistan's territory in points of macroseismic scale for different probabilities of not exceeding the level of seismic impacts for 50 years. D.Bindi dependence was taken as attenuation law: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$.

превышения интенсивности сейсмических воздействий в течение 50 лет, полученные при выборе в качестве закона затухания зависимостей Н.В.Шебалина [Шебалин, 1968; Shebalin N.V., 1972] (см. рис. 3) и D.Bindi et all. [D.Bindi et all., 2011] (см. рис. 4). Как следует из рисунка, при выборе в качестве закона затухания зависимости Н.В.Шебалина, оценки сейсмической опасности исследуемой территории существенно выше, чем при расчетах по зависимости D.Bindi. Сопоставление этих оценок для трех населенных пунктов Узбекистана приведено в табл. 1. Для больших вероятностей не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет различия в оценках опасности при различных законах затухания могут составлять $\Delta I = 1,3$ балла (см. г. Андижан). Это свидетельствует о том, что процедура ранжирования зависимостей затухания необходима.

Таблица 1

Сопоставление вероятностных оценок сейсмической опасности, выраженной в баллах макросейсмической шкалы, при различных законах затухания для некоторых населенных пунктов

Table 1

Comparison of probabilistic assessments of seismic hazard, expressed in points of macroseismic scale, at different attenuation laws for some settlements

	$P = 0,9$	$P = 0,95$	$P = 0,98$	$P = 0,99$
Ташкент				
Н.В.Шебалин	7,81	8,28	8,71	9,03
D.Bindi	6,98	7,34	7,66	7,91
Андижан				
Н.В. Шебалин	7,96	8,43	8,95	9,38
D.Bindi	7,07	7,41	7,80	8,09
Джизак				
Н.В.Шебалин	7,42	7,88	8,46	8,85
D.Bindi	6,71	7,04	7,47	7,74

Ранжирование моделей затухания Ранжирование методом LH

Пусть задан закон затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием для землетрясений различного энергетического уровня $I = I(M, R)$, определяющий для каждой пары (M, R) значение интенсивности сейсмического воздействия I со стандартной ошибкой σ .

Если I_{obs} – экспериментальное значение интенсивности при землетрясении с магнитудой M , зарегистрированное на расстоянии R от очага, а μ – предсказанное значение интенсивности для пары (M, R) по выбранному закону затухания $I = I(M, R)$, предметом анализа является выборка нормированных на величину σ значений централизованных разностей:

$$z = \frac{I_{obs} - \mu}{\sigma}, \quad (6)$$

которые иногда называют нормализованными невязками. В рамках подхода Sherbaum [Sherbaum, 2004] для исследования степени пригодности той или иной модели, описывающей движение грунта при землетрясениях, к региону, для которого имеется ограниченный набор экспериментальных данных, проводится сравнение частот нормализованных невязок с частотами, которые можно было бы ожидать при условии распределения этих невязок по нормальному закону с нулевым средним значением и единичной дисперсией. Оценивается вероятность того, что абсолютное значение случайной выборки из нормализованного распределения попадет в интервал между модулем конкретного наблюдения z_0 и ∞ .

Для положительного значения z_0 это будет:

$$u(z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_0}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (7)$$

$u(z_0)$ может быть выражено как:

$$u(z_0) = \frac{1}{2} \operatorname{Erf}\left(\frac{z_0}{\sqrt{2}}, \infty\right), \quad (8)$$

где $\operatorname{Erf}(z)$ – интеграл ошибок $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$.

Рассматривая оба хвоста распределения, параметр LH по отношению к наблюдению, z_0 определяется как:

$$LH|z_0| = 2u(|z_0|) = \operatorname{Erf}\left(\frac{z_0}{\sqrt{2}}, \infty\right). \quad (9)$$

В совокупности со статистическими свойствами выборки нормализованных невязок Z (среднее, медиана, величина среднеквадратического отклонения) статистические характеристики распределения величины LH позволяют судить о степени соответствия различных моделей движения грунта заданному набору экспериментальных данных [Sherbaum, 2004]. Отклонение среднего и медианы нормализованных невязок от нуля, а также отклонение стандартного отклонения от единицы помогают выявить слабые модели. Большие различия между средним значением и медианой нормализованных невязок должны помочь выявить модели, для которых распределение остатков перекошено.

В рамках подхода Sherbaum [Sherbaum, 2004] проводится следующая классификация моделей уравнений движения грунта (GMPE), рассматриваемых в качестве кандидатов, по степени применимости к исследуемому региону.

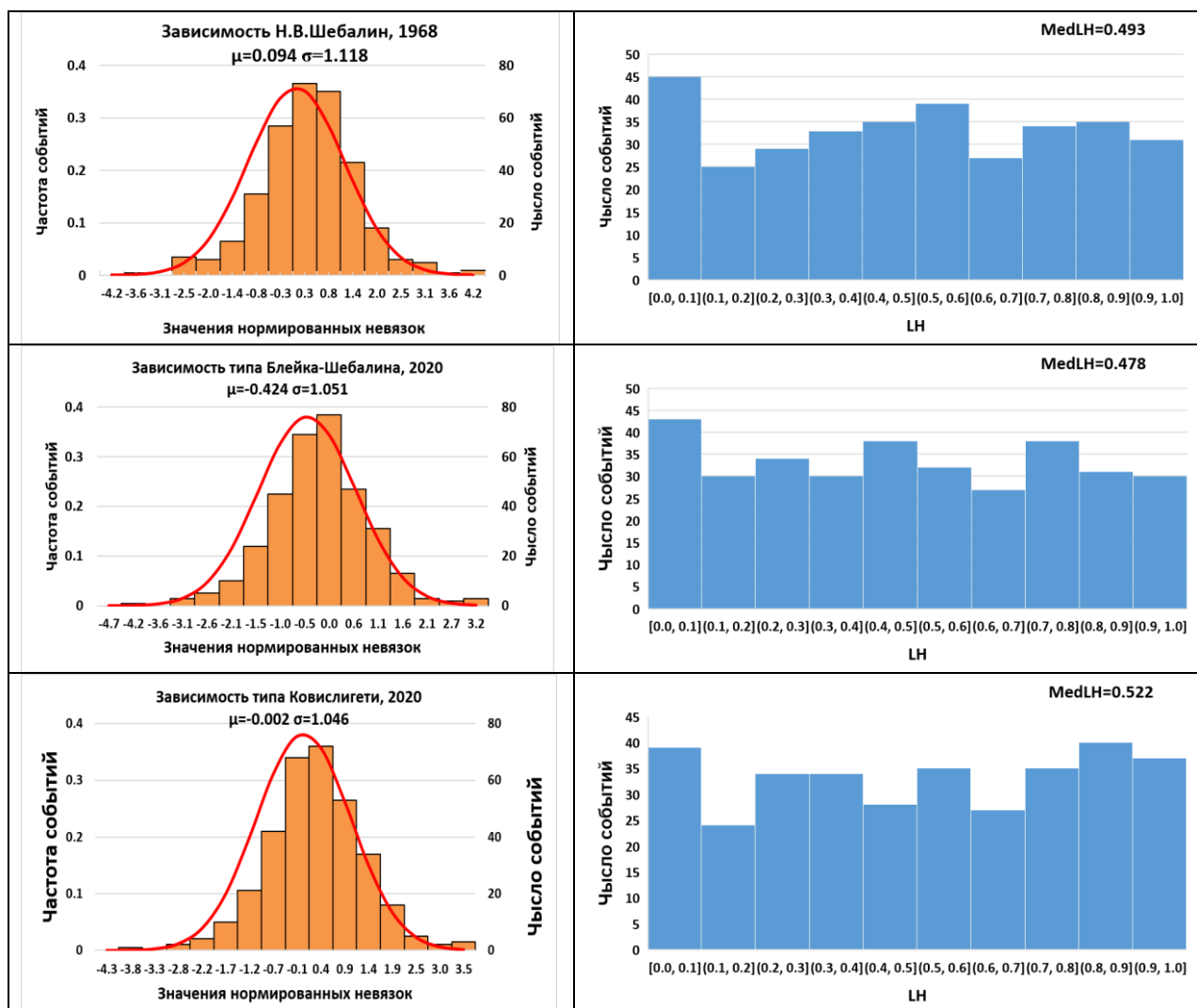
Модель класса А (модель, наилучшим образом соответствующая экспериментальным данным) характеризуется минимальным значением медианы LH = 0,4 и абсолютным значением среднего и медианы нормализованных невязок 0,25. Стандартное отклонение выборки нормализованных невязок должно быть менее 1,125.

Модель класса В (приемлемая модель) характеризуется минимальным значением медианы LH = 0,3 и абсолютным значением среднего и медианы нормализованных невязок менее 0,5. Стандартное отклонение выборки нормализованных невязок должно быть менее 1,25.

Модель класса С (минимально приемлемая модель) характеризуется минимальным значением медианы $LH = 0,2$ и абсолютным значением среднего и медианы нормализованных невязок менее 0,75. Стандартное отклонение выборки нормализованных невязок должно быть менее 1,5.

Если модель не удовлетворяет ни одному из приведенных выше критериев, то она признается неудовлетворительной – класс D.

На рис. 5 показано распределение нормализованных невязок и величины LH для пяти рассматриваемых законов затухания, а в табл. 2 приведены результаты ранжирования тестируемых моделей. Как видно из таблицы, наиболее приемлемыми для исследуемого региона являются модель Н.В.Шебалина [Шебалин, 1968] и две авторские модели: типа Ковеслигети [Artikov et all., 2020] и зависимость, полученная с учетом коэффициента затухания от глубин происходящих землетрясений. Авторская зависимость типа Блейка-Шебалина по классификации Sherbaum [Sherbaum, 2004] отнесена к рангу В, что связано, в первую очередь, со смещением влево от нуля значений среднего и медианы нормализованных невязок, что свидетельствует о систематическом завышении прогнозируемого



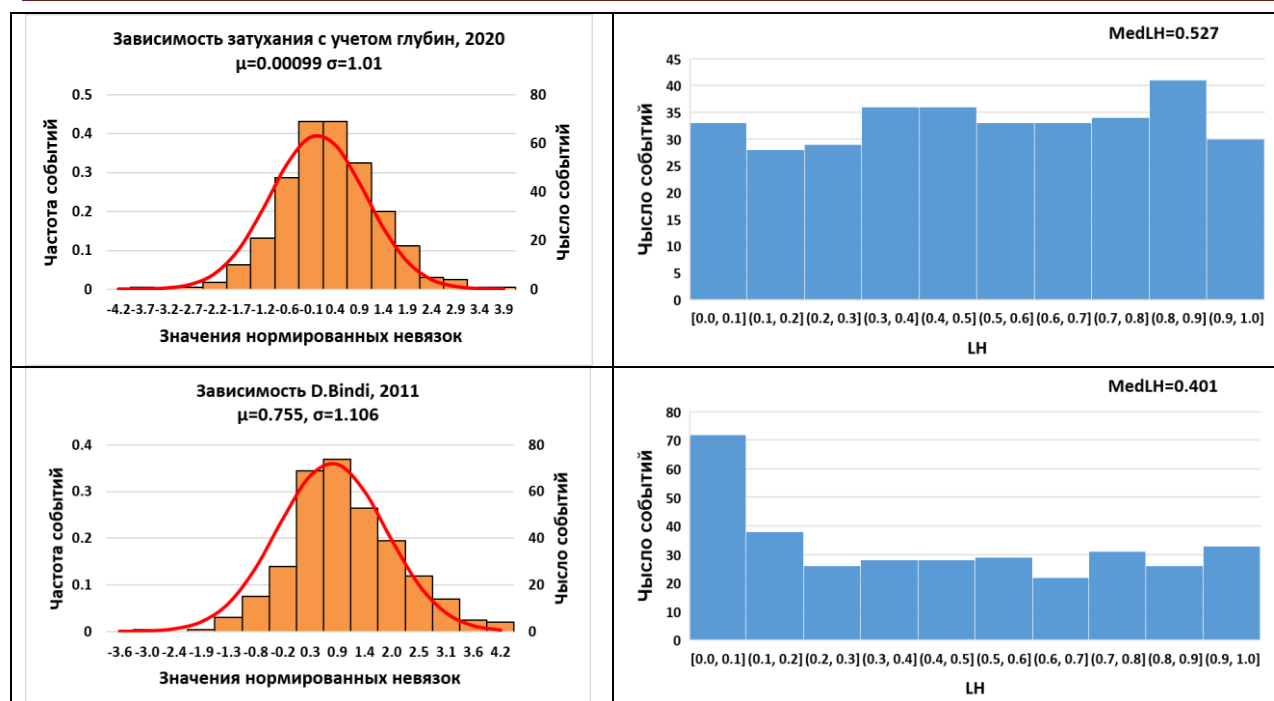


Рис. 5. Распределение нормализованных невязок Z (левая колонка) и величины LH (правая колонка) для пяти рассматриваемых законов затухания.

Fig. 5. Distribution of the normalized residuals Z (left column) and LH values (right column) for the five attenuation laws considered.

макросейсмического эффекта. По этой же причине, но уже в связи с систематическим занижением прогнозируемого эффекта, худшие показатели дает зависимость D.Bindi (Bindi et al., 2011]. По классификации Sherbaum [Sherbaum, 2004], эта модель относится к рангу D, и ее использование при оценке сейсмической опасности изучаемой территории не рекомендовано.

Таблица 2

Ранжирование моделей затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием методом LH

Table 2

Ranking of seismic intensity attenuation models with distance by LH method

Модель затухания	LH (медиана)	Z (медиана)	Z (среднее)	Z (стандартное отклонение)	Ранг модели
Н.В.Шебалин, 1968	0,493	0,129	0,094	1,118	A
Авторская, типа Блейка-Шебалина	0,477	-0,410	-0,425	1,05	B
Авторская, типа Ковеслигети	0,522	0,012	-0,002	1,046	A
Авторская, с учетом глубин	0,527	-0,014	0,001	1,01	A
D.Bindi, 2011	0,401	0,669	0,755	1,106	D

Основываясь на критерии ранжирования методом LH, для построения гибридной зависимости затухания мы включили с равными весами зависимости (1) - (5), поскольку каждая из них положительно прошла тест при ранжировании. Комплекс вероятностных карт сейсмического районирования территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы при законах затухания, полученных ранжированием методом LH, приведен на **рис. 6**. В качестве моделей сейсмических источников при построении данных карт рассматривались площадные источники и сейсмогенери-

рующие зоны, отражающие соответственно рассеянную и сосредоточенную часть сейсмического процесса. Их геометрическая конфигурация и методы сейсмологической параметризации детально изложены в [Ибрагимов и др., 2022].

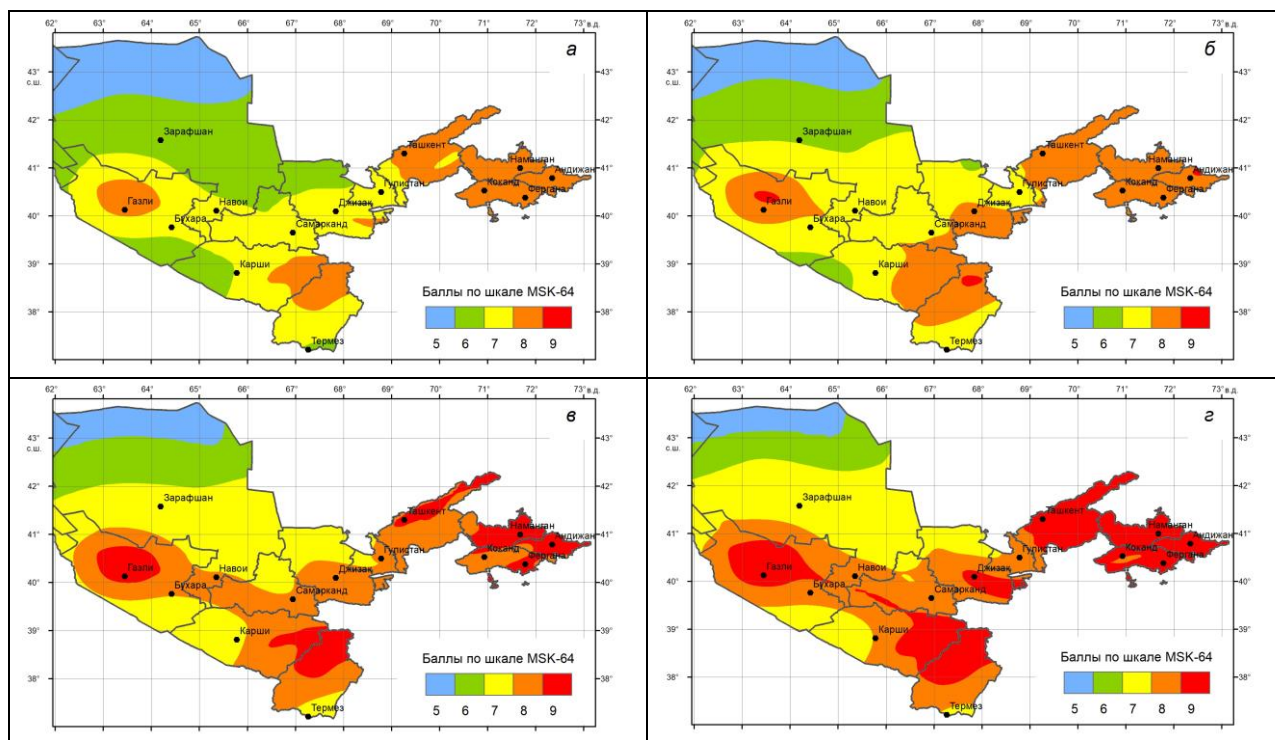


Рис. 6. Вероятностное районирование территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы: а – $P = 0,90$;

б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$. В качестве законов затухания принимались с равными весами зависимости класса А и В по процедуре ранжирования LH.

Fig. 6. Probabilistic zoning of Uzbekistan territory in points of macroseismic scale: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$. Dependencies of A and B class according to LH ranking procedure were taken as attenuation laws with equal weights.

Ранжирование моделей затухания методом LLH

По мнению самих же разработчиков метода, существенным недостатком LH подхода ранжирования уравнений движения грунта является необходимость привлечения при его использовании субъективных критериев, например, порога приемлемости [Sherbaum, 2009]. Кроме того, результаты ранжирования уравнений движения грунта методом LH зависят от объема выборки, что также является его недостатком. В [Sherbaum, 2009] предлагается использовать более общий подход, основанный на теории информации, который свободен от перечисленных недостатков.

Количественное решение о выборе между различными кандидатами требует значимую меру для ранжирования различных вероятностных моделей. В рамках теории информации эта мера дается расстоянием Кулбака-Лейблера (Kullback-Leibler) [Delavaud et al., 2009]. Расстояние Кулбака-Лейблера между двумя моделями f и g может быть представлено в виде:

$$D(f, g) = E_f(\log_2(f)) - E_f(\log_2(g)), \quad (10)$$

где E_f – ожидаемое значение, принимаемое по отношению к f . Это расстояние качественно представляет количество потерянной информации, если вместо модели f рассматривать модель g . Здесь, учитывая, что логарифм берется по основанию 2, его единицей будет бит. Для сравнения моделей (например, моделей g_1 и g_2) учитывается только их относительное расстояние Кулбака-Лейблера $D(f, g_1) - D(f, g_2)$. В результате ожидаемое значение неизвестной модели f оказывается константой. Второй статистический момент

$$-E_f[\log_2(g)] = -\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \log_2 g(x) dx \quad (11)$$

может быть оценен как логарифмическое правдоподобие:

$$LLH = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2(g(x_i)). \quad (12)$$

Величина функционала LLH может быть использована для ранжирования моделей затухания путем присвоения весов w_j различным моделям:

$$w_j = \frac{2^{-\log_2(LLH_j)}}{\sum_{j=1}^K 2^{-\log_2(LLH_j)}}. \quad (13)$$

В табл. 3 представлены результаты ранжирования различных моделей затухания методом LLH. Как следует из таблицы, согласно критерию LLH, наиболее приемлемыми для исследуемой территории являются авторская зависимость затухания типа Ковеслигети и авторская зависимость затухания, полученная с учетом глубин гипоцентров происходящих землетрясений. Наименьший вес у зависимости D.Bindi и авторской зависимости типа Блейка-Шебалина.

Таблица 3

Результаты ранжирования различных моделей затухания методом LLH

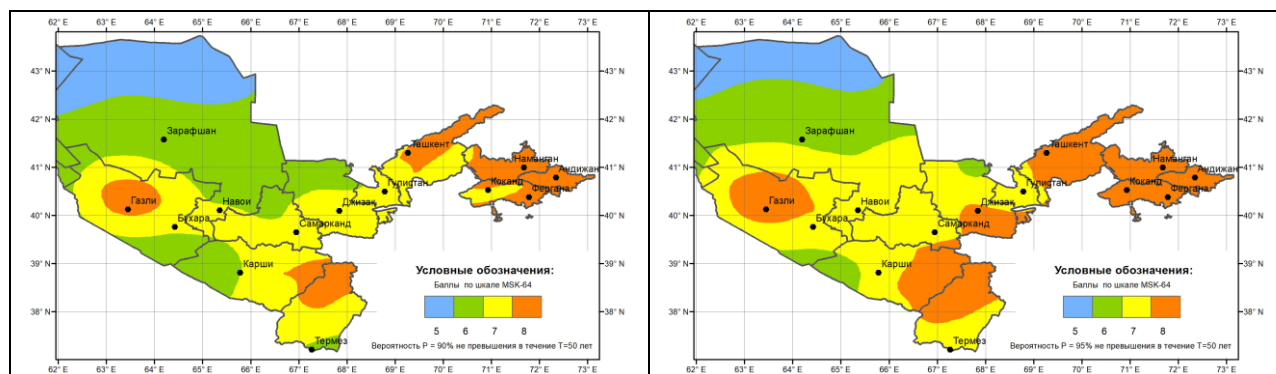
Table 3

Results of ranking different attenuation models by the LLH method

	Зависимость Шебалина, 1968	Авторская, типа Блейка- Шебалина, 2020	Авторская, типа Ковеслигети, 2020	Авторская, с учетом глу- бин, 2020	Зависимость D.Bindi, 2011
Расстояние Кульба- ка-Лейблера	0,185057	0,34634	0,069754	0,06792	0,878221
Значение LLH	0,029505	0,0857	0,01004	0,01071	0,127874
Вес по формуле 5.7	33,89268	11,66856	99,61031	93,40351	7,820223
Нормированные веса с суммарным значе- нием 1	0,137554	0,047357	0,40427	0,37908	0,031739

На рис. 7 представлены карты сейсмического районирования территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы, которые построены с привлечением различных, обсуждаемых выше законов затухания, взятых с весами, рассчитанными по критерию LLH.

Анализируя рис. 7, следует обратить внимание на то, что полученная в результате ранжирования методом LLH карта сейсмического районирования для вероятности $P = 0,98$ не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет практически совпадает с нормативной картой сейсмического районирования ОСР-2017, построенной для той же вероятности не превышения.



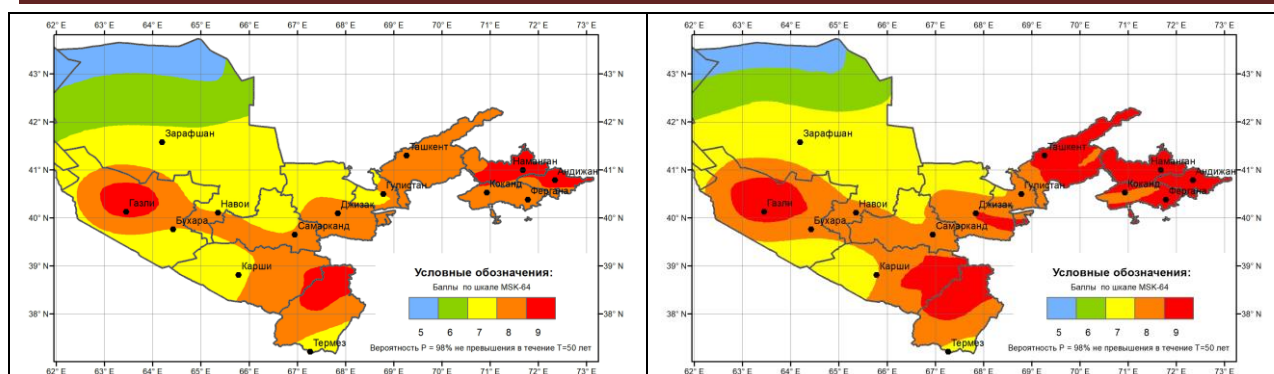


Рис. 7. Вероятностное районирование территории Узбекистана в баллах макросейсмической шкалы: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$. В качестве законов затухания принимались зависимости с весами, рассчитанными по критерию LLH.

Fig. 7. Probabilistic zoning of Uzbekistan's territory in points of macroseismic scale: а – $P = 0,90$; б – $P = 0,95$; в – $P = 0,98$; г – $P = 0,99$. Dependencies with weights calculated according to LLH criterion were taken as attenuation laws.

В табл. 4 для некоторых населенных пунктов Узбекистана приведено сопоставление вероятностных оценок сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы в результате отбора моделей затухания по критериям ранжирования методами LH и LLH. Как это видно из таблицы, использование критерия LH приводит к несколько большим оценкам опасности по сравнению с критерием LLH. Вместе с тем, различия в оценках опасности в результате применения указанных критериев для населенных пунктов, приведенных в табл. 4, не превосходит 0,15 баллов.

Таблица 4

Сопоставление вероятностных оценок сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы в результате ранжирования моделей затухания методами LH и LLH для некоторых населенных пунктов Узбекистана

Table 4

Comparison of seismic hazard's probabilistic assessments in points of macroseismic scale as a result of ranking of attenuation models by LH and LLH methods for some settlements of Uzbekistan

Город	P = 0,9		P = 0,95		P = 0,98		P = 0,99	
	LLH	LH	LLH	LH	LLH	LH	LLH	LH
Ташкент	7,58	7,67	7,94	8,06	8,42	8,52	8,69	8,83
Чирчик	7,61	7,71	7,98	8,10	8,43	8,54	8,71	8,84
Алмалык	7,48	7,57	7,82	7,93	8,29	8,40	8,56	8,68
Ангрен	7,44	7,52	7,77	7,87	8,24	8,34	8,52	8,63
Бекабад	7,25	7,38	7,64	7,73	8,06	8,15	8,44	8,51
Андижан	7,92	8,01	8,31	8,43	8,76	8,85	9,07	9,20
Наманган	7,90	8,01	8,29	8,41	8,73	8,83	9,06	9,20
Фергана	7,62	7,71	7,98	8,09	8,45	8,56	8,77	8,89
Коканд	7,42	7,52	7,74	7,84	8,11	8,27	8,39	8,52
Самарканд	6,92	7,01	7,25	7,36	7,66	7,73	7,91	8,02
Джизак	7,31	7,40	7,69	7,79	8,21	8,33	8,53	8,65
Гулистан	6,81	6,87	7,12	7,21	7,51	7,59	7,75	7,85
Термез	6,34	6,43	6,65	6,71	7,02	7,13	7,31	7,38
Карши	6,59	6,66	6,91	6,99	7,33	7,41	7,59	7,67
Бухара	6,64	6,71	6,99	7,08	7,47	7,56	7,76	7,82
Зарафшан	6,03	6,08	6,36	6,43	6,72	6,79	6,96	7,06
Газли	7,81	7,91	8,32	8,41	8,81	8,92	9,16	9,30

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в зависимости от выбранного закона затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием оценки сейсмической опасности территории Узбекистана могут отличаться более чем на один балл.

2. Проведено ранжирование двумя современными методами (**LH** и **LLH**) моделей затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием, разработанных для Центрально-Азиатского региона. В результате ранжирования отобраны зависимости и определены к ним веса, позволяющие получить наиболее адекватные оценки сейсмической опасности исследуемой территории.

3. С учетом проведенной процедуры ранжирования построена серия вероятностных карт сейсмического районирования территории Узбекистана, выражающих сейсмическую опасность в баллах макросейсмической шкалы.

Литература

1. Быкова В.В., Татевосян Р.Э. Об основных принципах вероятностного анализа сейсмической опасности на примере участка магистрального газопровода // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Тр. Пятой науч.-техн. конф. - Петропавловск-Камчатский, 27 сентября-3 октября 2015. - С. 134-138.
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. - Т.: ГИДРОИНГЕО, 2002. - С. 59-74.
3. Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А., Ашуров С.Х. Сопоставление оценок сейсмической опасности, получаемых в рамках вероятностного и вероятностно-детерминистического подходов, для территории Узбекистана // Вопросы инженерной сейсмологии. - 2022. - Т. 49. - № 4. - С. 21-35. - <https://doi.org/10.21455/VIS2022.4-2>.
4. Ризниченко Ю.В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. - М.: Изд-во АН СССР, 1985.
5. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. - М.: Наука, 1984. 182 с.
6. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. - М.: Наука, 1968. - С. 95-111.
7. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Study of modern seismic zoning maps' accuracy (case for Eastern Uzbekistan) // Geodesy and Geodynamics, China. - 2016. Vol. 7. Issue 6. - P. 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.04.015>.
8. 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, China. - 2020a. Vol. 11. Issue 4. - P. 273-292. doi.org/10.1016/j.geog.2020.03.004.
9. 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. 2020b. - 11(3). - P. 606-623. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0494>
10. Bindi D., Parolai S., Oth A., Abdrahmatov K., Muraliev A., Zschau J. Intensity prediction equations for Central Asia // Geophysical Journal International, 2011. - N.187. - P. 327-337. Doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05142.x.
11. Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis// Bull. Seismol. Soc. Am. - 1968. - V. 58. - P. 1583-1606.
12. Delavaud E., Scherbaum F., Kuehn N., Riggelsen C. Information-theoretic selection of ground-motion prediction equations for seismic hazard analysis: An applicability study using Californian data // Bulletin of the Seismological Society of America. - 2009. - № 99. - P. 3248-3263.
13. Kovesligethy R. Seismischer Starkegrad und Intensität der Beben // Gerlands Beiträge zur Geophysik, 1907. - № 8. - P. 22-29.
14. McGuire R.K. Seismic Hazard and Risk Analysis. - Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute, 2004. - 240 p.
15. Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J. CRISIS2007. Program for Computing Seismic Hazard, Institute of Engineering UNAM, Mexico, available at www.iingen.unam.mx (last accessed March 2016).
16. Shebalin N.V. Macroseismic Data as Information on Source Parameters of Large Earthquakes. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1972, 6 (4). - 316-323. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(72\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0031-9201(72)90016-7).
17. Scherbaum F., Cotton F., Smit P. On the use of response spectral-reference data for the selection of ground-motion models for seismic hazard analysis: The case of rock motion // Bulletin of the Seismological Society of America. - 2004. - № 94(6). - P. 341-348.
18. Scherbaum F., Delavaud E., Riggelsen C. Model Selection in Seismic Hazard Analysis: An Information-Theoretic Perspective // Bulletin of the Seismological Society of America. - 2009. - 99. - P. 3234-3247.

O'ZBEKISTON HUDUDI SEISMIK XAVFINI MASOFA BO'YICHA SEISMIK TA'SIRNING MASOFA BO'YICHA SO'NISH QONUNIYATINING TABAQALASHGA ASOSLANGAN MAKROSEYSMIK BALLARDAGI EXTIMOLLIKA ASOSLANGAN BAHOSI

R.S.Ibragimov, T.L.Ibragimova, M.A.Mirzaev, S.X.Ashurov

Annotatsiya. Seysmafaol hududlarning seysmik xavf bahosi hisoblash jarayonida seysmik ta'sirning masofa bo'yicha so'nish qonuniyatini tanlashga bog'liq. Seysmik xavfning extimollik asosidagi bahosida (SXEB) seysmik ta'sirning epistemik noaniqligini hisobga olish uchun turli so'nish tenglamalaridan foydalanish tavsiya etiladi. Ushbu tenglamalarni tanlashning eng samarali usuli, o'rganilayotgan hududda seysmik ta'sir asosida tajribasinov ma'lumotlarining mos kelishiga qarab beriladigan o'lchoviga asoslangan tartiblash amaliyotini o'tkazish samarali vosita hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda, Markaziy Osiyo uchun yaratilgan seysmik ta'sirning masofa bo'yicha so'nish tenglamasini tartiblash LH (Sherbaum, 2004) va LLH (Sherbaum, 2009) ikki usuli bilan amalga oshirilgan. Tartiblash amaliyotidan so'ng masofa bo'yicha so'nish tenglamasi umumlashtirilib va u asosida O'zbekiston hududi uchun MSK-64 makroseysmik ballardagi seysmik xavf bahosi olindi.

Kalit so'zlar: seysmik xavf, so'nish qonuniyati, makroseysmik jadallik, so'nish modelining tartiblanishi, seysmik tumanlashtirish xaritasi, seysmik xavfning ehtimollik asosidagi bahosi.

PROBABILISTIC ASSESSMENTS OF UZBEKISTAN'S TERRITORY SEISMIC HAZARD IN TERMS OF MACROSEISMIC INTENSITY BASED ON RANKING OF SEISMIC ATTENUATION LAWS WITH DISTANCE

R.S.Ibragimov, T.L.Ibragimova, M.A.Mirzaev, S.X.Ashurov

Abstract. Estimates of the seismic hazard of seismically active territories depend to a large extent on the choice of the seismic effects attenuation law with distance used in the calculations. In the practice of probabilistic analysis of seismic hazard, in order to take into account the epistemic uncertainties in the character of seismic effects, the use of several different attenuation equations is recommended. The most effective tool for choosing these equations is the ranking procedure, which consists in assigning weights to this or that dependence, depending on the degree of compliance of seismic effects predicted on their basis with the real experimental data available for the region under study. In this study, the ranking of macroseismic intensities attenuation models with distance developed for the territory of Central Asia was carried out using two different methods – LH [Sherbaum, 2004] and LLH [Sherbaum, 2009]. Taking into account the ranking procedure, a generalized attenuation model was constructed and on its basis, probabilistic estimates of seismic hazard of the Uzbekistan's territory in the values of MSK-64 macroseismic scale score were obtained.

Key words: seismic hazard, attenuation laws, macroseismic intensity, attenuation model ranking, seismic zoning maps, seismic hazard's probabilistic analysis.

ZILZILALARNI PROGNOZLASH

УДК 550.37+550.38:551.24

К УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

С.Х.Максудов, К.А.Сагдуллаева, Ф.Х.Садиров, Х.Б.Исраилов

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент

Аннотация. Рассматриваются вопросы усовершенствования системы мониторинга предвестников землетрясений геомагнитным, естественным импульсным электромагнитным (ЭМИ) и ионосферным методами исследований. Количество пунктов организации исследований методами ионосферы и ЭМИ на территории Узбекистана ограничены из-за отсутствия соответствующей стандартной аппаратуры. При приобретении же аппаратуры по этим двум направлениям геофизики реальная возможность организации ионосферных исследований имеется только в магнитно-ионосферной обсерватории Янгйбазар.

В перспективе ионосферные исследования следует организовать на территориях Ферганского, Кызылкумского геодинамического полигонов, а также Центрального Узбекистана. Исследования методом ЭМИ легко организуемы из-за несложности аппаратуры и относительной её дешевизны. Поэтому общее количество пунктов регистрации ЭМИ по территории Узбекистана может составлять около 15. Намечается существенное расширение геомагнитных исследований методами стационарных режимных и маршрутных измерений. При организации системы мониторинга геофизическими методами особое внимание уделяется сейсмогенным зонам и их частям, которые выделены как с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы.

Разработана программа для передачи данных измерений геомагнитного поля протонным магнитометром в центр сейсмопрогностического мониторинга в онлайн-режиме.

Ключевые слова: геомагнитное поле, ионосферные токи, естественное импульсное электромагнитное поле (ЭМИ), геодинамический полигон, мониторинг, предвестники землетрясений.

Введение

Накопленный опыт исследований по проблеме прогнозирования землетрясений на территориях сейсмоактивных регионов мира и Узбекистана показывает, что надежный прогноз землетрясения невозможен без применения комплекса информативных геолого-геофизических методов. Подбор оптимального комплекса таких методов, плотность их размещения для конкретного сейсмоактивного региона имеет индивидуальный характер и связан с:

- различным геолого-тектоническим строением земной коры;
- различием особенностей геофизических полей, гидрогеологических условий;
- неопределенностью силы, места и времени готовящегося землетрясения.

Для территории Узбекистана сила и место проявления сильных землетрясений определены многолетними геолого-геофизическими исследованиями. Эти территории рассматриваются как сейсмогенные зоны [1], что упрощает задачу организации в их пределах геолого-геофизических исследований по проблеме прогнозирования землетрясений по территории Узбекистана в целом.

На геодинамических полигонах Узбекистана объем геофизических исследований на сегодня намного хуже, чем в 1980-1990 годы. Сокращение в объеме, продолжительность и плотность размещения примененных геофизических методов и прекращение деятельности некоторых из них не дают возможности решить вопросы оценки оптимальности, эффективности геофизических методов по проблеме прогнозирования сильных землетрясений.

Для восстановления и усиления исследований по данной проблеме и обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Узбекистана за последние годы принят ряд постановлений и указов Президента, в частности, Постановление № ПП – 4794 от 30.07.2020 г. «О ме-

рах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан».

В результате Институт сейсмологии АН РУз начал приобретать новые приборы и оборудования, необходимые для выполнения поставленных задач. Разработаны конкретные планы, научные проекты, направленные на выполнение указанных задач.

Предлагаемая система мониторинга комплекса геофизических предвестников землетрясений основана на накопленном опыте на территориях сейсмоактивных регионов, геодинамических полигонов Узбекистана. И все же она разработана с учетом реальной ситуации – имеющегося аппаратного парка и приобретаемой в ближайшие годы аппаратуры по ионосферным и импульсным электромагнитным (ЭМИ) исследованиям. Особый упор на плотность сетей геофизических исследований и частоту повторных наблюдений делается на те территории сейсмогенных зон, которые выделяются как с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы. На сегодня таковыми отмечаются северная, восточная, юго-восточная и южная части Восточно-Ферганского геодинамического полигона, а также к юго-востоку от г. Самарканда в пределах Центрального Узбекистана.

Учитывая различия в геолого-тектоническом строении, особенностях сейсмогенных зон, обоснование организации комплекса геофизических методов дается отдельно для Ташкентского, Ферганского и Кызылкумского геодинамического полигонов, а также территории Центрального и Южного Узбекистана.

Разработка геомагнитного и ЭМИ методов мониторинга предвестников землетрясений для Ташкентского геодинамического полигона

Расположение маршрутов магнитной съемки

При прокладке маршрутов повторной магнитной съемки должны учитываться следующие основные условия:

- маршрут должен связывать ближайшие действующие магнитные станции по наиболее короткой асфальтированной дороге;
- пункты повторной съемки маршрутов должны быть расположены на легко находимом месте.

Пункт должен располагаться максимально близко к линии маршрута. Это делается для обеспечения проведения съемки за максимально короткий срок, что особенно важно в период объявления тревоги о возможном проявлении сейсмического события в данном регионе.

На территории Ташкентского геодинамического полигона до 2023 г. повторная магнитная съемка проводилась по маршрутам, указанным в первой части **табл. 1**.

Предлагается прокладывать маршруты между населенными пунктами, указанными во второй части табл. 1.

Таблица 1

Расположение существующих и проектных геомагнитных маршрутов на территории Ташкентского геодинамического полигона

Table 1

Location of existing and projected geomagnetic routes on the territory of the Tashkent geodynamic polygon

№	Направление маршрута	Протяженность, км	Количество пунктов
Существующие маршруты на 2022 г.			
1	Улугбек – Азадбаш – Таваксай – Газалкент – Чарвак	90	17
2	Чарвак – Сиджак – Нанай – Багистан – Яккатут – Бирчмулла – Янгикурбан – Юсупхана – Чарвак	85	20
3	Газалкент – Акташ	10	2
4	Чарвак – Газалкент	15	3
5	Газалкент – Карамазар – Гиджал	15	6
6	Газалкент – Галвасай	10	7
	Итого	210	55
Планируемые маршруты			

1	Нанай – пос. Пскем	50	5
2	Газалкент – Чимган – Юсупхана	50	5-6
3	Янгибазар – Паркент – Шампан – Намданак – Талбулак – Курсай – Галакудук	100	10
4	Ташкент – Ахангаран – Ангрен – Четсу – Эрташсай	120	10-12
5	Ахангаран – Пскент – Бука – Аккурган – Дустабад – Чиназ	150	15
6	Бектемир – Сурум – Кушек – Мевазар – Янги-Хаёт – Улджа – Курганча – Чиназ	70	10
7	Чиназ – Джизак	100	10
	Итого	640	66
	Всего	850	121

Всего по территории Ташкентского геодинамического полигона протяженность маршрутов будет составлять порядка 850 км, количество пунктов около 121. Выбранные направления маршрутов охватывают территории сейсмогенных зон Ташкентского геодинамического полигона. Они расположены в пределах или вблизи Полторацко-Сырдарьинской и Угамско-Каржантауской сейсмогенных зон.

Расположение стационарных магнитных станций

Представительность стационарных магнитных станций за более 50-летние исследования на территориях геодинамических полигонов Узбекистана была на разном уровне и менялась в зависимости от разных факторов:

- от уровня сейсмической активности территории геодинамического полигона;
- от количества имеющихся магнитных станций;
- от организации и проведения специальных геомагнитных исследований на территориях техногенных объектов – естественных подземных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений.

Наибольшее количество задействованных магнитных станций приходится на период 1980-1990 гг., когда количество станций составляло 36, из них на Ташкентском полигоне – 12, Ферганском – 11, Кызылкумском – 6, Центральном и Южном Узбекистане – 7.

Для сравнения – количество станций на январь 2023 г. составляет на Ташкентском полигоне – 4, Ферганском – 5, Кызылкумском – 3, Центральном и Южном Узбекистане – 3. Общее количество на отмеченный период – 15. Так, на Ташкентском геодинамическом полигоне количество стационарных станций к 2023 г. сократилось в три раза.

На сегодня на территории Ташкентского геодинамического полигона функционирует 4 станции – обсерватория Янгибазар, станция Майский, Назарбек и Хумсан. Все три станции расположены в зоне Каржантауского разлома. Расстояние между ними порядка 50 км. Относительно обсерватории Янгибазар станция Назарбек расположена на расстоянии 40 км к северо-западу; станция Майский – на расстоянии 30 км к северу и станция Хумсан – 50 км к северо-востоку от Янгибазара.

Территория Ташкентского полигона характеризуется обилием разломов северо-западного, северного, северо-восточного и субширитного направлений. Наиболее сейсмически активна Полторацко-Сырдарьинская сеймотектоническая зона. Туябугузское землетрясение 25 мая 2013 г. ($M = 5,6$) свидетельствует о потенциальной сейсмической активности и других сейсмогенных зон территории Ташкентского геодинамического полигона. В связи с этим территория полигона должна быть покрыта сетью магнитных станций более или менее равномерно. Это даст возможность контролировать всю территорию полигона. Для этого предлагается, помимо имеющихся трех станций, организовать стационарные магнитные станции около населенных пунктов Нурафшан (Тойтепа), Ахангаран, Ангрен, Сырдарья, Гулистан, Пахтакор. Всего будет 10 станций, включая обсерваторию Янгибазар. При площади территории Ташкентского геодинамического полигона 10000 км² на каждую станцию подпадает в среднем по 1000 км². Вблизи каждой станции, на расстоянии 0,5-1,0 км должен быть установлен контрольный пункт, на котором необходимо будет проводить контрольное измерение во время очередного цикла повторных измерений геомагнитного поля. Это необходимо для контроля работы данной стационарной магнитной станции.

Маршрутная магнитная съемка в районе Чарвакского водохранилища

Район крупного Чарвакского водохранилища с самого начала геомагнитных исследований на территории Ташкентского геодинамического полигона привлекал особое внимания из следующих соображений.

1. По мировым литературным данным, в районах некоторых крупных водохранилищ после ввода их в эксплуатацию происходили сильные землетрясения.

2. Геомагнитные исследования в районе водохранилища были начаты до первого его заполнения, т. е. с 1973 г. Как известно, первое заполнение было в 1978 г.

3. Процесс заполнения и расход воды осуществляет на чашу водохранилища переменные дополнительные сосредоточенные гравитационные нагрузки.

4. Процесс заполнения и расход воды в водохранилище является как бы модельным экспериментом наложения и разгрузки механического напряжения на горные породы в натурных условиях. Многократная повторяемость процесса нагрузка – разгрузка в водохранилище при выявлении соответствующего изменения в геомагнитном поле может быть использована при интерпретации выявленных геомагнитных предвестников землетрясений.

В результате многолетних исследований в районе водохранилища Чарвак выявлено локальное аномальное изменение геомагнитного поля, связанное с изменением объема воды в водохранилище. Изменение объема воды на 1000 тыс. м³ вызывает изменение геомагнитного поля на 2-6 нТл. Зафиксированы также локальные изменения геомагнитного поля различной интенсивности, формы и продолжительности, связанные с процессами в различных глубинах земной коры района водохранилища [2].

Все эти результаты предопределяют актуальность продолжения геомагнитных исследований в данном районе. Поэтому предлагается сгущать пункты повторных маршрутных съемок геомагнитного поля по акватории водохранилища, а также по левобережью и правобережью р. Чирчик до Газалкента. Если в отмеченном районе количество пунктов повторных наблюдений сейчас 33, то их следует увеличить до 45. Другим немаловажным фактором является расположение Чарвакского водохранилища в зоне сейсмоактивного регионального Каржантауского разлома.

На территории Ташкентского геодинамического полигона рекомендуется организовать исследования методом естественного импульсного электромагнитного излучения (ЭМИ) в магнитно-ионосферной обсерватории Янгибазар; на территории сейсмических станций Назарбек и Чимган.

Метод ЭМИ на сегодня общепризнанный на мировом уровне [3-9], в Узбекистане [3, 10] и применяется для выявления краткосрочных предвестников землетрясений.

Геомагнитный и ЭМИ методы мониторинга предвестников землетрясений для Ферганского геодинамического полигона

Расположение маршрутов магнитной съемки

За период с 1972 по 1988 г. на территории Ферганского геодинамического полигона с перерывами в наблюдениях (0,5-5 лет) в проложенных маршрутах и на территории Восточной Ферганы проводилась повторная площадная магнитная съемка. Длина маршрутов составляла около 650 км, а площадь – 6500 км². Самый представительный период геомагнитных наблюдений был с 1979 по 1988 г. В этот период на площади порядка 5,5 тыс. км² с 40 пунктами магнитной съемки регулярно 2 раза в месяц производилась повторная магнитная съемка. Последние маршрутные и площадные геомагнитные наблюдения осуществлялись в 1991 г. Геомагнитные исследования на территории Ферганского полигона показали их информативность и перспективность по выявлению локальных аномальных вариаций геомагнитного поля, связанных с процессами подготовки сильных землетрясений и другими процессами в земной коре. Так, с целью возобновления геомагнитных наблюдений предлагается прокладывать геомагнитные маршруты в основном вдоль Северо-Ферганской, Южно-Ферганской, Наманганской, Андижанской и Куршабской сейсмогенных зон [1]. Направление маршрутов, количество пунктов магнитных съемок и длина маршрутов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Проект расположения геомагнитных маршрутов на территории Ферганского геодинамического полигона

Table 2

The project of the location of geomagnetic routes on the territory of the Fergana geodynamic polygon

Направление маршрута	Протяженность, км	Количество пунктов
Планируемые маршруты на территории Ферганского геодинамического полигона		
Ангрен – Камчик – Пунган – Пап – Чуст – Туракурбан – Наманган	183	18
Наманган – Касан	22	4
Наманган – Маданият – Хаккулабад – Андижан	64	8
Андижан – Асака – Кува – Фергана	73	8
Андижан – Хужабад – Ширман булак	30	5
Фергана – Вуадил	35	4
Фергана – Кувасай	33	4
Фергана – Чимион – Алтиарик – Багдад – Коканд	79	10
Коканд – Язъяван – Буз – Шахрихан – Андижан	115	12
Коканд – Яйпан – Шорсу	32	5
Коканд – Пунган	27	5
Фергана – Маргилан – Язъяван – Жумашуй – Туракурбан	84	8
Всего	777	91

Маршруты покрывают всю территорию узбекской части Ферганской впадины. Наиболее плотно расположены маршруты и пункты магнитной съемки в северной, восточной и южной частях впадины.

Расположение магнитометрических станций

К существующим на 2023 г. пяти (Кампиррават, Харабек, Чартак, Чимион, Шахмардан) станциям предлагается установить ещё пять станций в районах населенных пунктов Пап, Чадак, Коканд, Яйпан и Шорсу. Тогда количество пунктов будет десять. Они будут охватывать территории основных сейсмогенных зон Ферганской впадины. Данные этих станций послужат основой для выявления долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений на территории впадины. На основании данных этих станций будут установлены граница территории и частота повторной магнитной съемки для детализации проявляемых предвестников землетрясений долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного характера. Для надежности и точности контроля данных маршрутных магнитных съемок магнитометрических станций предлагается выбрать в качестве опорной не менее двух магнитных станций.

По данным лаборатории Региональной сейсмичности и сейсмического районирования на 1.1.2022 г. площади с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы – сейсмоактивные зоны к северу, востоку и югу от Андижана (Карта областей с различной вероятностью возникновения сильных землетрясений территории Узбекистана в ближайшие годы). Поэтому на данном этапе исследований наибольшая плотность пунктов повторной магнитной съемки и стационарных станций рекомендуется размещать на территории Восточной Ферганы. Станции Кампиррават, Харабек, Чимион, Шахмардан вполне достаточны для регистрации локальных аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных процессами подготовки сильных землетрясений. Начало проявления локальных аномальных вариаций геомагнитного поля на одной или нескольких из этих станций предопределяет территорию и частоту повторных магнитных съемок по соответствующим маршрутам.

Расположение станций регистрации ЭМИ

На территории Ферганского геодинамического полигона наиболее сейсмически активны Северо-Ферганская и Южно-Ферганская сейсмогенные зоны [1]. Восточная часть отмеченных зон

на сегодня отнесена к территориям с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений. Станции регистрации ЭМИ предлагается разместить на:

- территории сейсмической станции Шахмардан;
- окраине населенного пункта Харабек (Андижанская обл.);
- окраине населенного пункта Маданият;
- западной окраине г. Коканд.

Станция в пределах г. Коканд устанавливается для регистрации ЭМИ предвестникового характера на западной части территории Ферганского геодинамического полигона.

Разработка геомагнитного и ЭМИ методов мониторинга предвестников землетрясений для Кызылкумского геодинамического полигона

Расположение маршрутов магнитной съемки

На территории Кызылкумского геодинамического полигона повторные маршрутные магнитные съемки организованы в 1974 г. Причиной являлась активизация современных тектонических движений на этой территории, что отражалось в проявлении интенсивных трещинообразований в районе Тамдыбулака и других населенных пунктов [3, 11]. Частота повторной съемки составляла один раз в год.

В период Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. в эпицентральной зоне были заложены геомагнитные маршруты и проводился частый и большой объем повторных съемок, включая и маршруты 1974 г. Длина маршрутов составляла 565 км, количество пунктов измерений – 110. Маршрут в эпицентральной зоне проложен между населенными пунктами Газли – Озеро I – Цветущий – Джангельды. Последние измерения проводились с 26 марта по 23 июня 1984 г.

Для возобновления геомагнитных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений на территории Кызылкумского геодинамического полигона предлагается прокладывать маршруты геомагнитных съемок, сведения о которых приведены в табл. 3. Маршруты охватывают территории расположения Предкызылкумской, Южно-Тянь-Шаньской и др. сейсмогенных зон [1].

Таблица 3

Проект расположения геомагнитных маршрутов на территории Кызылкумского геодинамического полигона

Table 3

The project of the location of geomagnetic routes on the territory of the Kizilkum geodynamic polygon

Направление маршрута	Протяженность, км	Количество пунктов
Самарканд – Навои – Бухара	271	25
Бухора – Газли	106	10
Газли – Цветущий – Джангельды	120	12
Навои – Зарафшан	210	20
Зарафшан – Учкудук	90	8
Зарафшан – Тамдыбулак	50	5
Всего	847	80

Расположение магнитометрических станций

На сегодня функционируют магнитные станции Бухара, Газли и Тамдыбулак. Станция Газли расположена в эпицентральной зоне Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. Станция Тамдыбулак задействована на территории одноименной сейсмической станции. Как известно, в этом регионе с конца 1960-х годов наблюдалась активизация современных тектонических движений, с проявлением интенсивных трещинообразований.

На данном этапе предлагается организовать стационарную магнитную станцию на территории сейсмической станции Джангельды. Этот район наиболее благоприятный для организации стационарных наблюдений.

Расположение станций регистрации ЭМИ

На территории Кызылкумского геодинамического полигона предлагается устанавливать станцию регистрации ЭМИ на действующих сейсмических станциях Нурата, Тамдыбулак и Джангельды. В будущем можно установить станцию в районе Газли. Во время Газлийских землетрясений 1976 г. были четко зафиксированы предвестники сильных афтершоков землетрясения 17 мая.

Размещение пунктов геомагнитного и ЭМИ методов мониторинга предвестников землетрясений для территорий Центрального и Южного Узбекистана**Расположение маршрутов магнитной съемки**

На территории Центрального и Южного Узбекистана на сегодняшний день маршрутные магнитные исследования не проводятся. В конце 1980 и начале 1990-х годов на территории газоконденсатного месторождения Шуртан проходили площадные геомагнитные исследования с целью выявления локальных аномальных вариаций геомагнитного поля, связанных с эксплуатацией месторождения. В этот период также были задействованы временные магнитные станции на территории месторождения.

Камашинские землетрясения 1999-2000 гг. и Байсунское землетрясение 2022 г., а также объявленная зона с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений определяют организацию в этом регионе комплекса геолого-геофизических исследований по проблеме прогнозирования землетрясений. Предлагаемый проект расположения геомагнитных маршрутов на территориях Центрального и Южного Узбекистана приведен в **табл. 4**.

Таблица 4

Проект расположения геомагнитных маршрутов на территориях Центрального и Южного Узбекистана

Table 4

The project of the location of geomagnetic routes in the territories of Central and Southern Uzbekistan

Направление маршрута	Протяженность, км	Количество пунктов
Джизак – Самарканд	100	8
Самарканд – Карши – Шахрисабз	220	20
Карши – Мубарак – Караулбазар – Бухара	166	15
Заамин – Бахмал – Марджанбулак	110	11
Марджанбулак – Булунгур – Самарканд	60	6
Самарканд – Шахрисабз – Камашин – Гузар – Дехканабад – Байсун – Шурчи – Зарабаг	350	32
Всего	1006	92

Маршруты охватывают территории сейсмогенных зон Джизакской, Самаркандской, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей, проложены вдоль шоссейных и главных дорог этих территорий. Протяженность более 1000 км, количество пунктов более 90.

Расположение магнитометрических станций

На 2023 г. на территории Центрального и Южного Узбекистана функционируют три стационарные магнитные станции – Бахмал, Жумабазар и Зарабаг. Они расположены в субмеридиальном направлении и могут регистрировать аномальные вариации геомагнитного поля в пределах сейсмогенных зон, развитых на данной территории. Учитывая выделенную зону с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений, предлагается установить стационарную магнитную станцию в районе населенного пункта Ургут, а другую – в районе населенного пункта Байсун, где произошло землетрясение 12 мая 2022 г. Все пять стационарных магнитных станций будут связаны между собой маршрутами повторной магнитной съемки.

Расположение станций регистрации ЭМИ

Учитывая расположение сейсмических, магнитометрических станций и совмещения с ними наблюдений импульсного электромагнитного поля (ЭМИ) предлагается организация пунктов регистрации ЭМИ в Центральном и Южном Узбекистане на территориях населенных пунктов Бахмал, Заамин и сейсмических станций Зарабаг, Шурчи, Жумабазар и Агалык.

Обоснование частоты измерений геомагнитного поля на стационарных магнитных станциях

Измерение геомагнитного поля на стационарных магнитных станциях традиционно обновлено через 10 минут. Этот режим вполне удовлетворяет требования для выявления среднесрочных и долгосрочных предвестников землетрясений. При выявлении краткосрочного предвестника в том или ином режиме измерения на станциях, расположенных в пределах региона, измерения

Частота измерений геомагнитного поля на пунктах маршрутов повторных съемок

Частота измерений геомагнитного поля на пунктах маршрутов повторных съемок на территориях геодинамических полигонов Узбекистана была разной и составляла от 1-2 месяцев до одного года. Этот режим действовал в сейсмически спокойное время. При проявлении сейсмической активности частота измерений устанавливалась 1-2 дня. Накопленный опыт показывает, что частота измерений на маршрутах должна быть 1 месяц. Этот режим принимается для выявления локальных аномальных вариаций геомагнитного поля долгосрочного характера. При проявлении аномалий среднесрочного характера измерения на маршрутах, где проявляется аномалия, измерения должны учащаться. Режим измерения и размер площади исследований должен быть гибким и зависеть от интенсивности проявления аномалии. В данном случае, за максимально короткое время – через 1-2 дня – проводится цикл повторных измерений. При определении «фокуса» аномалии в этом районе, если нет вблизи действующей стационарной магнитной станции, необходимо будет запустить новую магнитную станцию. Измерения на станции производятся с частотой 1 мин.

Программное обеспечение «Magnetic data transmission GEM – 19T»

Разработана программа для передачи данных измерений геомагнитного поля протонным магнитометром в Центр сейсмопрогностического мониторинга в онлайн-режиме [12]. Измерения поля в режиме реального времени сохраняются в памяти компьютера. Сюда входят: значение полного вектора напряженности геомагнитного поля (Т), время измерения и оценка точности измерения. Одновременно эти данные с использованием алгоритма асимметричного шифрования RSA при помощи открытого ключа шифруются и направляются в сервер. Поскольку этот процесс осуществляется в режиме реального времени, можно установить любой интервал измерений магнитного поля. Информация, поступившая в сервер, дешифруется секретным ключом. К значению магнитного поля прилагаются дата измерения и код станции. Принятые данные сохраняются по соответствующим станциям введением в базу реляционных данных (рисунок).

Разработан веб интерфейс для слежения за суточными данными в сервере в онлайн-режиме. Веб интерфейс обновляет данные через каждые 30 секунд. Веб интерфейс получает информацию из реляционной базы данных.

Для получения информации из базы данных разработан API. Информацию можно получать также через программу «Data Visualizes».

Программное обеспечение «Magnetic data transmission GEM – 19T», устанавливаемое в магнитную станцию, зарегистрировано в Агентстве интеллектуальной собственности Узбекистана и получено удостоверение [12].

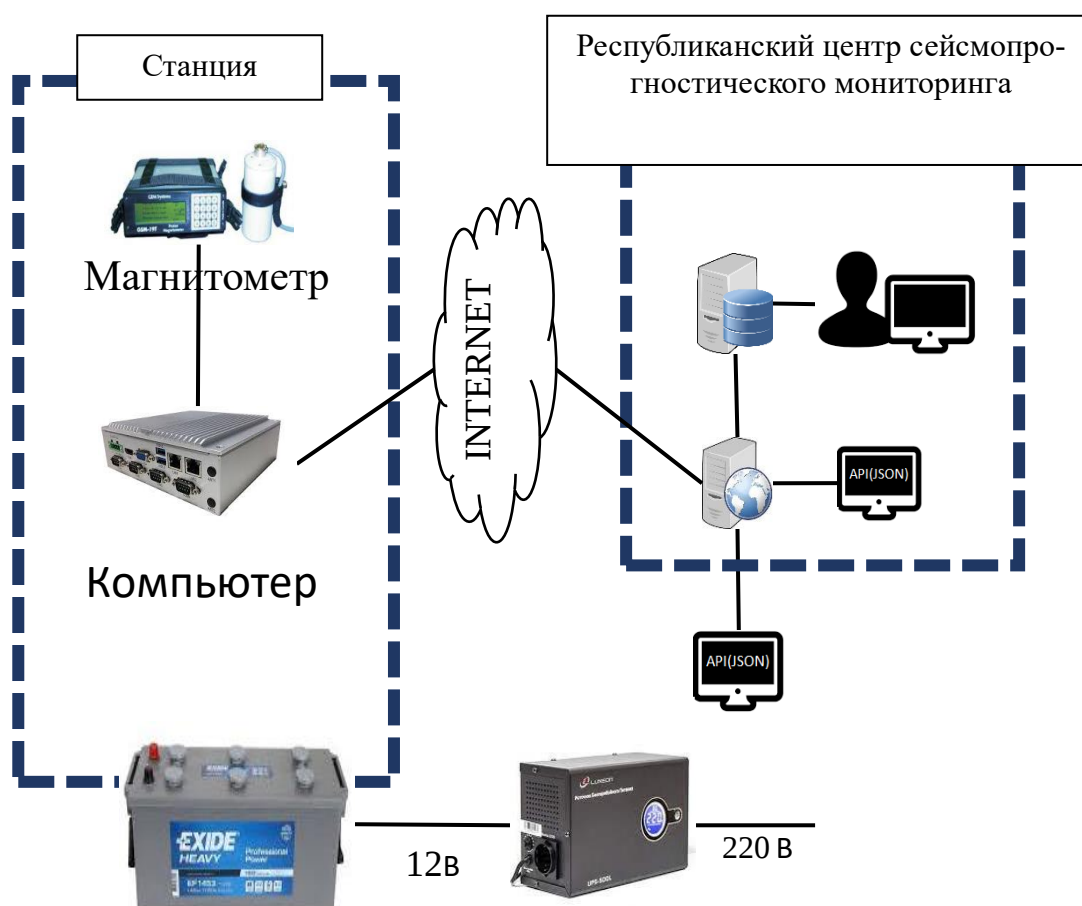


Схема подключения магнитометра в систему Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга.

Figure Diagram of the magnetometer connection to the system of the Republican Center for Seismic Monitoring.

ВЫВОДЫ

Предложено усовершенствование системы мониторинга геофизических предвестников землетрясений на территории Узбекистана. Обосновано размещение сети повторных маршрутных пунктов и стационарных станций геофизических наблюдений.

При закладке маршрутов повторной магнитной съемки и геофизических стационарных станций учтены сейсмические события за последние 20-25 лет и выделенные территории сейсмогенных зон с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы. К таковым отнесены восточная часть Ферганской впадины и территория к юго-востоку от Самарканда. Перечислены основные условия и требования к выбору места расположения пунктов геофизических наблюдений. Предлагаемые маршруты магнитной съемки и пункты стационарных геофизических – геомагнитных, импульсных электромагнитных (ЭМИ), ионосферных исследований охватывают все основные сейсмогенные зоны территории Узбекистана. Прокладываемые маршруты повторных магнитных съемок будут связывать все пункты стационарных режимных наблюдений геофизических полей. Выявление аномальных вариаций в предлагаемом комплексе геофизических полей повышает достоверность и надежность этих аномалий как предвестников сильных землетрясений. Естественно, будут учтены и данные, получаемые другими геолого-геофизическими методами.

Для слежения за изменениями геомагнитного поля на стационарной станции в режиме реального времени разработано программное обеспечение. Оно позволяет передавать данные в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга. Программное обеспечение «Magnetic data transmission GEM – 19T» зарегистрировано в Агентстве интеллектуальной собственности Узбекистана и получено удостоверение.

Работа выполнена в рамках прикладной темы ИС АН РУз «Разработка усовершенствованной системы мониторинга комплекса предвестников землетрясений на территории Узбекистана».

Литература

1. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня. - Т.: Фан, 1978 - 144 с.
2. Максудов С.Х. Тектономагнетизм и вариации магнитного поля Земли на геодинамических полигонах Узбекистана: Автореф. дисс... докт. физ.-мат. наук. - Т., 1996. - 51 с.
3. Электрические и магнитные предвестники землетрясений / Под ред. В.П.Головкова. - Т.: Фан, 1983. - 135 с.
4. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. - 1970. - № 12. - С. 3-13.
5. Воробьев А.А., Самохвалов М.А., Горелкин Ф.Ф. и др. Аномальные изменения интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля в районе Ташкента перед землетрясением // Узб. геол. журн. - 1976. - № 2. - С. 9-11.
6. Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б. Прогнозирование землетрясений по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли // Вулканология и сейсмология. - 1987. - № 1. - С. 97-103.
7. Абдуллабеков К.Н., Гохберг М.Б., Мавлянов Г.А., Мигунов Н.И. и др. Электромагнитное излучение // Электромагнитные предвестники землетрясений. - М.: Наука, 1982. - С. 14-23.
8. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений / Под ред. М.Б.Гохберга. - М.: ИФЗ АН СССР, 1988. - 244 с.
9. Гохберг М.Б., Похотелов О.А. и др. О высокоточном электромагнитном излучении при сейсмической активности // ДАН СССР. - 1979. - Т. 248. - № 5. - С. 1077-1081.
10. Хусомиддинов С.С. Закономерности аномальных вариаций геофизических полей в сейсмоактивных зонах Узбекистана: Автореф. дисс... докт. физ.-мат. наук. - Т., 1990. - 41 с.
11. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. - Т.: Фан, 1989. - 232 с.
12. Abdullabekov K.N., Maksudov S.X., Yusupov V.R., Sadirov F.X., Isroilov X.B. Magnetic data transmission GSM-19T DGU 2022 3466.

О'ZBEKISTON HUDUDIDA ZILZILA DARAKCHILARINI GEOFIZIK USULLAR MAJMUASI BILAN MONITORING QILISHNI TAKOMILLASHTIRISHGA DOIR

S.X.Maksudov, K.A.Sagdullaeva, F.X.Sadirov, X.B.Israilov

Annotatsiya. Maqolada O'zbekiston hududida kuchli zilzila darakchilarini monitoring qilishda geomagnit, tabiiy impulsli elektromagnit (EMI), ionosfera usullari majmuasini takomillashtirish masalalari ko'rilgan. Ionosfera va EMI usullari bo'yicha kuzatuv stansiyalarini tashkil qilish mazkur yo'nalishlar bo'yicha apparaturalarning yo'qligi sababli chegaralangan. Izlanishlarni amalga oshirish ushbu apparaturalarni chet ellardan sotib olish bo'yicha qilinayotgan xarakatlarning natijasiga bog'liq. Ular sotib olinganda ham ionosfera bo'yicha kuzatuvlarni faqat Yangibozor magnit – ionosfera observatoriyasida tashkil qilish mumkin. Yaqin kelajakda ionosfera bo'yicha kuzatuv ishlarini Farg'ona, Qizilqum geodinamik poligonlari, hamda Markaziy O'zbekiston hududlarida tashkil etish kerak. EMI usuli bo'yicha izlanishlarni tashkil etish sotib olinadigan apparaturalarning nisbatan arzonligi va ularning ishga tushirishining murakkab emasligi. Shu sababli EMI usuli bilan kuzatuv stansiyalarining soni O'zbekiston bo'yicha 15 ta atrofida bo'lishi mumkin. Geomagnit usuli bilan kuzatuv stansiyalari va marshrutlarda o'lchashni keng miqyosda tashkil etish mumkin. Mazkur geofizik usullar bilan kuchli zilzila darakchilarini monitoringini tashkil qilishda mavjud seysmogen zonalar, ularning yaqin yillarda kuchli zilzilalar sodir bo'lishi ehtimoli juda yuqori bo'lgan hududlari alohida e'tiborga olingan.

Magnitometr ma'lumotlarini onlayn tarzda seysmoprognostik monitoring markaziga etkazib turish bo'yicha kompyuter dasturi tuzildi.

Kalit so'zlar: geomagnit maydon, ionosfera toklari, tabiiy impulsli elektromagnit maydon (IEM), geodinamik poligon, monitoring, zilzila darakhchilari.

TO IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF MONITORING OF EARTHQUAKE PRECURSORS BY GEOPHYSICAL METHODS ON THE TERRITORY OF UZBEKISTAN

S.Kh.Maksudov, K.A.Sagdullaeva, F.Kh.Sadirov, H.B.Israilov

Annotation. The issues of improving the monitoring system of earthquake precursors by geomagnetic, natural pulsed electromagnetic (EMR) and ionospheric research methods are considered. The number of points for the organization of ionospheric and EMR studies on the territory of Uzbekistan are limited due to the lack of appropriate standard equipment. When purchasing equipmentS in those two areas of geophysics, the real possibility of organizing ionospheric research is available only at the Yangibazar magneto–ionospheric Observatory.

In the future, ionospheric studies should be organized in the territories of the Fergana, Kyzylkum geodynamic polygons, as well as in Central Uzbekistan. Research by the EMR method is easily organized due to the complexity of the equipment and its relative cheap cost. Therefore, the total number of geomagnetic registration points on the territory of Uzbekistan may be around 15. A significant expansion of geomagnetic studies by methods of stationary regime and route measurements are planned. When organizing a monitoring system by geophysical methods, special attention is paid to seismogenic zones and their parts, which are identified as having a very high probability of strong earthquakes in the upcoming years.

Key words: geomagnetic field, ionospheric currents, natural pulsed electromagnetic field (EMR), geodynamic polygon, monitoring, earthquake precursors.

УДК 550.38 550343(375.1)

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ЧИМИОН В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М.Ю.Муминов¹, А.У.Ганиев², М.З.Мирзоидов², У.Ч.Жабборов²

¹*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент*
muminov.mirzoid@mail.ru

²*Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз*

Аннотация. На основе 40-летних геомагнитных стационарных исследований повышенная чувствительность Чимионской станции к землетрясениям Южного Тянь-Шаня связывается с геолого-геофизическими условиями района – расположением станции в зоне динамического действия, образуемого пересечением в этом районе трех активизированных разломов, а также нахождением её в максимальном участке электропроводности региональной аномалии электропроводности.

Ключевые слова: землетрясение, предвестник, геомагнитное поле, аномалия, дальность распространения, прогнозирование.

Введение

Аномальные вариации геомагнитного поля, связанные с землетрясениями и другими процессами в земной коре, исследуются во многих сейсмоактивных регионах. Однако эффективность этого метода не однозначна. Если в одних регионах с помощью полевых наблюдений удастся зарегистрировать долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные аномальные вариации геомагнитного поля, то в других они отсутствуют. Опыт многолетних исследований показывает, что успех работы (наряду с методическими показателями, такими как масштаб, частота повторных измерений, точность съемки, выбор аппаратуры и т. д.) зависит от выбора пунктов и площадей с сеймотектонической позиции.

Ферганский геодинамический полигон, расположенный в пределах Ферганской межгорной впадины, характеризуется своеобразным геологическим строением и сеймотектоническими усло-

виями. В работе (Ибрагимов, 1970) подробно рассмотрены вопросы тектонического развития района, изучены современные движения земной коры, расположение разломов и их живучесть.

На основании комплексного анализа геолого-геофизических данных выделены сейсмогенные зоны Ферганской впадины (рис. 1). Ферганская впадина и ее горное обрамление сложены породами различного возраста, начиная от протерозойских и кончая современными, и самого разного генезиса – от магматических до осадочных и метаморфических (Ибрагимов, 1970). Мощность мезо-кайнозойских образований, сложенных слабомагнитными и немагнитными породами, увеличивается от периферии к центру впадины. Магнитная восприимчивость их 10^{-5} – 10^{-6} СГС.

Целью настоящей статьи является выяснение роли геолого-геофизических условий на особенностях чувствительности магнитометрического метода к тектоническим землетрясениям региона.

Методика эксперимента

Исследования вариаций напряженно-деформированного состояния сейсмотектонических структур Ферганской впадины проводятся с 1973 г. методами повторных маршрутных, площадных и стационарных геомагнитных наблюдений (Абдуллабеков, 1989; Муминов и др., 1979).

Стационарные наблюдения осуществлялись на участках аномальных проявлений, выявленных маршрутными и площадными геомагнитными съемками, или в аномальных зонах, выделенных другими комплексами прогностических методов. Использовался метод синхронных наблюдений. Наблюдения проводились в различных геолого-геофизических условиях с высокоточными (чувствительность $\pm 0,1$ нТл) протонными магнитометрами ТМП (ИГ УО РАН, Екатеринбург), МПП-1М (ИФЗ РАН), МВ-01 («Рудгеофизика», Санкт-Петербург, Россия), GSM-19T (Канада) и др.

Общее количество повторных маршрутных и площадных наблюдений на Ферганском полигоне Узбекистана превысило 170 точек, а стационарных наблюдений – более 7. Из 7 стационарных наблюдений 5 магнитометров функционируют в комплексных прогностических станциях (КПС). Магнитометрические станции Маданият и Ташота работали автономно и непродолжительное время – 1978-1990 гг. (Абдуллабеков, 1989) (см. рис. 1).

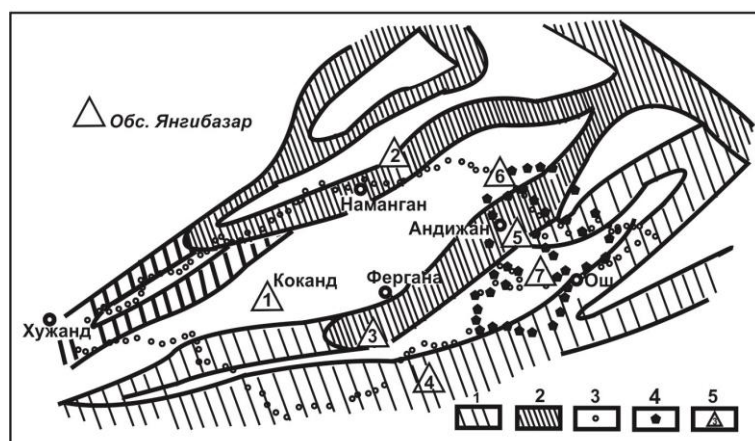


Рис. 1. Схема расположения геомагнитных пунктов наблюдений на Ферганском геодинамическом полигоне Института сейсмологии АН РУз. 1 и 2 – соответственно 8- и 9-балльные сейсмогенные зоны, по Р.Н.Ибрагимову и др.; пункты повторных наблюдений с частотой опроса: 3 – 1-3 раз в год, 4 – 2 раза в месяц; 5 – стационарные магнитометрические станции: 1 – Коканд, 2 – Чартак, 3 – Чимион, 4 – Шахимардан, 5 – Андижан, 6 – Маданият, 7 – Ташота.

Fig. 1. The layout of geomagnetic observation points at the Fergana Geodynamic polygon of the Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. 1 and 2 – respectively 8- and 9-point seismogenic zones, according to R.N.Ibragimov et al.; points of repeated observations with a survey frequency: 3 – 1-3 times a year, 4 – 2 times a month; 5 – stationary magneto-

metric stations: 1 – Kokand, 2 – Chartak, 3 – Chimion, 4 – Shakhimardan, 5 – Andijan, 6 – Madaniyat, 7 – Tashota.

Большинство стационарных станций функционируют с 1980-1982 гг. С 2019 г. на всех гео-динамических полигонах устаревшие стационарные магнитометрические станции заменены новыми магнитометрами GSM-19T, работающими с дискретностью замеров 10 минут, круглосуточно.

Все полученная информация оперативно передавалась по линиям связи в центр сбора данных. По результатам обработки и интерпретации ведется оперативный контроль сейсмической обстановки региона (Муминов и др., 1989).

Контроль вариаций геомагнитного поля на стационарных станциях ведется относительно опорной станции – обсерватории Янгибазар, расположенной в Приташкентском районе (см. рис. 1). Предмет изучения временного ряда геомагнитного поля – среднесуточные разностные значения ΔT между рядовыми станциями и опорной. Для определения среднесуточных ΔT привлекались почасовые (24 значения) или замеры с дискретностью через 10 минут (144 значения в сутки). Все полученная информация передавалась в Центр обработки и интерпретации, где она способствовала оперативному контролю сейсмической обстановки региона.

Результаты

Среднеквадратическое отклонение среднесуточного значения ΔT от среднемесячного для разных станций колеблется в пределах $\sigma_{\text{ср}}^2 = \pm 0,3 \div 1,8$ нТл (табл. 1). При этом любая положительная или отрицательная тенденция среднепериодного изменения магнитного поля, превышающая интенсивность фоновому уровня ($2\sigma_{\text{ср}}^2$) в два и более раз, принята нами как аномальное изменение.

Остановимся на особенностях проявления геомагнитных предвестниковых сигналов землетрясений на ст. Чимион. Станция имеет повышенную чувствительность к геодинамическим процессам, в частности, к тектоническим землетрясениям. В качестве примера приведем основные предвестниковые аномалии, наблюдаемые в фактических среднесуточных временных рядах (без каких-либо обработок), и землетрясения, происшедшие в исследуемом районе в период нормального функционирования магнитометрической аппаратуры в 1980-1993 и 2014-2023 гг.

В период 1980-1988 гг. магнитометрическая ст. Чимион работала нормально. Среднеквадратическое отклонение среднесуточных значений от среднетрехмесячных составляло $\sigma_{\text{ср}}^2 = \pm 0,81$ нТл. В начале функционирования этой станции отмечен уникальный случай в мировой практике геомагнитных наблюдений. До этого в нашей практике подобный случай был отмечен в 1976 г., когда за 5 суток до 10-балльного Газлийского землетрясения 17 мая с $M = 7,3$ над очагом были начаты магнитометрические измерения с частотой опроса через 10 минут, круглосуточно (Абдуллабеков и др., 1984). В отличие от первого, над очагом Чимионского землетрясения 6.05.1982 г. с $M = 5,5$ наблюдения за вариациями геомагнитного поля начаты за два года, т. е. с середины 1980 г. Тогда удалось зафиксировать среднепериодную и короткопериодную аномалии с периодами соответственно 8-9 и 1,5 месяцев. В то время из-за неуверенности в результатах замеров аппаратуры, за 4 суток до 8-балльного толчка, станцию перенесли на новое место. Ретроспективный анализ данных показал, что ранее отмеченная 8-9-месячная аномалия, по всей вероятности, была среднепериодным предвестником Чимионского землетрясения 1982 г. с $M = 5,5$ (рис. 2).

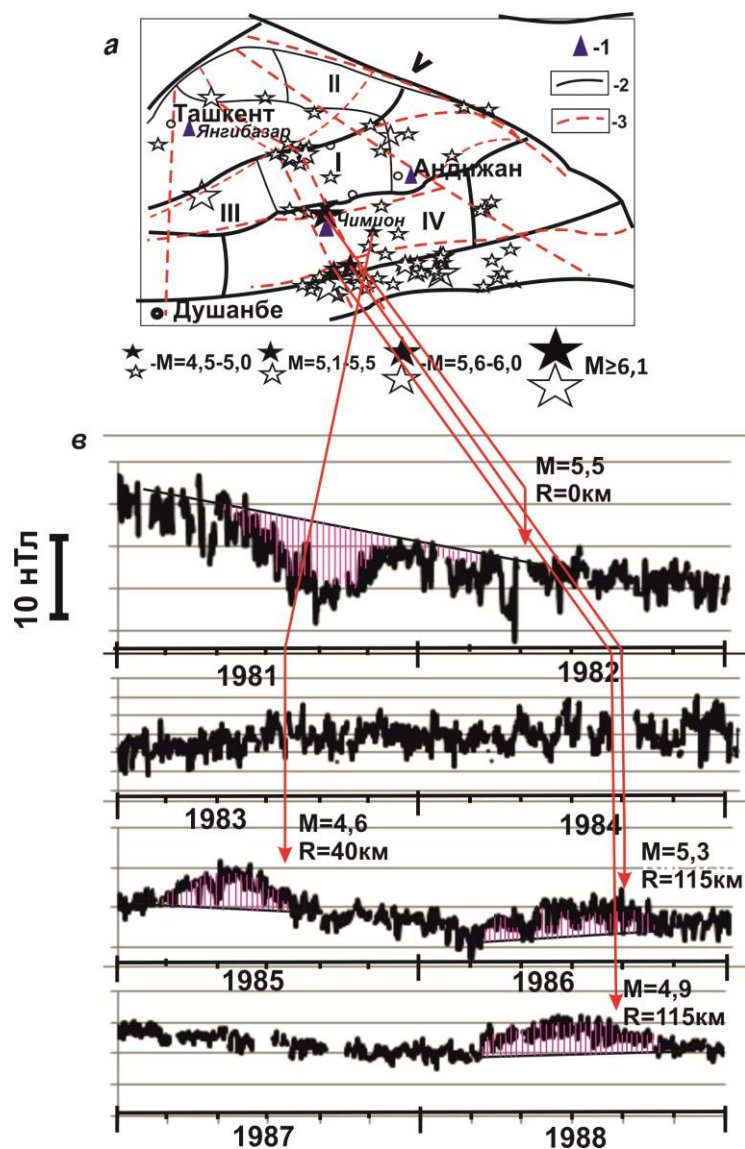


Рис. 2. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестниковых аномалий землетрясений на станции Чимион в 1981-1988 гг. а – схема расположения стационарных магнитометрических станций (1); границы блоков верхней части земной коры Западной Тянь-Шаньской микроплиты (ЗТШМП): 2 – выделенные по векторным полям (блоки: I – Центральнo-Ферганский, II – Чаткало-Кураминский, III – Западнo-Ферганский, IV – Южно-Тянь-Шаньский), 3 – по геолого- геофизическим данным [6]; звездочки – эпицентры с соответствующими силами произошедших землетрясений, от которых зафиксирован предвестниковый сигнал (закрашенные); от которых не зафиксирован предвестник (не закрашенные). в – вариации ΔT на станции Чимион в 1981-1988 гг. Линии со стрелками – места и моменты землетрясений, от которых выявлен предвестниковый сигнал с указанием магнитуды и эпицентрального расстояния.

Fig. 2. Manifestations of geomagnetic cove-like precursor anomalies of earth-quakes at the Chimion station in 1981-1988. а - layout of stationary magnetometric stations (1); boundaries of blocks of the upper part of the Earth's crust of the Western Tien Shan microplate (ZTSMP): 2 – selected by vector fields (blocks: I – Central Ferghana, II - Chatkalo–Kuraminsky, III - West Ferghana, IV – South Tien Shan), 3 - by geological and geophysical data [6]; asterisks – epicenters with the corresponding forces of the earthquakes that occurred, from which a precursor was recorded signal (shaded); from which the harbinger is not fixed (not painted over). в – variations of ΔT at Chimion Station in 1981-1988. Lines with arrows – places and moments of earthquakes, from which a precursor signal was detected indicating the magnitude and epicentral distance.

В последующем, в период нормальной работы станции 1982-1992 и 2014-2023 гг. выделены еще 16 подобных среднепериодных предвестниковых аномалий (рис. 3-8).

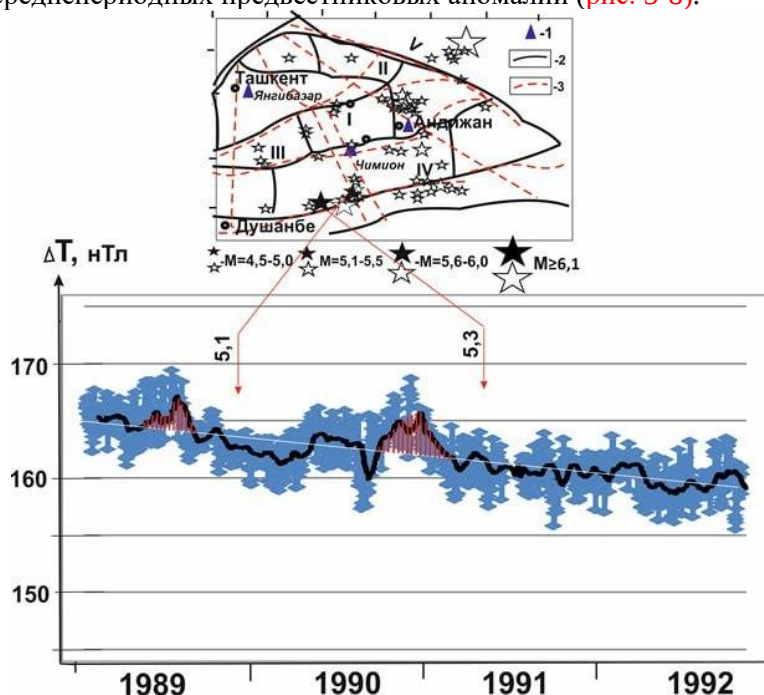


Рис. 3. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестниковых аномалий, связанных с землетрясениями на станции Чимион в 1989-1992 гг. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 3. Manifestations of geomagnetic cove-like harbinger anomalies associated with earthquakes at the Chimion station in 1989-1992.

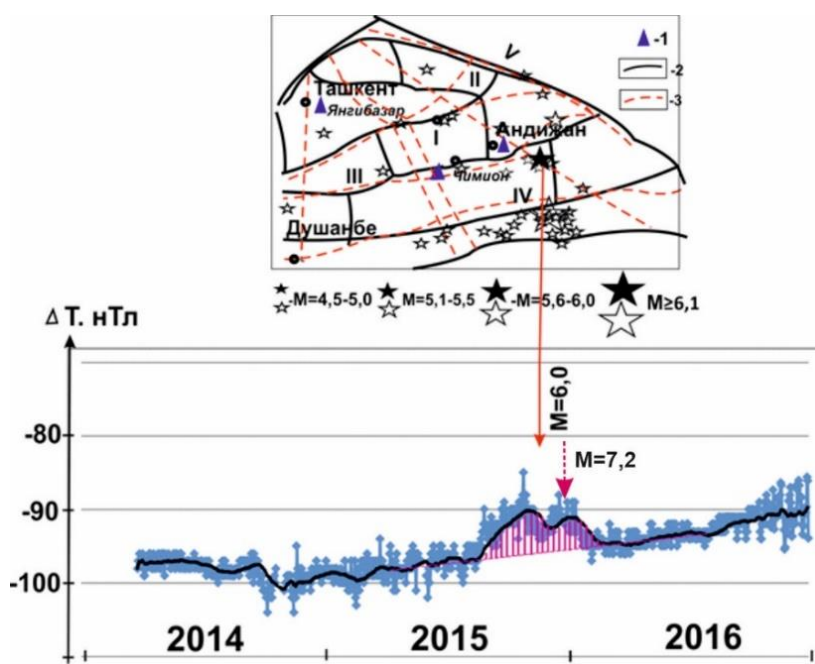


Рис. 4. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестников землетрясений на станции Чимион в 2014-2016 гг. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 4. Manifestations of geomagnetic bay-shaped earthquake precursors at the Chimion station in 2014-2016.

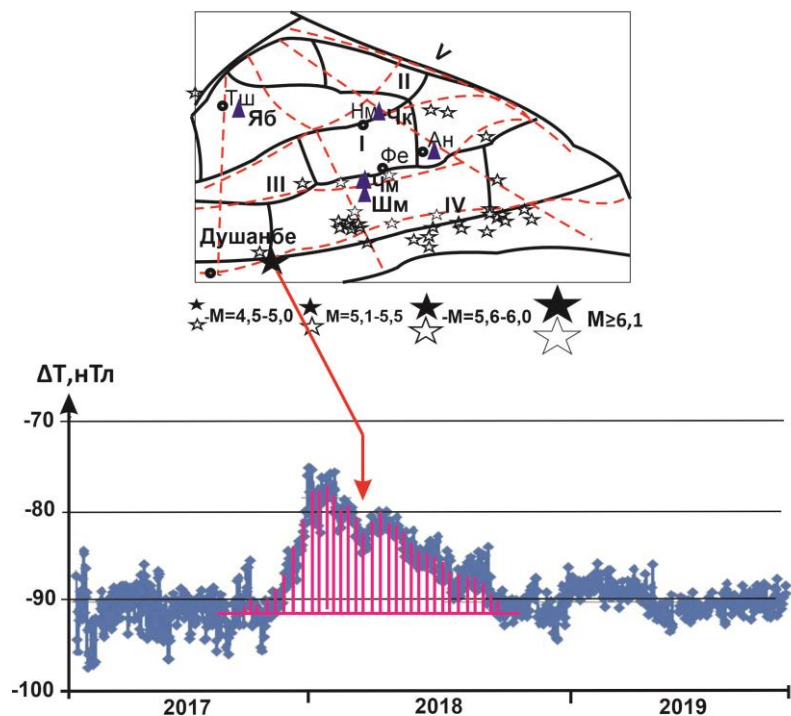


Рис. 5. Проявления геомагнитного бухтообразного предвестника землетрясения на станции Чимион в 2017-2019 гг. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 5. Manifestations of the geomagnetic bay-shaped earthquake precursor at the Chimion station in 2017-2019.

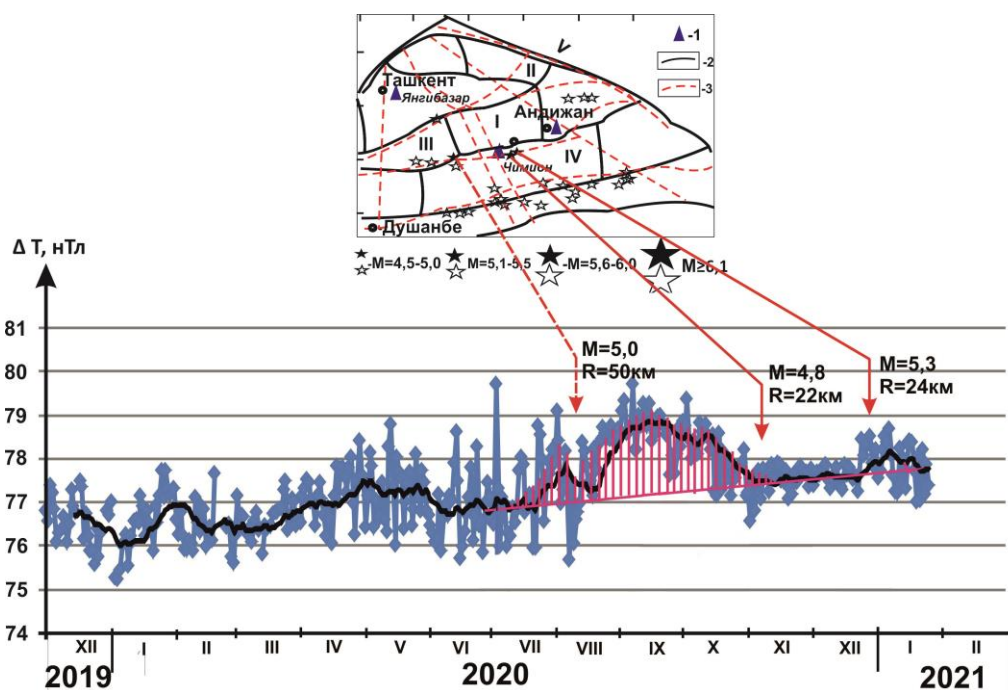


Рис. 6. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестников землетрясений на станции Чимион в 2020-2021 гг. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 6. Manifestations of geomagnetic bay-shaped earthquake precursors at the Chimion station in 2020-2021.

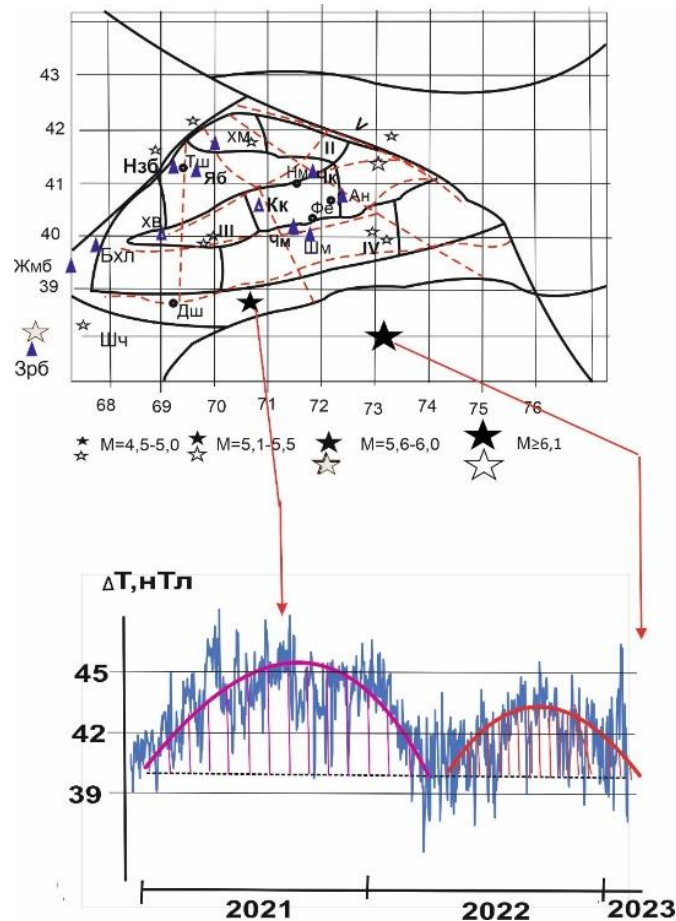


Рис. 7. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестников землетрясений на станции Чимион в 2021-2023 гг. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 7. Manifestations of geomagnetic bay-shaped earthquake precursors at the Chimion station in 2021-2023.

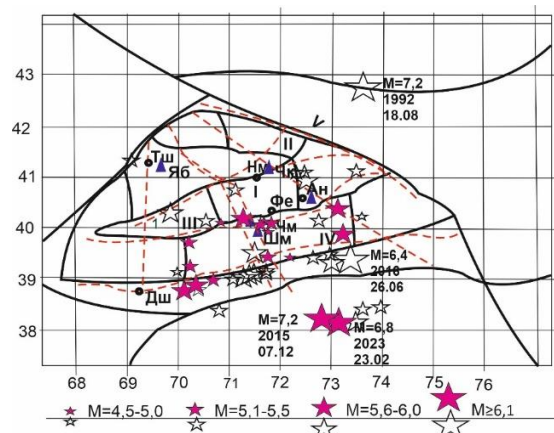


Рис. 8. Проявления геомагнитных бухтообразных предвестников землетрясений на станции Чимион в 1980-2023 гг. Закрашенные звездочки – случаи проявления предвестника землетрясения с соответствующей силой (M); не закрашенные – предвестники не проявились. Усл. обозн. см. на рис. 2.

Fig. 8. Manifestations of geomagnetic bay-shaped earthquake precursors at the Chimion station in 1980-2023.

Из рис. 2-8 видно, что ст. Чимион в основном реагировала на землетрясения $M \geq 4,5-6,0$, происшедшим на границе или внутри Южно-Тянь-Шаньского геодинамического блока II ранга (Атабеков и др., 2022). Аномалии имели форму положительной бухты, независимо от ориентации эпицентра землетрясений к станции их регистрации.

Исключение из вышесказанного – случаи сильнейших Сарезских землетрясений 2015 и 2023 гг., соответственно с $M = 7,3$ и $6,8$ (см. рис. 4, 7 и 8). Видимо, поле распространения напряжения подобных сильнейших землетрясений имеет существенные отличительные особенности от более слабых.

Обсуждение результатов

Прежде чем приступить к обсуждению результатов, считаем уместным привести некоторые справки об особенностях геолого-геофизических условий района расположения станции Чимион.

1. В геолого-тектоническом отношении район работы Чимионской прогностической станции расположен в пределах Южно-Тянь-Шаньского блока Западно-Тянь-Шаньской микроплиты (ЗТШМП) (Атабеков и др., 2022). Имеет размеры приблизительно 300 км на 100 км (30000 км²). Южно-Тянь-Шаньский блок, разграничивается со всех сторон активизированными разломами в сейсмотектоническом узле (рис. 9).

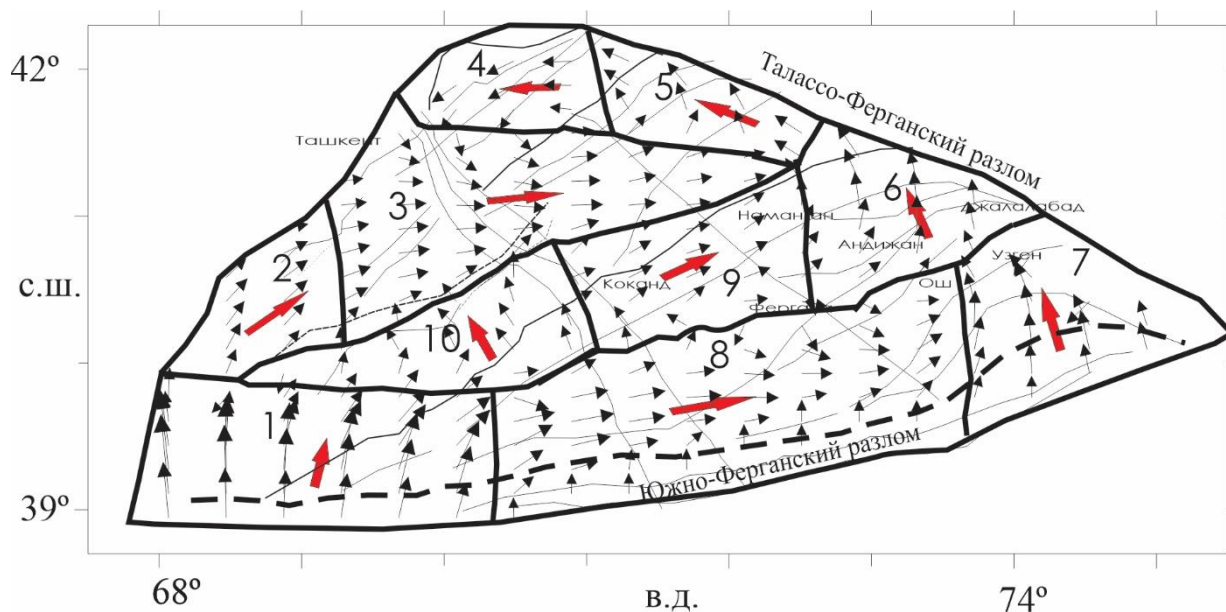


Рис. 9. Сгруппированные по направлениям скорости перемещений из решения модельной задачи. Тонкие линии – разломы высших рангов, установленные по тектоническим данным (Атабеков и др., 2022).

Fig. 9. The displacement velocities grouped by directions from the solution of the model problem. Thin lines are faults of higher ranks, established according to tectonic data (Atabekov et al., 2022).

Станция находится над или вблизи эксплуатируемых газонефтяных структур. В геологическом строении верхней части земной коры района Чимионской станции, по данным сотрудников объединения «Узбекгеофизика» (Бабаджанов и др., 1986), отложения представлены мощной толщей морских осадков, сложенных аргиллитами темно-серыми до черными, плотными (2,5-2,8 г/см³), трещиноватыми (трещины заполнены кальцитом, иногда белым ангидритом), очень крепкими, с редкими поропластами песчаников и алевролитов, редкими включениями доломита, кремнистого

материала, обугленных растительных остатков, ориентированное расположение которых обуславливает нечетко выраженную слоистость. По промыслово-геофизической характеристике они выделяются резким скачком удельных сопротивлений от 2,5 до 20-25 Ом·м (рис. 10).

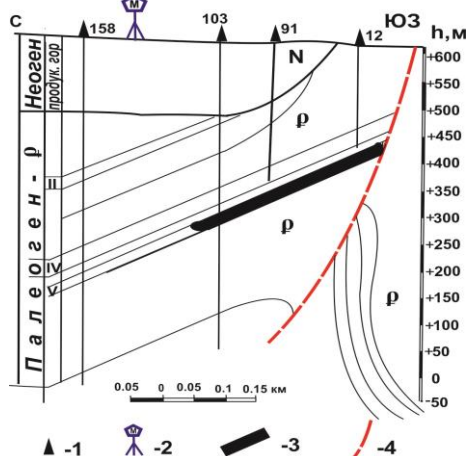


Рис. 10. Геологический профиль газонефтяного месторождения Чимион (по материалам объединения «Узбекгеофизика»), 1 – скважины; 2 – магнитометрическая станция; 3 – газонефтяной залежь; 4 – разлом.

Fig. 10. Geological profile of the Chimion gas and oil field (based on the materials of the Uzbekgeofizika association), 1 – wells; 2 – magnetometric station; 3 – gas and oil deposit; 4 – fault.

2. Станция Чимион расположена в сеймотектоническом узле, где пересекаются активизированные широтные Южно-Ферганский разлом и одноименная флексурно-разрывная зона с поперечным Кумбель-Памирским линеamentом. В этом районе находятся нефтегазоносные месторождения Чимион и Хонкыз. Магнитометрическая станция в основном работала вблизи или над газонефтеносными структурами. Эксплуатируемые газонефтяные горизонты месторождения Чимион находятся на глубинах $h = 200-300$ м (см. рис. 10), а месторождения Хонкыз – $h = 600-1100$ м.

3. Станция Чимион расположена в слабомагнитном поле ($\Delta T_a = 0-100$ нТл). Мощность мезо-кайнозойских образований, сложенных слабомагнитными и немагнитными породами, увеличивается от периферии к центру впадины. Магнитная восприимчивость их $10 \div 50 \times 10^{-6}$ СГС.

4. Интенсивность протекания внешних вариаций магнитного поля на этой станции на 30-80% выше, чем у всех остальных магнитометрических прогностических станций Узбекистана (Муминов и др., 1979; Муминов и др., 1986). Она расположена в максимальном участке проводимости региональной Южно-Тянь-Шаньской зоны аномальной электропроводности (ЮТАЭ) (Муминов и др., 1986; Бабаджанов и др., 1986) (рис. 11). Верхняя кромка ЮТАЭ находится в пределах 4-6 км. Суммарная проводимость достигает 350000 См. На глубине 4-14 км кажущееся сопротивление меняется от 10 до 0,1 Ом·м (Бабаджанов и др., 1986).

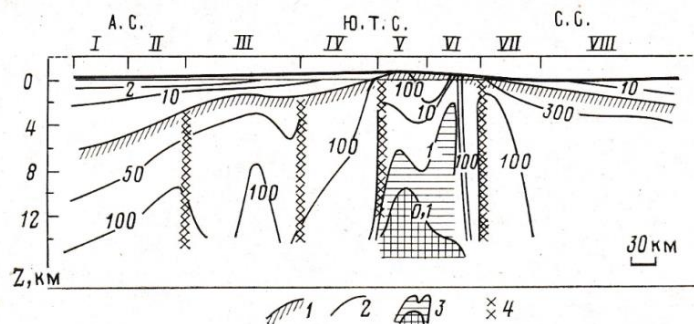


Рис. 11. Разрез сопротивлений по кривым $\rho//$, построенный с помощью трансформации Ниблетта-Витгенштейна, по Бабаджанову и др., 1986. 1 – кровли палеозойского фундамента; 2 – изодинамы сопротивлений в Ом м; 3 – области высокой электропроводности; 4 – глубинные

разломы. Синеклиза: А.С. – Амударьинская, Ю.Т.С. – Южно-Тянь-Шаньская, С.С. – Сырдарьинская.

Fig. 11. The resistance section along the curves p//, constructed using the Niblett-Wittgenstein transformation, by Babajanov et al., 1986. 1 – roofs of the Paleozoic foundation; 2 – iso-dynamic resistances in ohms m; 3 – areas of high electrical conductivity; 4 – deep faults. Synecline: AS – Amudarya, Y.T.S. – South Tien Shan, S.S. – Sirdarya.

5. Станция Чимион, имея повышенную чувствительность, реагирует в основном на землетрясения, происходящие в пределах Южно-Тянь-Шаньского блока, выделенные И.У.Атабековым и др., 2022 (см. рис. 2-8). Минимальная сила землетрясений, от которой можно ожидать предвестниковый сигнал, на станции Чимион $M = 4,5$. Статистика показывает, что из 11 случаев, происшедших в радиусе от ст. Чимион $R \leq 50$ км, были зарегистрированы предвестниковые сигналы всего 4 случая. Это составляет 36,34% от общего количества землетрясений, происшедших в $R \leq 50$ км. Более слабые $M \leq 4,5$ ($K \leq 12,0$) землетрясения в основном происходят без каких-либо предвестниковых сигналов. Значит, для того, чтобы обнаружить предвестниковый сигнал магнитного поля на ст. Чимион, приращение упругой потенциальной энергии должно превышать 10^{12} Джоуль. Результаты статистики чувствительности ст. Чимион в нормальные периоды ее функционирования приведены в табл. 1.

Так, за период 1980-2023 гг. (кроме периодов 1993-2005 и 2010-2013 гг.) в пределах всего Южно-Тянь-Шаньского блока произошли 67 землетрясений с $M \geq 4,5$. Если из 53 землетрясений с $M = 4,5-5,0$ в 5-ти случаях (9,4%) были зарегистрированы предвестниковые сигналы, то остальные 47 землетрясений с $M = 4,5-5,0$ произошли бесследно.

Таблица 1

Результаты статистики чувствительности магнитометрической станции Чимион к землетрясениям Южно-Тянь-Шаньского блока в периоды его нормального функционирования

Table 1

Results of statistics on the sensitivity of the Chimion magnetometric station to earthquakes of the South Tien Shan block during its normal operation

Период функционирования, годы	Ошибки отклонения среднесуточных значений ΔT от среднемесячных ($\sigma_{\text{ср}}^2$), нТл	Соотношение зарегистрированных предвестниковых сигналов землетрясений (по магнитуде) к общему количеству от аналогичных событий, происшедших в Южно-Тянь-Шанском блоке			
		$M = 4,5-5,0$	$M = 5,1-5,5$	$M = 5,6-6,0$	$M \geq 6,0$
1980-1988	$\pm 0,81$	2 / 8	1 / 1	1 / 1	0 / 0
1989-1992	$\pm 2,0-2,9$	0 / 13	2 / 3	1 / 1	0 / 0
1993-2005	-- -- --	-- -- --	- / -	-- -- --	-- -- --
2006-2009	$\pm 2,7$	0 / 7	0 / 1	1 / 1	1 / 1
2010-2013	$\pm 10,0$				
2014-2016	$\pm 0,8-1,0$	0 / 4	0 / 0	1 / 1	0 / 0
2017-2019	$\pm 0,8-1,7$	0 / 12	0 / 1	1 / 1	0 / 0
2019-2021	$\pm 0,3-0,5$	3 / 7	1 / 1	0 / 0	0 / 0
2021-2023		0 / 2	0 / 0	1 / 1	0 / 0
За весь период		5 / 53	4 / 7	6 / 6	1 / 1
Проявление предвестника, %		9,4%	57,1%	100%	100%

С увеличением силы землетрясения растет чувствительность станции к ним независимо от эпицентрального расстояния и географической ориентации – от 57,1 до 100% для землетрясений, происходящих только в пределах Южно-Тянь-Шаньского блока.

6. Уместно отметить, что знак бухтообразного среднепериодного сигнала в единственном случае его регистрации над очагом землетрясения был отрицательным (пример – предвестниковый сигнал от Чимионского землетрясения 06.05.1982 г.). В остальных 16 случаях возникновения

землетрясений очаги располагались вдали от регистратора, сигналы были положительными (примеры на рис. 2-8).

7. Устойчивость особенностей и параметров чувствительности при перемещении места установки магнитометра в радиусе 5-8 км от КПС Чимион свидетельствует о том, что источник предвестниковых сигналов находится в глубоких слоях ($h = 5-30$ км) земной коры. Значит, природу подобных аномалий необходимо искать в глубинных геодинамических процессах, чем в эксплуатируемых пластах газонефтяных месторождений на глубинах 200-1100 м (рис. 10, 12).

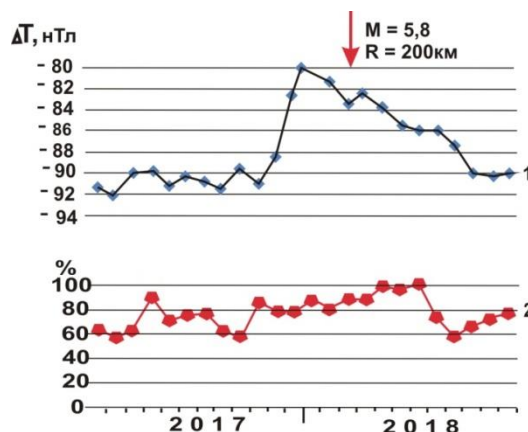


Рис. 12. График сопоставления ежемесячных вариаций геомагнитного поля (1) и изменения объема добычи нефти и воды (2) на месторождении Чимион. Стрелкой показан момент возникновения землетрясения с $M = 5,8$ в Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоне.

Fig. 12. Graph of comparison of monthly variations of the geomagnetic field (1) and changes in the volume of oil and water production (2) in the Chimion field. The arrow shows the moment of occurrence of an earthquake with $M = 5,8$ in the South Tian Shan seismogenic zone.

8. В повышенной чувствительности ст. Чимион можно еще раз убедиться, сопоставляя количество зарегистрированных предвестниковых геомагнитных сигналов на прогностических станциях Узбекистана.

Количество выявленных среднепериодных бухтообразных предвестниковых аномалий в зависимости от геолого-геофизических особенностей расположения прогностических станций распределено таким образом: ст. Чимион – 17 случаев; ст. Бухара – 6; ст. Цветущий – 5; ст. Хумсан и Шурчи – по 3; ст. Майск, Бахмал (Галляарал), Андижан, Маданият, Тамдыбулак – по 2; ст. Самарканд (Каратапа), Ташата – по 1 случаю.

Предвестники специфически ступенчатой формы обнаружены на ст. Чартак 6 раз, Хумсан и Коканд – по 1 разу. Всего за период исследований – 54 раза. Значит, из 54 случаев (100%) регистрации предвестникового сигнала 17 случаев (31,5%) были зафиксированы на ст. Чимион. Остальные (68,5%) приходятся на долю других 14-ти станций.

Схожесть форм наблюдаемых бухтообразных предвестниковых аномалий магнитного поля и приращения упругой потенциальной энергии в моделях подготовки тектонического землетрясения (Добровольский, 1984) и близость выявленных зависимостей деформационного поля (наклоны земной поверхности) $lg\Delta t_a = 0,26M + 0,63$ (Яковлев и др., 1981) с геомагнитными $lg\Delta t_a = 0,27M + 0,84$ (Муминов 2012) свидетельствует об общности их источника, т. е. примерно одинаковом отклике их к приращениям упругой потенциальной энергии (ΔW) в зоне подготовки землетрясения.

В отношении прогнозирования места будущего землетрясения (см. табл. 1), станция Чимион реагирует в основном на землетрясения с $M = 4,5-6,0$, происходящих в пределах (по краям) Южно-Тянь-Шаньского блока (его размер 100×300 км). Это на сегодняшний день неплохой показатель мирового уровня. Данный показатель прогнозирования места возникновения землетрясения можно уменьшить примерно на один порядок при достаточности необходимой сети и использования в них результатов прогностических наблюдений.

В отношении чувствительности ст. Чимион к относительно сильнейшим землетрясениям региона можно констатировать тот факт, что в двух случаях проявления с юга землетрясений с $M = 7,2$ (2015 г.) и $M = 6,8$ (2023 г.) в районе оз. Сарез были отмечены предвестниковые сигналы, а в случае с Суусамырским землетрясением $M = 7,2$ (1992 г.) предвестники отсутствовали. Видимо, поля напряжений, создаваемые подготовкой землетрясений с $M \geq 6,5$, имеют отличительные региональные масштабы, чем остальные.

Точность определения времени возникновения землетрясения по среднесрочным предвестникам ст. Чимион в основном зависит от силы предстоящего события. Анализ связи бухтообразных аномальных эффектов с землетрясениями свидетельствует о том, что моменты землетрясений, как правило (90%), приходятся на фазу возвращения поля к исходному уровню после смены знака аномальности поля. Значит, по бухтообразным аномалиям можно прогнозировать момент землетрясения с точностью, в среднем соизмеримой с половиной длительности всего периода аномальных проявлений. Статистика сопоставления периодов возникновения землетрясений в течение фазы восстановления для ст. Чимион показывает, что из 17 случаев (30%) землетрясения возникают на завершающейся стадии фазы восстановления и в 30% – после полного его восстановления (в течение 1/8 части всего аномального периода Δt) (рис. 13). Этот показатель в некоторой степени конкретизирует (с определенной вероятностью) время возникновения землетрясения, которое составляет от 1-2 до 2-3 месяцев для среднeperиодных предвестников, для короткопериодных – от нескольких до 15-30 суток.

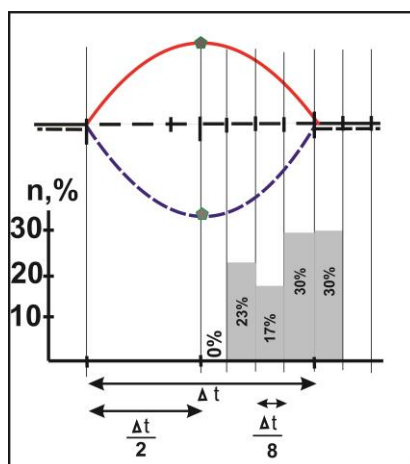


Рис. 13. Вероятностное время возникновения землетрясения в зависимости от стадии развития наблюдения среднeperиодной бухтообразной геомагнитной предвестниковой аномалии ст. Чимион (из 17 случаев, в процентах). Пятиугольник – экстремум (Ех) положительной или отрицательной предвестниковой аномалии; Δt – длительность проявления предвестниковой аномалии.

Fig. 13. Probabilistic time of occurrence of an earthquake depending on the stage of development of the observation of a medium-period bay-shaped geomagnetic precursor anomaly of the Chimion station (out of 17 cases in percent). The pentagon is the extremum (Еh) of a positive or negative precursor anomaly; Δt is the duration of the manifestation of the precursor anomaly.

Отметим, что появление короткопериодной аномалии в завершающейся стадии среднeperиодных аномалий существенно повысит точность прогнозирования времени землетрясения.

С увеличением экспериментальных данных будут выявлены качественно усовершенствованные критерии оценки параметров прогнозируемых землетрясений.

Заклучение

Отмеченные выше основные особенности геолого-геофизических условий и прохождения геомагнитных вариаций на прогностической станции Чимион позволяют в некоторой степени подвести итоги об относительно повышенной чувствительности ее к геодинамическим процессам.

На наш взгляд, относительно повышенная чувствительность станции определяется удачным выбором ее места расположения в геолого-геофизическом смысле:

- в пределах Южно-Тянь-Шаньского блока с относительно повышенной сейсмической активностью;
- в сеймотектоническом узле, образованном пересечением зоны динамического действия трех активизированных разломов. Так, горные породы этого района сильно разрыхлены и склонны к изменению своих физических свойств в результате меняющихся тектонических напряжений;
- на участке Южно-Тянь-Шаньской региональной зоны аномальной электропроводности.

Установленные факторы и некоторые изложенные предположения могут быть использованы в создании физико-механической модели течения самого процесса тектонического землетрясения и природы его предвестниковых сигналов.

В дальнейших исследованиях при выборе места установки новых магнитометрических станций для прогностических целей, а также при статистических оценках информативности станций рекомендуется учитывать вышеуказанный комплексный подход к решению этой проблемы.

Литература

1. Ибрагимов Р.Н. Сеймотектоника Ферганской впадины. - Т.: Фан, 1970. - 164.
2. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. - Т.: Фан, 1989. - 232 с.
3. Муминов М.Ю., Абдуллабеков К.Н., Шапиро В.А. Предварительные результаты геомагнитных исследований на Ферганском геодинамическом полигоне // Узб. геол. журн. - 1979. - № 2. - С. 26-29.
4. Муминов М.Ю., Абдуллабеков К.Н., Азизов Г.Ю., Шапиро В.А. Опыт прогноза сильного землетрясения в Ферганской депрессии по данным высокоточной магнитометрии // Узб. геол. журн. - 1989. - № 5. - С. 25-28.
5. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.В., Муминов М.Ю., Нурматов У.А., Нармирзаев Ф.Д. Магнитометрические исследования // Газлийское землетрясение 1976 г. Геолого-геофизическая природа очагов. - М.: Наука, 1984. - С. 168-183.
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. Муминов М.Ю., Шапиро В.А., Абдуллабеков К.Н. Региональная аномалия электропроводности по материалам высокоточной магнитометрии в Узбекистане // Узб. геол. журн. - 1986. - № 4. - С. 20-23.
8. Бабаджанов Т.Л., Басов М.Д., Гатина Р.М., Аширматов Л.С., Беляевский В.В., Каржаев А.Т., Таль-Вирский Б.Б., Дубровский В.Г., Бердичевский М.Н., Яковлев А.Г., Файнберг Э.Б. Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1986. - № 7. - С. 79-90.
9. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. - М.: Наука, 1984. - 188 с.
10. Яковлев В.Н., Яковлева И.В., Барабохина Г.П. Статистический анализ деформаций предвестников землетрясений // Информационное сообщение АН УССР № 253. - Т.: Фан, 1981. - 12 с.
11. Муминов М.Ю. Типизация геомагнитных предвестников землетрясений // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - Т.: ИС АН РУз, 2012. - № 9. - С. 26-35.

ЧИМИОН МАГНИТОМЕТРИК СТАНЦИЯСИНИНГ ЗИЛЗИЛАЛАРНИ ПРОГНОЗ ҚИЛИШДАГИ ИМКОНИЯТЛАРИ

М.Ю.Муминов, А.У.Ганиев, М.З.Мирзоидов, У.Ч.Жабборов

Аннотация. Ўзбекистондаги 40 йиллик изланишлар асосида геомагнит зилзила даракчиларининг Чимион станциясида Жанубий Тиён-Шонда бўладиган зилзилаларни юқори сезувчанлиги худуднинг геолог-геофизик шароитлари билан боғланади. Хусусан станциянинг жойлашуви худудда учта фаол ер узулишларини динамик таъсир майдонларини кесишганлиги; уни регионал аномал электр ўтказувчи зонанинг максимал ўтказувчи қисмида жойлашганлиги деб эътироф этилади.

Таянч сўзлар: зилзила, даракчи, геомагнит майдон, аномалия, узокликка, прогнозлаш тарқалиши.

CAPABILITIES OF CHIMION ABOUT THE INCREASED SENSITIVITY OF THE CHIMION GEOMAGNETIC PREDICTIVE STATION MAGNETOMETRIC STATION IN EARTHQUAKE PREDICTION

M.Yu.Muminov, A.U.Ganiev, M.Z.Mirzoidov, U.Ch.Zhabborov

Annotation. Based on 40 year old geomagnetic stationary studies, the increased sensitivity of the Champion Station to earthquakes in the Southern Tien Shan is associated with the geological and geophysical conditions of the area. Namely, the location of the station in the zone of dynamic action formed by the intersection of three activated faults in this area, as well as its location in the maximum area of electrical conductivity of the regional electrical conductivity anomaly.

Key words: earthquake, harbinger, geomagnetic field, anomaly, propagation range, forecasting.

УДК 550.38 550 343(375.1)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПЕРИОДА ЕГО ПОДГОТОВКИ КАК ПРОЦЕССА, РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ В РЕЖИМЕ С ОБОСТРЕНИЕМ

В.В.Нагорный

Сумской государственный университет, г. Сумы, Украина

Аннотация. Рассмотрена методика прогнозирования землетрясений, основанная на допущении о том, что процесс подготовки землетрясения можно отнести к процессам, развивающимся в режиме с обострением. Свойства методики продемонстрированы на примере ретропрогноза ряда землетрясений, проведенного на основе исходных данных, полученных учеными-сейсмологами Республики Узбекистан. Результаты апробирования методики подтвердили предположение о том, что процесс подготовки землетрясения можно сопоставить с процессом, развивающимся в режиме с обострением, и получить на основе этого прогноз времени обострения сейсмообстановки в заданном сейсмоопасном регионе.

Ключевые слова: прогноз землетрясения, режим с обострением, время обострения сейсмообстановки.

Введение. Узбекистан расположен в сейсмоопасном регионе, поэтому проблеме прогнозирования землетрясений в стране уделяется много внимания. За последние 50-60 лет в этой области знаний получены многочисленные уникальные результаты [1, 2]:

- созданы геодинамические полигоны;
- организован мониторинг комплекса геолого-геофизических методов;
- доказано наличие достоверных и перспективных предвестников землетрясений и установлены их пространственно-временные закономерности;
- разработаны модели очага и процессов подготовки землетрясений.

Все это позволяет разрабатывать научные основы эффективных методик прогнозирования землетрясений. Одна из подобных методик предлагается к рассмотрению.

Цель и метод исследования

Целью исследований явилась разработка методики прогнозирования землетрясений.

Метод исследований заключался в представлении периода подготовки землетрясения, как процесса, развивающегося в режиме с обострением.

Режим с обострением описывается динамическим законом, при котором величина, характеризующая текущее состояние системы, значительно возрастает за конечный промежуток времени [3].

Подобные режимы описываются следующим уравнением:

$$\frac{dx}{dt} = x^{1+1/\alpha}. \quad (1)$$

Решение этого уравнения неограниченно возрастает при приближении к моменту обострения t_f :

$$x(t) \sim (t_f - t)^{-\alpha}. \quad (2)$$

Для получения приемлемого для практики решения (2) переходят от действительного показателя α к комплексному $\alpha + \beta i$, что позволяет получить уравнение:

$$x(t) = \operatorname{Re} \sum_k a_k (t_f - t)^{-\alpha + k\beta i} = (t_f - t)^{-\alpha} \cdot P(\log(t_f - t)). \quad (3)$$

Сомножитель $P(\cdot)$ является логопериодической функцией (4).

$$P(t) = \left(a_1 \cos \left(\beta \cdot \operatorname{Ln} \frac{t_f - t}{\tau} \right) \right). \quad (4)$$

Выражение (3) представляет гладкий тренд, на который накладываются логопериодические колебания, служащие предвестниками приближения к моменту обострения t_f (в данном случае, времени землетрясения). При $t \rightarrow t_f$ частота колебаний β стремится к бесконечности, что соответствует требованиям динамического закона, которому следует режим с обострением. Непрерывное возрастание частоты β логопериодических колебаний позволяет им задолго до момента обострения t_f чувствительно реагировать на протекание катастрофически развивающихся процессов.

Рассмотрим процесс подготовки землетрясения как развивающийся в режиме с обострением, полагая, что время подготовки землетрясения t по мере приближения землетрясения стремится к моменту обострения t_f ($t \rightarrow t_f$) и в момент возникновения землетрясения совпадает с ним ($T = t_f$).

Прогностический признак, регистрируемый в процессе наблюдения за сейсмообстановкой, рассматривается как информационный сигнал $A_{\text{ИНФ}}$, состоящий, в соответствии с (3), из суммы гладкой (трендовой) $B_{\text{ТР}}$ и периодической $A_{\text{ПЕР}}$ составляющих [3].

$$A_{\text{ИНФ}} = B_{\text{ТР}} + A_{\text{ПЕР}}. \quad (5)$$

Периодическая составляющая $A_{\text{ПЕР}}$ играет в методике ключевую роль. «Периодические процессы вообще, по-видимому, одна из основ для построения теорий в самых различных областях. Периодичность – регулярное повторение чего-либо во времени и (или) в пространстве – убеждает нас в познаваемости мира, в причинной обусловленности явлений. В сущности, периодичность – основа мировоззрения детерминизма. Понимание ее природы позволяет предсказывать события, скажем, затмения или появление комет. А такие предсказания – главное доказательство силы науки» [4].

В связи с этим в процессе прогнозирования анализу подвергалась именно периодическая составляющая $A_{\text{ПЕР}}$. С этой целью она выделялась из исходного информационного сигнала $A_{\text{ИНФ}}$. Это осуществлялось путем разложения последнего на эмпирические моды [5]:

$$A_{\text{ПЕР}} = -0.25 A_{\text{ИНФ}_{i-1}} + 0.5 A_{\text{ИНФ}_i} - 0.25 A_{\text{ИНФ}_{i+1}}. \quad (6)$$

Решение задачи прогнозирования осуществлялось путем определения коэффициентов модели $A_{\text{МОД}}$ периодической составляющей $A_{\text{ПЕР}}$. В качестве модели использовалась логопериодическая функция (4), представленная в удобном для дальнейших расчетов и привычном для гармонических функций виде (7):

$$A_{\text{МОД}} = A_0 \cos[\omega \cdot \operatorname{Ln}(T - t_i) + \varphi] \quad (7)$$

Выражение (7) содержит четыре неизвестных параметра: амплитуду периодической составляющей – A_0 ; время землетрясения – T , частоту – ω и фазу колебаний – φ . Эти величины определяются в результате численного решения системы нелинейных уравнений (8). Система (8) составлена на основе знания аргументов периодической составляющей $A_{\text{ПЕР}}$ (6) t_n , на которые приходятся ее совпадающие по знаку экстремумы:

$$\begin{cases} \ln(T - t_n) - \ln(T - t_{n+1}) = \frac{2\pi}{\omega}, \\ \ln(T - t_{n+1}) - \ln(T - t_{n+2}) = \frac{2\pi}{\omega}. \end{cases} \quad (8)$$

При численном решении системы (8) получают следующие выражения (9) для коэффициентов модели (7) [6]:

$$\begin{aligned} T &= \frac{t_{n+1}^2 - t_{n+2}t_n}{2t_{n+1} - t_{n+2} - t_n}, \\ \omega &= 2\pi / \ln(\rho), \\ \varphi &= \pi - \omega \cdot \ln(T - t_{n+2}), \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь $\rho = \frac{t_{n+1} - t_n}{t_{n+2} - t_{n+1}}$ – временной параметр ($\rho > 1$); t_n, t_{n+1}, t_{n+2} – время, на которое приходятся

последовательно расположенные и имеющие один знак экстремумы периодической составляющей.

Решение системы (8) осуществляется следующим образом:

- выделяется не менее трех, отстоящих друг от друга по фазе на угол 2π , последовательных и одинаковых по знаку (максимум или минимум) локальных экстремумов периодической составляющей $A_{ПЕР}$;

- фиксируется время t , на которое приходятся найденные экстремумы (t_n, t_{n+1}, t_{n+2});

- рассчитывается параметр ρ , характеризующий взаимосвязь между интервалами по времени, отделяющими друг от друга последовательно расположенные совпадающие по знаку экстремумы.

Параметр ρ должен превышать единицу, что свидетельствует о характерном для логопериодической функции уменьшении с течением времени периода ее колебаний. Уменьшение периода ведет к росту частоты колебаний логопериодической функции, что является особенностью поведения процессов, функционирующих в режиме с обострением.

Выявление данной закономерности при анализе периодической составляющей $A_{ПЕР}$ свидетельствует о том, что прогностический признак описывает сейсмообстановку как процесс, действительно относящийся к процессу, развивающемуся в режиме с обострением.

Для проверки правильности полученных значений неизвестных (9), а также в случае их уточнения, минимизируется разница (10) между переменной составляющей $A_{ПЕР}$ (6) и ее моделью $A_{МОД}$ (7):

$$\sum_i^k (A_{ПЕРi} - A_{МОДи})^2 \Rightarrow \min. \quad (10)$$

Здесь k – число значений периодической составляющей (6).

В сейсмологии переменная составляющая $A_{ПЕР}$ (6), как правило, является не одно-, а многочастотным колебанием, поэтому для повышения качества прогнозирования (точности нахождения параметров (9)) в качестве ее модели $A_{МОД}$ следует применять тригонометрический полином (ряд Фурье (11)), составленный из нескольких логопериодических функций:

$$A_{МОД} = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^m \left[a_k \cos(k \cdot \omega \cdot \ln(T - t_i)) + b_k \sin(k \cdot \omega \cdot \ln(T - t_i)) \right]. \quad (11)$$

Здесь m – число членов ряда Фурье. Коэффициенты ряда a_0, a_k, b_k определяются из следующих выражений:

$$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \frac{1}{T - t} dt, \\ a_k = \frac{2}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \cos\left(k \cdot \frac{2\pi}{t_0 - t_m} \cdot \ln(T - t)\right) \cdot \frac{1}{T - t} dt, \\ b_k = \frac{2}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \sin\left(k \cdot \frac{2\pi}{t_0 - t_m} \cdot \ln(T - t)\right) \cdot \frac{1}{T - t} dt. \end{cases} \quad (12)$$

Результаты и их обсуждение. Ниже приведены примеры использования рассматриваемой методики прогнозирования землетрясений. Демонстрация методики проводилась при ретропрогнозе, осуществленном на основе исходных данных, полученных на протяжении ряда лет учеными-сейсмологами Узбекистана [1, 2].

Информация собиралась в периоды, предшествовавшие Таваксайскому [1] (рис. 1) и Алайскому [2] землетрясениям (рис. 4), а также в периоды регистрации аномальных вариаций магнитного поля на ст. Чимион [2] (рис. 7) и ступенчатой специфической вариации магнитного поля на ст. Коканд [2] (рис. 10).

Проведенный согласно данной методике анализ исходных данных предусматривал:

- выделение периодической составляющей $A_{ПЕР}$ из исходного сигнала $A_{ИНФ}$, описывающего прогностический признак каждого из землетрясений (рис. 2, 5, 8, 11);
- аппроксимацию периодической составляющей $A_{ПЕР}$ ее моделью $A_{МОД}$ (см. рис. 2, 5, 8, 11);
- представление результатов прогноза в графической (рис. 3, 6, 9, 12), текстовой (Протокол № 1-№ 4) и табличной (табл. 1-4) формах.

Таваксайское землетрясение 6 декабря 1977 г.

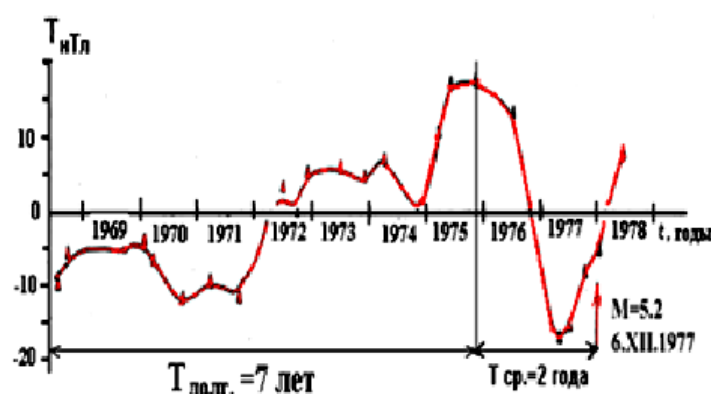


Рис. 1. Исходные данные для прогнозирования Таваксайского землетрясения [1].
Результаты прогнозирования Таваксайского землетрясения.

Fig. 1. Initial data for forecasting the Tavaksai earthquake [1].
The results of the Tavaksai earthquake prediction.

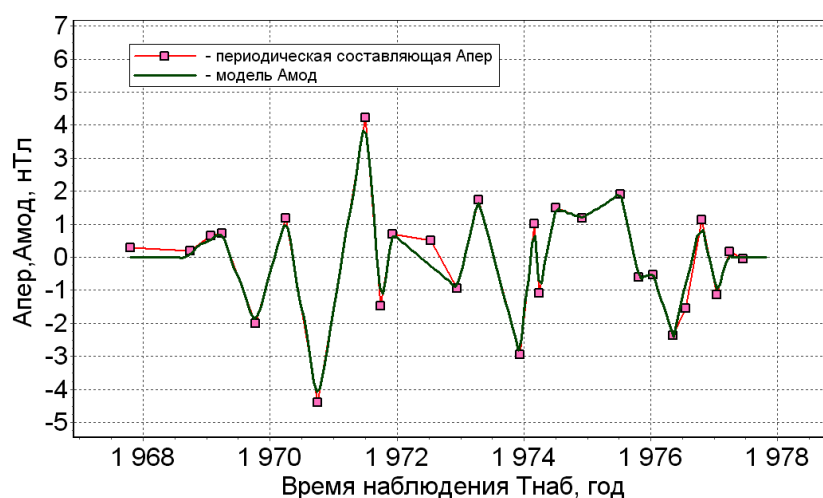


Рис. 2. Аппроксимация периодической составляющей $A_{ПЕР}$ магнитного поля, зафиксированного накануне Таваксайского землетрясения ее моделью $A_{МОД}$.

Fig. 2. Approximation of the periodic component of the magnetic field apertures recorded on the eve of the Tavaksai earthquake by its A_{MOD} model.

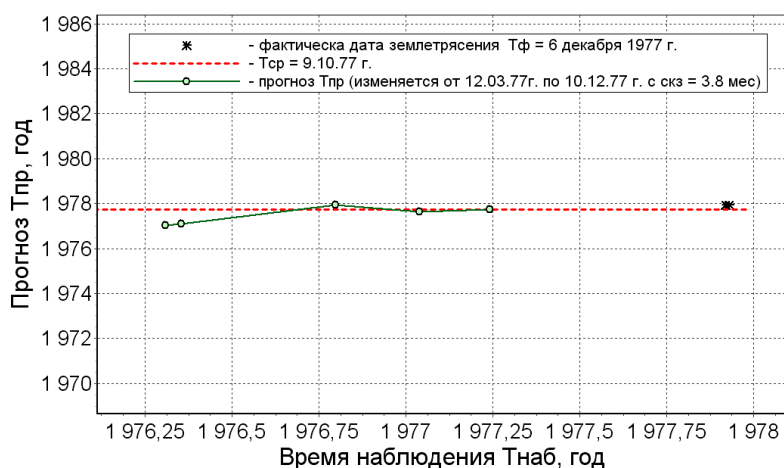


Рис. 3. Прогноз Таваксайского землетрясения и его фактическая дата.

Fig. 3. Forecast of the Tavaksai earthquake and its actual date.

Протокол № 1
среднесрочного прогноза Таваксайского землетрясения

===== Дата прогнозирования: 16.10.1976 г. =====				
ПРОГНОЗ:				
Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:				
10.12.1977 г.				
и изменяется с доверительной вероятностью $P = 0,95$ в следующих границах:				
от 6.12.1977 г. до 14.12.1977 г.				
Краткосрочный прогноз Таваксайского землетрясения				
Таблица 1 Прогноз землетрясения (фактическая дата землетрясения 6.12.1977)				
Дата прогнози-рования	8.5.1976	17.10.1976	14.1.1977	27.3.1977
Прогноз даты землетрясения	8.2.1977	11.12.1977	17.8.1977	1.10.1977
Отклонение прогноза от фактической даты	1.1 %	-0.0 %	0.4 %	0.3 %
Отклонение прогноза от фактической даты в сутках	-301.78	5.17	-110.72	-65.79

Алайское землетрясение 1 ноября 1978 г.

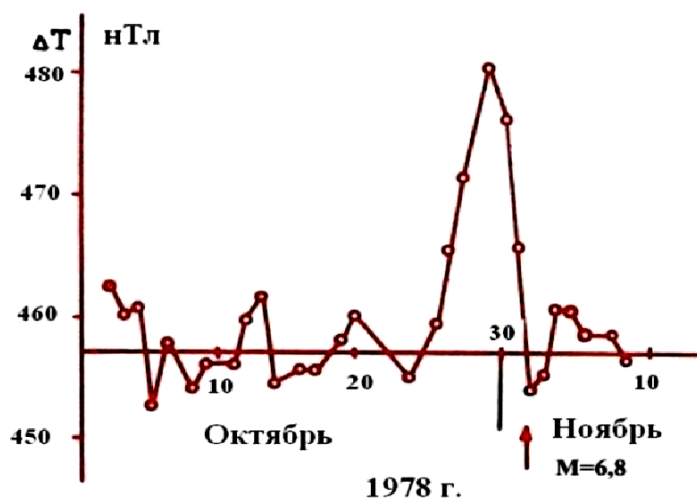


Рис. 4. Исходные данные для прогнозирования Алайского землетрясения [2]

Fig. 4. Initial data for forecasting the Altai earthquake [2]

Результаты прогнозирования Алайского землетрясения

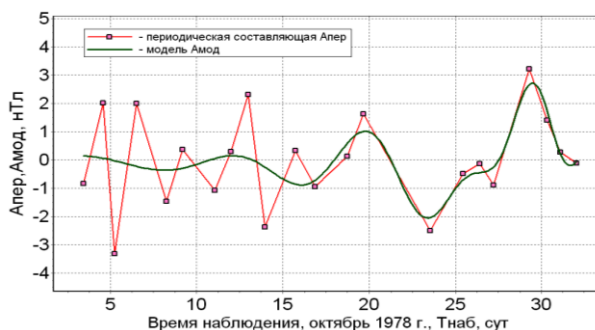


Рис. 5. Аппроксимация периодической составляющей $A_{\text{ПЕР}}$ короткопериодной предвестниково-вой аномалии магнитного поля, зафиксированной накануне Алайского землетрясения, ее моделью $A_{\text{МОД}}$.

Fig. 5. Approximation of the periodic component of the operas of the short-period precursor magnetic field anomaly recorded the day before The Alai earthquake, its model is $A_{\text{МОД}}$.



Рис. 6. Прогноз Алайского землетрясения и его фактическая дата.

Fig. 6. Forecast of the Altai earthquake and its actual date.

Протокол № 2
среднесрочного прогноза Алайского землетрясения

===== Дата прогнозирования: 28.10.1978 г. =====	
ПРОГНОЗ:	
Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:	
2.11.1978 г.	
и изменяется с доверительной вероятностью $P = 0,95$ в следующих границах:	
от 22.10.1978 г. до 11.11.1978 г.	
Краткосрочный прогноз Алайского землетрясения	

Таблица 2

Прогноз землетрясения
(фактическая дата землетрясения 2.11.1978)

Дата прогнози- рования	24.10.1978	26.10.1978	27.10.1978	29.10.1978
Прогноз даты землетрясения	18.8.1979	23.11.1978	3.11.1978	3.11.1978
Отклонение прогноза от фактичес- кой даты	-1.1 %	-0.1 %	-0.0 %	-0.0 %
Отклонение прогноза от фактической даты в сутках	290.50	21.70	0.80	0.80

**Прогнозирования на основе ступенчатой специфической
вариации магнитного поля на ст. Коканд**

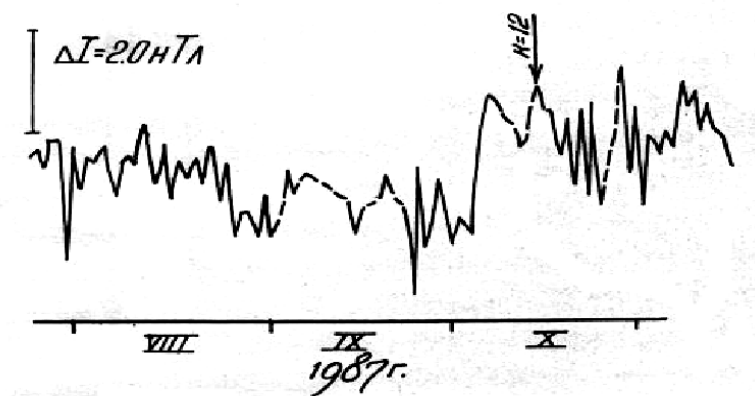


Рис. 7. Исходные данные для прогнозирования на основе ступенчатой специфической аномалии магнитного поля на ст. Коканд [2].

Fig. 7. Initial data for forecasting based on a step-specific anomaly of the magnetic field at art. Kokand [2].

Результаты прогнозирования землетрясения по данным ст. Коканд

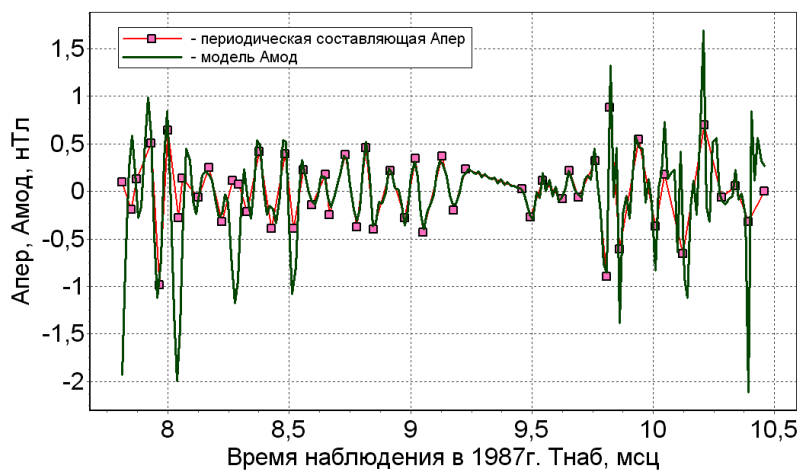


Рис. 8. Аппроксимация периодической составляющей $A_{пер}$ ступенчатой специфической аномалии магнитного поля на ст. Коканд моделью $A_{мод}$.

Fig. 8. Approximation of the periodic component of the operas of a step-specific magnetic field anomaly at art. Kokand by the A_{MOD} model.

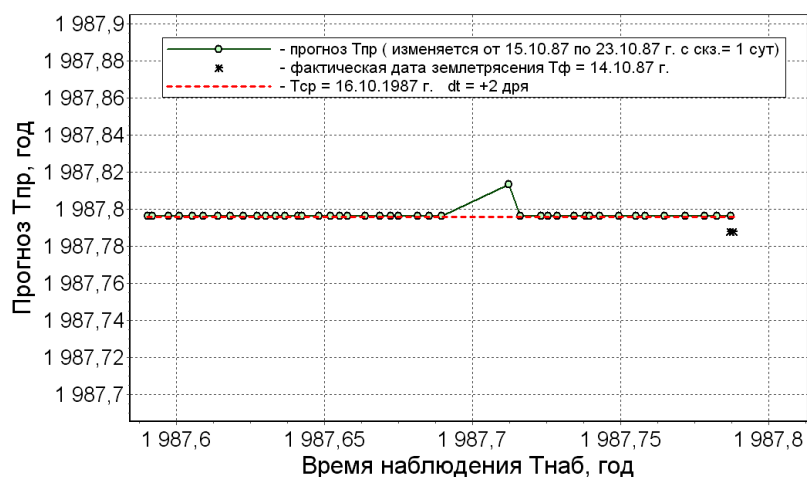


Рис. 9. Прогноз и фактическая дата землетрясения по данным ст. Коканд.

Fig. 9. Forecast and actual date of the earthquake according to art. Kokand.

Протокол № 3
Прогноз по данным ст. Коканд

=====

|| Дата прогнозирования: ||

|| 11.10.1987 г. ||

=====

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

17.10.1987 г.

и изменяется с доверительной вероятностью $P = 0,95$ в следующих границах:

от 16.10.1987 г. до 17.10.1987 г.

Краткосрочный прогноз землетрясения по данным ст. Коканд

Таблица 3

Прогноз землетрясения
(фактическая дата землетрясения 14.10.1987)

Дата прогнозирования	8.10.1987	10.10.1987	12.10.1987	14.10.1987
Прогноз даты землетрясения	16.10.1987	16.10.1987	16.10.1987	16.10.1987
Отклонение прогноза от фактической даты	-0.0 %	-0.0 %	-0.0 %	-0.0 %
Отклонение прогноза от фактической даты в сутках	2.07	2.07	2.07	2.07

Прогнозирование на основе аномальных вариаций магнитного поля на ст. Чимион

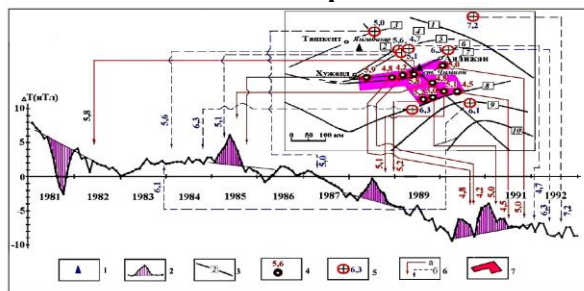


Рис. 10. Исходные данные для прогнозирования на основе аномальных вариаций магнитного поля на ст. Чимион [2].

Fig. 10. Initial data for forecasting based on anomalous variations of the magnetic field at the station Chimion [2].

Результаты прогнозирования землетрясения по данным ст. Чимион

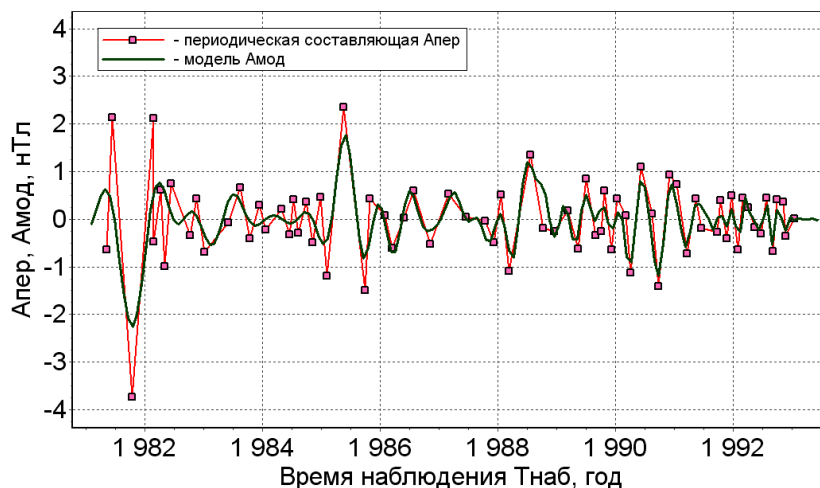


Рис. 11. Аппроксимация моделью $A_{мод}$ периодической составляющей $A_{пер}$ аномальных вариаций магнитного поля на ст. Чимион в 1981-1992 гг.

Fig. 11. Approximation by the model of the modes of the periodic component of the operas of anomalous variations of the magnetic field at the station Champion in 1981-1992.

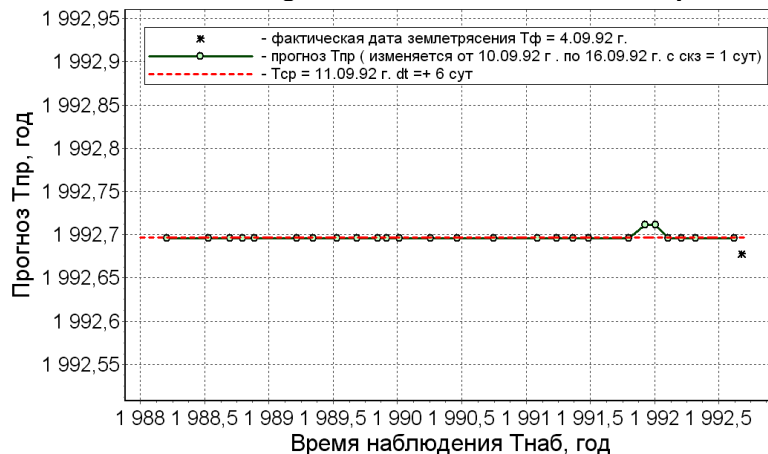


Рис. 12. Прогноз землетрясения по данным ст. Чимион и его фактическая дата.

Fig. 12. Earthquake forecast according to the Chimion station and its actual date.

Протокол № 4
среднесрочного прогноза по данным ст. Чимион

ПРОТОКОЛ прогноза землетрясения	
===== Дата прогнозирования: 13.8.1992 г. =====	
ПРОГНОЗ: Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет: 10.9.1992 г. и изменяется с доверительной вероятностью $P = 0,95$ в следующих границах: от 9.9.1992 г. до 10.9.1992 г. Краткосрочный прогноз землетрясения по данным ст. Чимион	

Таблица 4
Прогноз землетрясения
(фактическая дата землетрясения 4.9.1992)

Дата				
прогнози- рования	7.2.1992	17.3.1992	27.4.1992	14.8.1992
Прогноз даты землетрясения	10.9.1992	10.9.1992	10.9.1992	10.9.1992
Отклонение прогноза от фактичес- кой даты	-0.0 %	-0.0 %	-0.0 %	-0.0 %
Отклонение прогноза от фактической	6.55	6.55	6.55	6.55
даты в сутках				

В табл. 5 приведены сводные данные по отклонению прогноза от фактической даты землетрясений.

Фактическая и прогнозная даты землетрясения и их отличие

Таблица 5

Actual and forecast dates of the earthquake and their difference

Table 5

Название землетрясения (природа исходных данных)	Фактическая дата землетрясения	Прогноз даты землетрясения	Отклонение прогноза от фактиче- ской даты землетрясения dt, сутки
Таваксайское	06.12.1977 г.	11.12.1977 г.	5
Алайское	02.11.1978 г.	03.11.1978 г.	1
Ступенчатая специфическая аномалия магнитного поля на ст. Коканд	14.10.1987 г.	16.10.1987 г.	2
Аномальная вариация магнитного поля на ст. Чимион в 1981-1992 гг.	04.09.1992 г.	10.09.1992 г.	6

На рис. 13-16 для каждого из землетрясений показано изменение по мере приближения к моменту землетрясения частоты периодической составляющей.

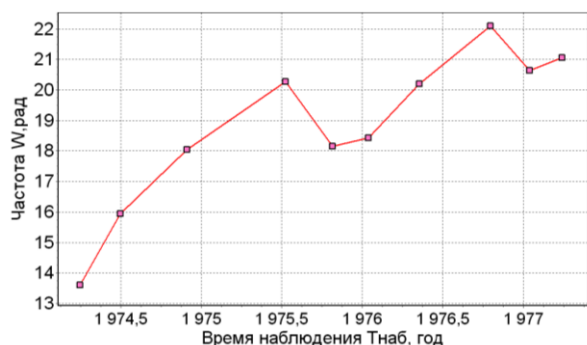


Рис. 13. Изменение частоты периодической составляющей в период подготовки Таваксайского землетрясения

Fig. 13. Change in the frequency of the periodic component during the preparation of the Tavaksai earthquake.

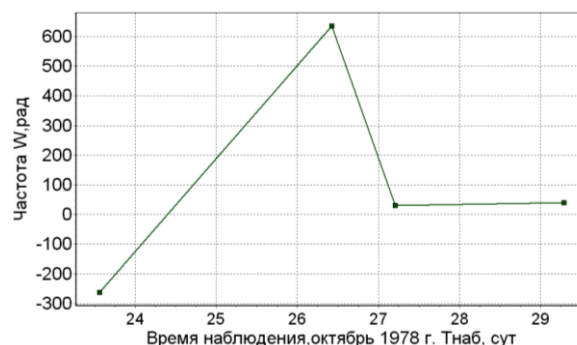


Рис. 14. Изменение частоты периодической составляющей в период подготовки Алайского землетрясения.

Fig. 14. Change in the frequency of the periodic component during the preparation of the Altai earthquake.

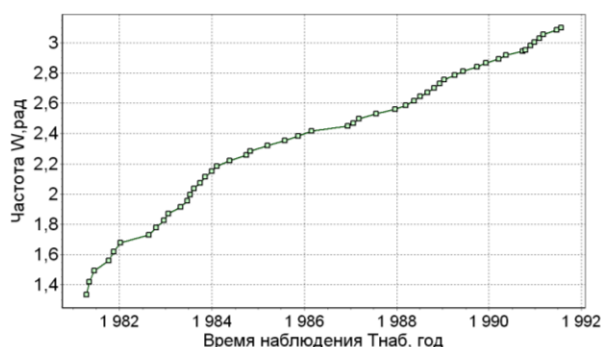


Рис. 15 Изменение частоты периодической составляющей в период подготовки Чимонского землетрясения

Fig. 15 Change in the frequency of the periodic component during the preparation of the Champion earthquake

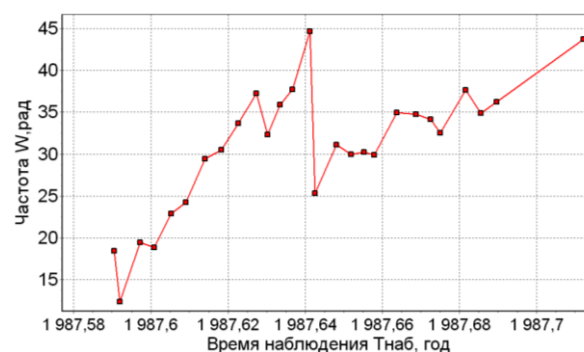


Рис. 16 Изменение частоты периодической составляющей в период подготовки Кокандского землетрясения

Fig. 16 Change in the frequency of the periodic component during the preparation of the Kokand earthquake

Применение рассмотренной в статье методики прогнозирования подтвердило заложенное в ее основу предположение о том, что процесс подготовки землетрясения следует отнести к процессу, развивающемуся в режиме с обострением.

Из исходных данных, описывающих траекторию прогностического признака (см. рис. 1, 4, 7, 10), удалось выделить периодическую составляющую (см. рис. 2, 5, 8, 11), что соответствует особенностям протекания процессов, развивающихся в режиме с обострением.

Идентификация параметров модели периодической составляющей, в качестве которой использовалась логопериодическая функция, позволила:

- составить прогноз времени землетрясения (см. рис. 3, 6, 9, 12);
- определить частоту периодической составляющей и рассмотреть ее поведение по мере приближения землетрясения (см. рис. 13-16).

Отклонение прогноза от фактической даты землетрясения находилось в пределах от 1 до 6 суток (см. табл. 5, Протоколы № 1-4, табл. 1-4). Частота периодической составляющей по мере приближения к моменту обострения (в данном случае времени землетрясения), как и следовало ожидать, возрастает (рис. 13-16).

Выводы

1. Разработана и апробирована на основе сведений о прогностических признаках землетрясений, полученных учеными-сейсмологами Узбекистана, методика прогнозирования землетрясений.
2. Апробация методики подтвердила предположение о том, что период подготовки землетрясения можно рассматривать как процесс, развивающийся в режиме с обострением.
3. В качестве модели периодической составляющей используется логопериодическая функция, идентификация параметров которой позволяет определять момент обострения сейсмообстановки на наблюдаемой территории, заканчивающийся землетрясением.

Литература

1. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Состояние научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений и дальнейшие пути их развития // Проблемы сейсмологии. - Т.: ИС АН РУз, 2021. - № 2. - Т. 3. - С. 17-27.
2. Муминов М.Ю., Кучкаров К.И., Каримов Ж. и др. О дальности распространения геомагнитных предвестников землетрясений // Там же. - С. 34-51.
3. Подлазов А.В. Режимы с обострением с комплексными показателями. Логопериодические колебания в модели разрыва пучка волокон // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. - 2009. - № 35.
4. Шноль С.Э. Глава 11. Б.П.Белоусов и его колебательная реакция // Герои и злодеи российской науки. - М.: Крон-Пресс, 1997. - С. 144-166.
5. Мясникова Н.В., Долгих Л.А., Мясникова М.Г. Применение разложения по эмпирическим модам в задачах цифровой обработки сигналов // Датчики и системы. - 2011. - № 5. - С. 8-10.
6. Уренцов О. В. Проверка возможности предсказания кризисов на финансовом рынке с помощью метода Д. Сорнетте // Тр. ИСА РАН. - 2008. - Т. 40. - С. 174-191.

ZILZILANI PROGNOZ QILISH, UNGA TAYYORGARLIK DAVRINI PORTLASH REJIMIDA RIVOJLANAYOTGAN JARAYON SIFATIDA KO'RSATISH

V.V.Nagorny

Annotasiya. Zilzilalarni bashorat qilish usuli ko'rib chiqiladi. Texnika zilzilaga tayyorgarlik jarayoni portlash rejimida rivojlanayotgan jarayonlar bilan bog'liq bo'lishi mumkin degan taxminga asoslanadi. Texnikaning xususiyatlari O'zbekiston Respublikasi seysmologlari tomonidan olingan dastlabki ma'lumotlar asosida amalga oshirilgan bir qator zilzilalarning retro prognozi misolida ko'rsatilgan. Metodologiyani sinovdan o'tkazish natijalari zilzilaga tayyorgarlik jarayonini kuchayish rejimida rivojlanayotgan jarayon bilan taqqoslash mumkin degan taxminni tasdiqladi va shu asosda ma'lum bir seysmik vaziyatda seysmik vaziyatning kuchayishi vaqtini prognoz qilish mumkin. xavfli hududni olish mumkin.

Kalit so'zlar: zilzila prognozi, kuchayish rejimi, seysmik kuchayish vaqti.

EARTHQUAKE PREDICTION BASED ON PRESENTING HIS PREPARATION PERIOD AS A BLUE-UP PROCESS

V.Nahorny

Annotation. The method of forecasting earthquakes is considered. The technique is based on the assumption that the process of preparing an earthquake can be attributed to the processes developing in the blow-up mode. The properties of the technique are demonstrated on the example of a retro forecast of a number of earthquakes, carried out on the basis of the initial data obtained by seismologists of the Republic of Uzbekistan. The results of testing the methodology confirmed the assumption that the process of preparing an earthquake can be compared with the process developing in the blow-up mode and, on the basis of this, a forecast of the time of aggravation of the seismic situation in a given seismically hazardous region can be obtained.

Key words: earthquake forecast, blow-up, seismic aggravation time.

SEYSMOTЕКТONIKA VA GEODINAMIKA

УДК 551.243

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ И АКТИВНОСТИ РАЗЛОМОВ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

У.А.Нурматов, Ю.М.Садыков, В.Р.Юсупов, З.Ф.Шукуров

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент

Аннотация. Представлены результаты комплексного изучения пространственного положения активных разломов района гор Бельтау и Кульджуктау Западного Узбекистана сейсмотектоническими и инструментальными геофизическими методами. С целью выявления пространственных неоднородностей, являющихся вероятными границами блоков земной коры, разделенных разломами, проведены высокоточные магнитометрические и радиометрические съемки по заложенным профилям. Путем совместного анализа полученных результатов с результатами сейсмотектонических исследований получена детальная информация о системе разломов, являющаяся геологической основой выделенной Северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоны.

Ключевые слова: сейсмотектоника, активные разломы, новейшие движения, сейсмогенные зоны, геомагнитное поле, радиоактивное поле, аномальные поля, землетрясения.

Введение

После Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. интерес к сейсмотектонике Туранской платформы резко возрос. Появились многочисленные работы, в которых обсуждались особенности глубинного строения, тектоники, неотектоники, современных тектонических движений. Исследования сейсмотектонических особенностей Западного Узбекистана и сопредельных территорий показали, что новейшие тектонические движения сформировали современное пространственное распределение и соотношение тектонических структур территории. Основные структуры региона представляют цепь горных сооружений, постепенно погружающихся с востока на запад, межгорных и предгорных прогибов, окруженных структурами Туранской плиты (Ибрагимов и др., 2002). В этом направлении убывают и амплитуды, и скорость неотектонических движений. При этом направленность тектонических движений строго контролировалась региональными разломами и флексурно-разрывными зонами. С масштабностью их проявления, в основном, связаны условия образования систем и зон новейших поднятий и опусканий, на границах которых активизировались крупные разломы, приводящие впоследствии к генерации землетрясений высоких магнитуд (Ибрагимов, 1978). Анализ особенностей проявления новейших движений за четвертичный период показал, что в настоящее время структуры Тянь-Шаня, погружаясь на равнине Туранской плиты, не затухают, а имеют тенденцию роста и дальнейшего формирования. На основе этого авторы утверждают, что территория западного погружения Тянь-Шаня относится к категории геотектонических структур современной активизации (Ибрагимов и др., 2002). Следовательно, с достаточной уверенностью можно утверждать, что интенсивные горообразовательные процессы, происходящие в новейшем этапе тектонического развития территории и продолжающиеся в настоящее время, сопровождались повышением региональной сейсмичности и возникновением сильных и сильнейших землетрясений (рис. 1).

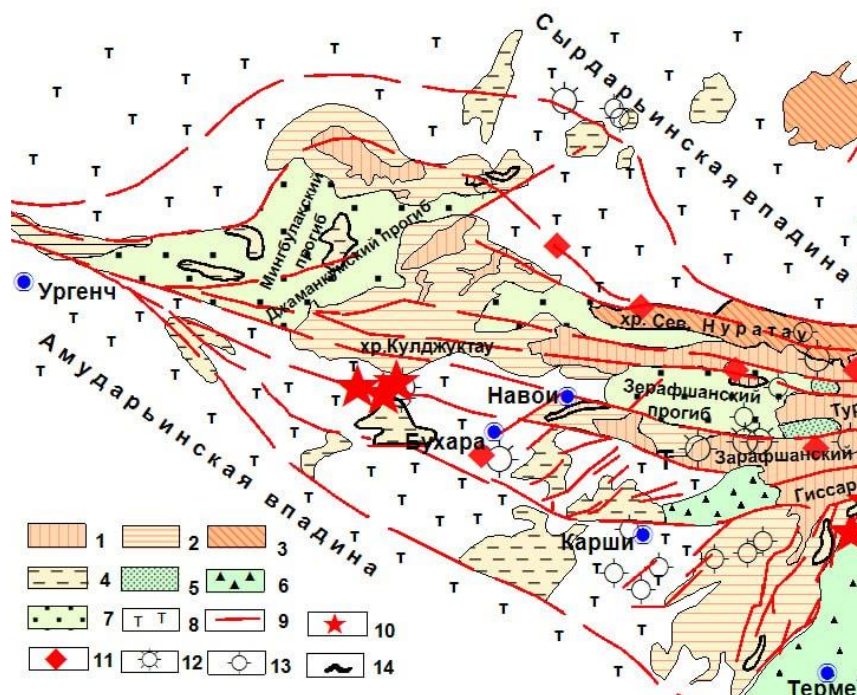


Рис. 1. Выкопировка из карты сейсмотектоники Узбекистана (Ибрагимов и др., 2002).

1 – линейно-вытянутые устойчивые сводово-блоковые поднятия Среднего и Южного Тянь-Шаня; 2 – складчато-блоковые поднятия западного и южного погружения Южного Тянь-Шаня, сложенные палеозойскими и мезозойскими образованиями; 3 – зоны антиклинальных складок; 4 – локальные поднятия в пределах впадин; 5 – реликты мезозой-кайнозойских прогибов в областях поднятий; 6 – межгорные прогибы; 7 – предгорные прогибы; 8 – Туранская плита; 9 – активные разломы; эпицентры землетрясений с энергетическим классом: 10 – К = 17, 11 – 16, 12 – 15, 13 – 14;

Fig. 1. Copy from the map of seismotectonics of Uzbekistan (Ibragimov et al., 2002).

1 – linearly elongated stable arch-block uplifts of the Middle and Southern Tien Shan; 2 – fold-block uplifts of the western and southern dips of the Southern Tien Shan, composed of Paleozoic and Mesozoic formations; 3 – zones of anticlinal folds; 4 – local uplifts within the depressions; 5 – relics of Mesozoic-Kainozoic deflections in uplift areas; 6 – intermountain deflections; 7 – foothill deflections; 8 – Turanian plate; 9 – active faults; epicenters of earthquakes with energy class: 10 – K = 17, 11 – 16, 12 – 15, 13 – 14;

Активные разломы Западного Узбекистана

В пределах Западного Узбекистана выделяются в основном разломы северо-западного простирания. Разломы других направлений проявляются эпизодически, не большой протяженности (рис. 2). На поверхности они довольно хорошо представлены крупными зонами дробления и гидротермальными проявлениями (Ахмеджанов и др., 1967, 1971). В закрытой части территории разломы прослеживаются по геофизическим материалам. В магнитном поле для них характерны участки высокого горизонтального градиента, резкого смещения осей магнитных аномалий, присутствие узких, линейно вытянутых локальных аномалий. В гравитационном поле им соответствуют полосы высокого горизонтального градиента (ступени), серии вытянутых по простиранию аномалий (Таль-Вирский, 1982). По материалам ГСЗ, разломы выражаются резким изменением граничной скорости по поверхности палеозойского фундамента, а отдельные – на границе Моховича (Зуннунов и др., 1974). Анализ особенностей разломной тектоники региона свидетельствует о том, что в течение исторического развития территории зоны разрывных нарушений, которые разграничивают разномасштабные тектонические структуры, активизировались несколько раз. Признаки активизации разломов наблюдаются в палеозое, палеогене, неогене и четвертичном периоде. Отмечается незначительная активизация их в альпийское время (см. рис. 2).

Совместный анализ разломов земной коры с данными макросейсмических обследований эпицентральной области возникших сильных землетрясений, особенностями затухания сейсмической интенсивности, результатами оценки сеймотектонического потенциала позволил выделить основные сейсмогенные зоны территории Западного Узбекистана и оценить их пространственные и энергетические показатели (Ибрагимов и др., 2002).

Одна из активных сейсмогенных зон территории, в пределах которой в прошлом возникал ряд сильных землетрясений, –Северо-Кульджуктау-Туркестанская, обусловленная системой Северо-Кульджуктау-Каратау-Туркестанских разломов. По результатам исследований (Рыжков и др., 1962), в районе Кульджуктау этот разлом, объединяясь с южными ответвлениями, создает Предкульджуктаускую флексурно-разрывную зону. Остаточные деформации, обнаруженные в неоген-антропогенных образованиях, свидетельствуют об активности зоны в голоценовом периоде.

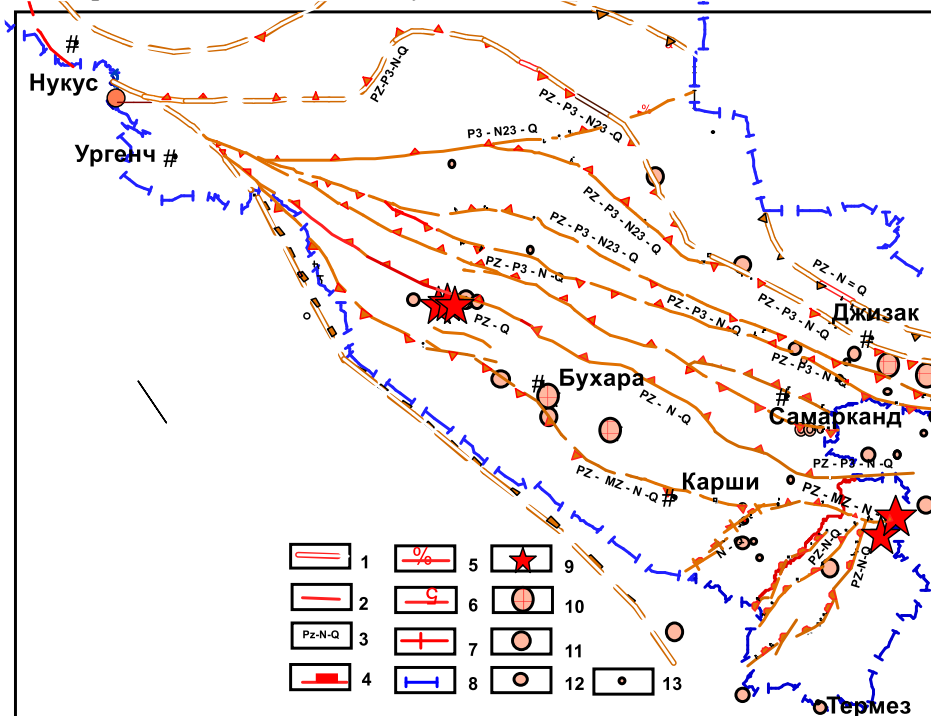


Рис. 2. Схематическая карта основных разломов Западного Узбекистана. 1 – разломы, разделяющие геоструктурные области, трассируемые на земной поверхности в мезо-кайнозойских отложениях, по данным геофизики и космоснимков; 2 – разломы, разделяющие основные структурные элементы складчатых систем, трассируемые на земной поверхности и мезо-кайнозойских отложениях; 3 – этапы развития разлома; 4 – сбросы (бергштрихи в сторону опущенного крыла); 5 – взбросы; 6 – надвиги (бергштрихи в сторону автохтона); 7 – флексурно-разрывные зоны; 8 – государственная граница. Эпицентры землетрясений с M: 9 – $\geq 7,0$; 10 – $\geq 6,5$; 11 – $\geq 6,0$; 12 – $\leq 5,9$.

Fig. 2. Schematic map of the main faults of Western Uzbekistan. 1 – faults separating geostructural areas traced on the earth's surface in Mesocainozoic sediments according to geophysics and satellite images; 2 – faults separating the main structural elements of folded systems traced on the earth's surface and Mesocainozoic sediments; 3 – stages of fault development; 4 – discharges (bergstrokes towards the lowered wing); 5 – surges; 6 – thrusts (bergstrokes towards autakhton); 7 – flexural-discontinuous zones; 8 – state border. Earthquake epicenters with M: 9 – $\geq 7,0$; 10 – $\geq 6,5$; 11 – $\geq 6,0$; 12 – $\leq 5,9$.

Исследуемая зона активна и в настоящее время, о чем свидетельствуют ряд сильных землетрясений, возникших в ее пределах (Бахмальское землетрясение 1955 г. с M = 5,2; 2017 г. с M = 5,2; Галляаральское 1967 г. с M = 5,1). В связи с промышленным освоением территории возникла необходимость более детально изучить сеймотектоническую обстановку, уточнить пространственное положение разрывных нарушений и оценить их современную активность. Так, были проведены специальные сеймотектонические и инструментальные геофизические исследования в районе гор Букантау и Кульджукту.

Методика и результаты сеймотектонических исследований

Методика сеймотектонических исследований заключалась в комплексном анализе результатов морфоструктурного изучения современного рельефа совместно с результатами дешифрирования космофотоснимков, количественной оценкой скоростей новейших и современных вертикальных движений морфоструктур, изучением разломной тектоники. Камеральная обработка результатов полевых сеймотектонических исследований и совместный анализ с имеющимися материалами предыдущих исследований показали следующее: горы Бельтау и западная часть Кульжуктау представляют низкогорный и холмистый рельеф (рис. 3) с выступами палеозойских (Pz), меловых (K) и магматических (интрузивных) пород. Они, как антиклинальное поднятие, образованы в течение неотектонического этапа развития (последние 25 млн. лет).

Современная структура гор Бельтау – это неотектоническое поднятие палеозойских пород, имеющих антиклинальную форму, разбитое на две части системой гряд запад-северо-западного простирания. Северная и южная гряды представляют тектонические уступы, резко обрывающиеся на севере и юге. По этим грядам палеозойские отложения контактируют с отложениями мел-палеоген-неогена посредством тектонических уступов. Покровные отложения образуют мало-мощные (1000 м) мел-палеоген-неогеновые породы.

Тектоническим грядам соответствуют разломы. Они прослеживаются по северной и южной грядам Бельтау, а также по северному и южному бортам Кульжуктау (см. рис. 3). Разломы по простиранию сопровождаются полосой дробления и минерализации, что свидетельствует об их древности заложения.

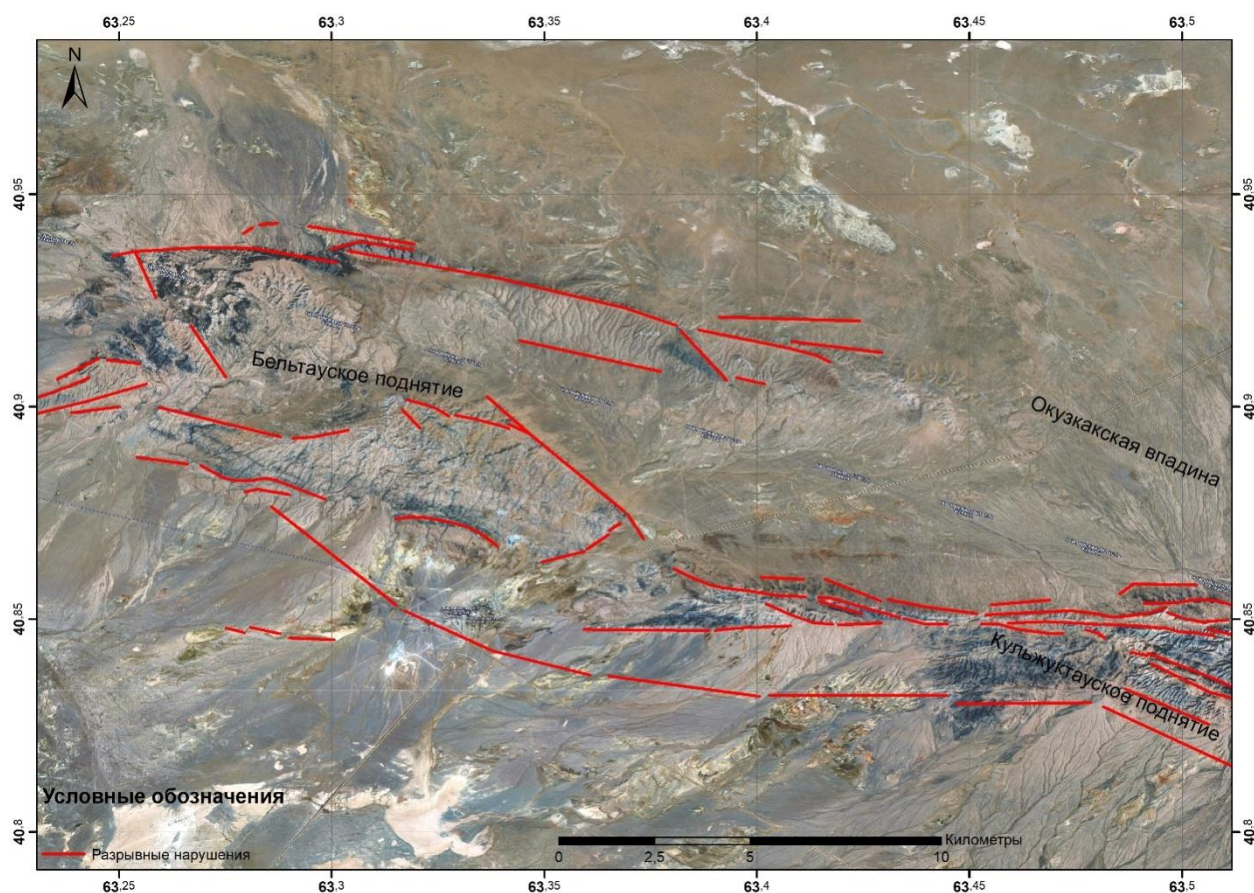


Рис. 3. Выделенные линеаменты района работ.

Fig. 3. Selected lineaments of the work area.

В размытых ядрах Бельтау и Кульжуктау обнажаются палеозойские (Pz) и меловые (K) отложения. Палеозойские породы прорваны многочисленными интрузивными телами, а прилегаю-

щие равнинные отложения мел-палеогеновых и неогеновых отложений залегают под углом от 5 до 60°. Кроме того, в ядерных частях поднятий в большом количестве наблюдаются останцы нижнемеловых образований, перекрывающих палеозой тонким чехлом.

Интрузивные породы контролируются зонами разломов и залегают субсогласно по отношению к вмещающим палеозойским породам. Характеризуются повышенной трещиноватостью и графитизацией вблизи контактов габброидов с вмещающими палеозойскими породами.

Горы Бельтау и Кульжуктау осложнены с севера и юга тектоническими разломами – Северо- и Южно-Кульжуктауским.

Северо-Кульжуктауский разлом, после своего неотектонического обновления, является границей вышеназванных поднятий и Окузкакской впадины, причленяющейся к разлому с севера. Покровные отложения впадины залегают с азимутальным и угловым несогласием на неровной, сильно эродированной поверхности палеозойских толщ и интрузивных образований. В ядре впадины залегают породы миоцена (N), а на крыльях – палеогена (P) и мела (K). Глубина залегания палеозоя (Pz) севернее Северо-Кульжуктауского разлома достигает 1000 м.

Морфологически Северо-Кульжуктауский разлом представляет крутой сброс, с углом падения на север 70-80°.

Южно-Кульжуктауский сброс древнего заложения в свое время являлся каналом для конседиментационных излияний лав, сформировавших приразломные линзовидные тела. Излияние лав, вероятно, происходило в течение ордовикского периода и ландоверийского века палеозоя. Обновление разлома связано с неотектоническими движениями. На западе в районе Бельтау разлом характеризуется как сброс и образует южную гряду Бельтау. Простирается его северо-западное, падение на юг (60-80°). В районе Бельтау по разлому контактируют различные горизонты известняков верхневенлокского подъяруса и лудловского яруса каменноугольного периода с известняками нижнего девона и силура. Зона разлома характеризуется интенсивным дроблением и сильной трещиноватостью пород. Почти все трещины выполнены белым кальцитом и четко трасируются на поверхности. Далее между Бельтау и Кульжуктау по разлому контактируют палеозойские и мел-палеогеновые отложения.

В настоящее время хорошо известно, что на территории Узбекистана современные тектонические движения наследуют неотектонические на 80%. На рис. 4 приведен фрагмент карты амплитуд неотектонических движений Узбекистана и выделенные нами линеаменты изучаемого района.

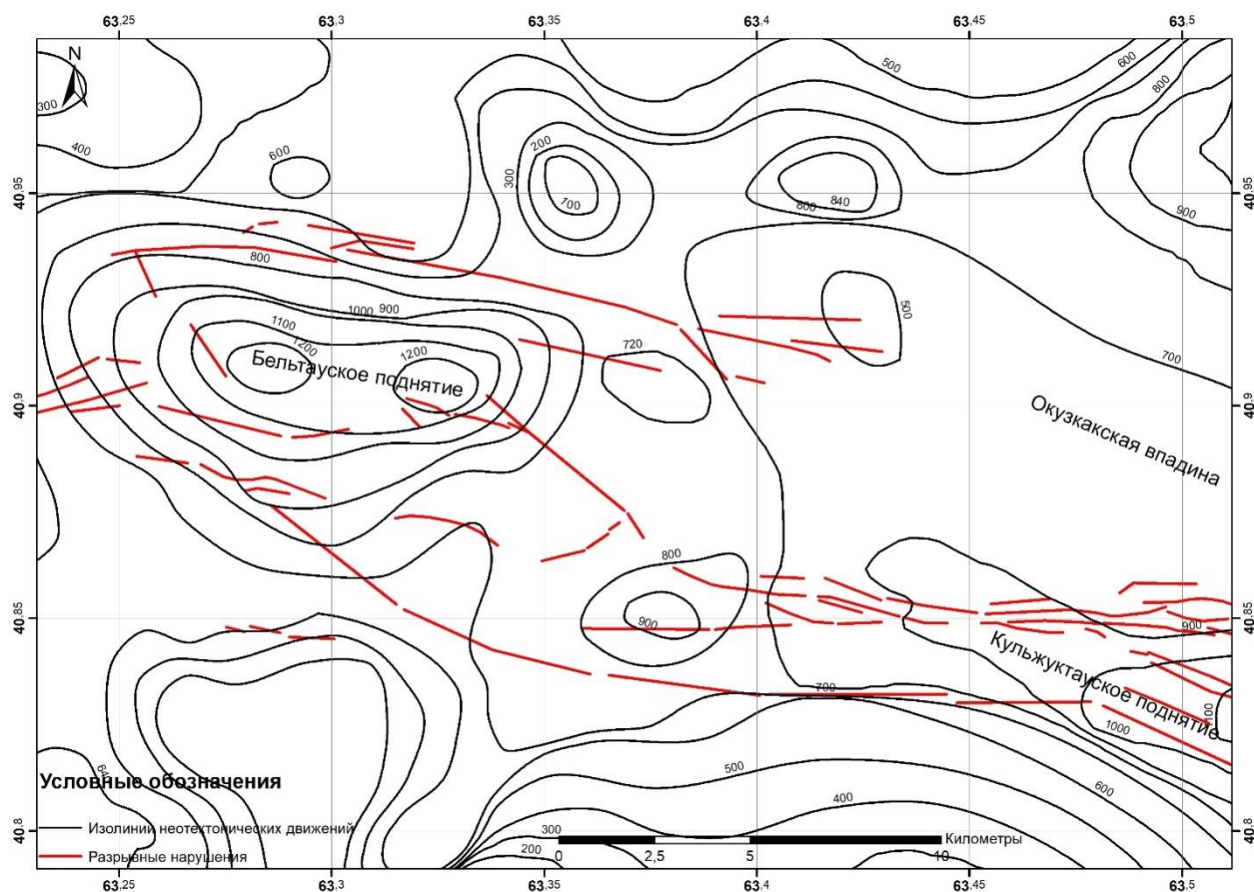


Рис. 4. Фрагмент карты амплитуд неотектонических движений земной коры.

Fig. 4. Fragment of a map of the amplitudes of neotectonic movements of the Earth's crust.

Как видно из рисунка, амплитудные характеристики неотектонических движений исследуемой территории варьируют в пределах 100-1200 м. Для Бельтауского поднятия разница в амплитудах составляет 700-1200 м. Изолинии ориентированы в субширотном направлении, плотность изолиний на северной и южной частях поднятия характерна для разломов. Аналогичная картина вырисовывается для зоны сочленения гор Бельтау и Кульжуктау. Разломы подчеркиваются характером рисунка изолиний.

Произведен сопоставительный анализ полученной нами схемы линеаментов с тектонической картой района, составленной представителями КГСП с использованием материалов Я.Б.Айсанова (рис. 5).

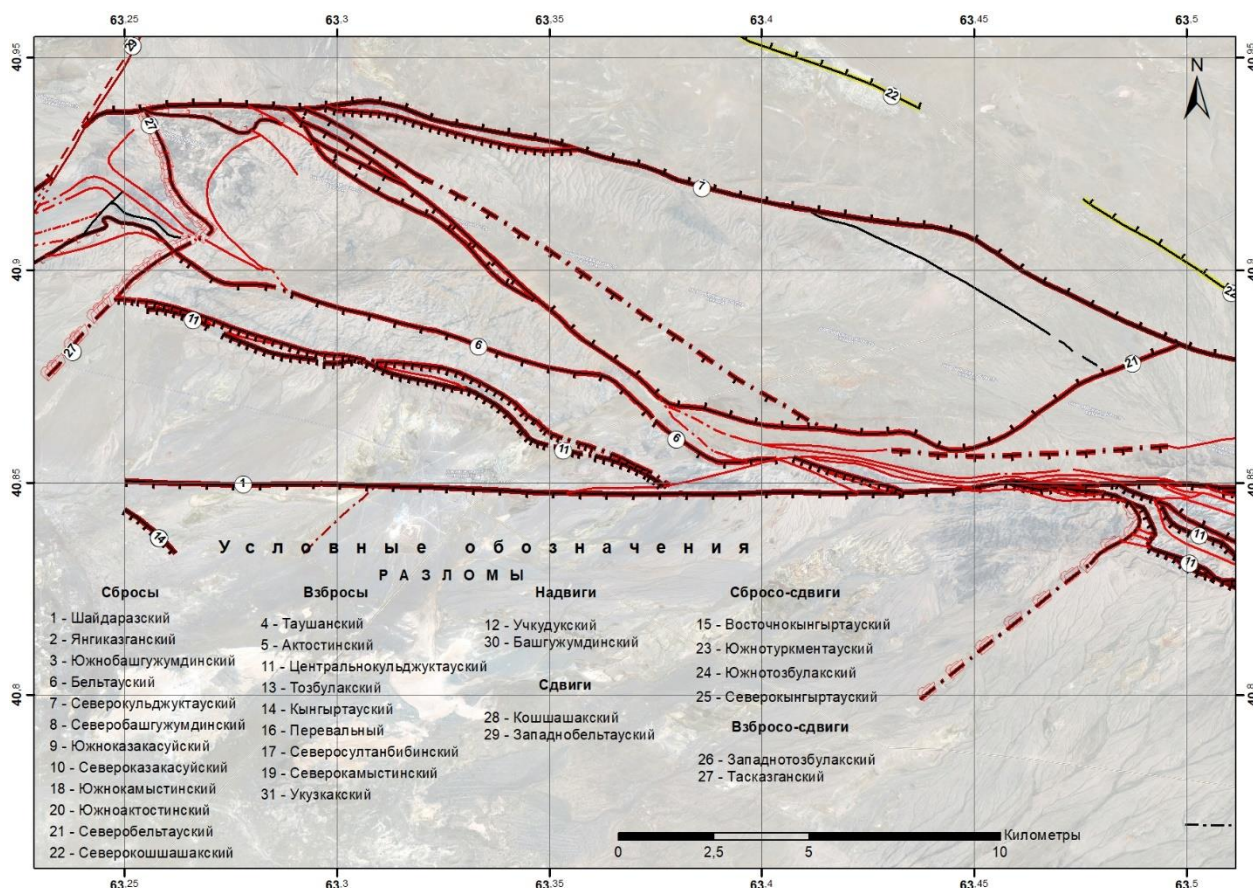


Рис. 5. Фрагмент тектонической карты гор Бельтау и Кульджуктау (составлена в КГСП МГ Уз по материалам Я.Б.Айсанова, 1973-1983 гг.) (Айсанов, Егоров, 1978; Гоипов, Марипова, 2022).

Fig. 5. A fragment of the tectonic map of the Beltau and Kuldzhuktau mountains (Compiled in the Msu GSP based on the materials of Ya.B.Aisanov, 1973-1983) (Aisanov, Egorov, 1978; Goipov, Maripova, 2022).

Указанные на карте разломы в основном допалеозойского и палеозойского возрастов. Анализ показал, что не все разломы отражены в современном рельефе. Например, разлом № 7 пространственно совпадает с Северо-Кульжуктауским разломом на рис. 3. Точно также разлом № 11 совпадает с Центральнo-Кульжуктауским разломом, западная часть Бельтауского разлома – с диагональным уступом (3) на рис. 5. Южно-Кульжуктауский разлом, установленный по результатам линеamentного анализа, на рис. 5 не отражен.

Методика и результаты инструментальных геофизических наблюдений

Наличие многочисленных мелких разломов в пределах изучаемой территории прилегающих территорий требует проведения специальных исследований по уточнению пространственного положения и современной активности этих разломов. В этой связи для уточнения положения существующих разломов и оценки их современной активности проведены инструментальные магнитометрические и радиометрические наблюдения по заложенным профилям с шагом 50 м. Координаты каждой наблюдаемой точки получены вручную с помощью GPS-приемника (Garmin Trex 22x).

Магнитометрические исследования проводились с помощью высокоточного магнитометра GSM-19T, чувствительность 0,0221 нТл. Магнитометр GEM GSM-19 (Overhauser) – основной стандарт для разведки полезных ископаемых, исследования зон разломов, тектонических наруше-

ний и т. д. Опорная магнитная станция для учета аномальных вариаций установлена на расстоянии порядка ≈ 5 км к юго-западу от участка исследований. Ошибка выделения аномального поля не превышает 0,3-0,4 нТл. Фоновое значение магнитного поля порядка 20-30 нТл.

Радиометрия основана на естественном радиоактивном излучении при изучении состава горных пород. В радиометрии напряженность изучаемой естественной радиоактивной зоны зависит от радиоактивности горных пород и интенсивности радиоактивного излучения в зонах разломов. Поисковый радиометр СРП-88 предназначен для измерений радиоактивности по гамма-излучению при обследовании радиационной обстановки и выявлении источников радиации. На практике прибор используется для поиска и разведки полезных ископаемых, изучения зон разломов, тектонических нарушений и других целей.

Инструментальные наблюдения по обоим методам проводились на площади порядка более 200 км², со сторонами более 7,5 км в широтном и более 27 км меридиональном направлении. Измерения осуществлялись по профилям, проложенным в меридиональном направлении, расстояние между профилями 4 км и шаг 50 м. Всего проложено 6 региональных и 12 промежуточных (протяженностью 200 м) профилей. Количество пунктов измерений 894 (рис. 6).

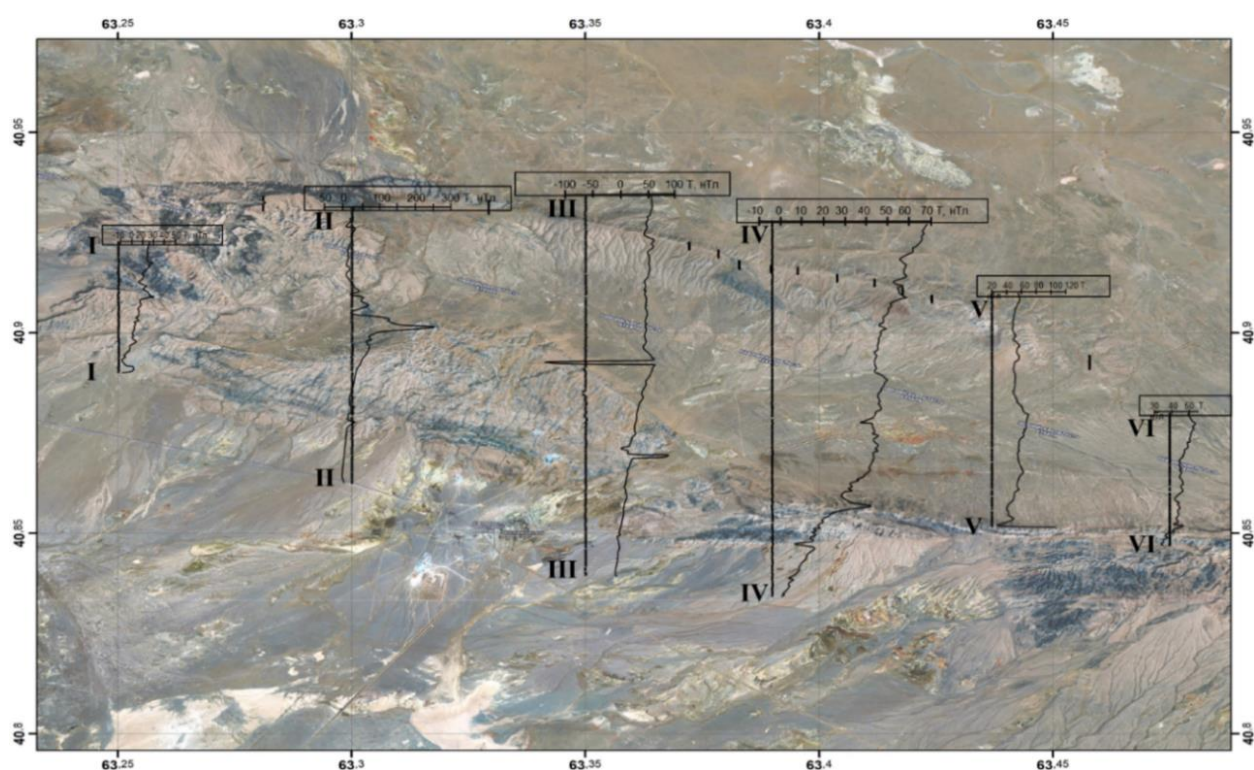


Рис. 6. Пространственное положение заложенных профилей магнитометрических и радиометрических наблюдений.

Fig. 6. Spatial position of embedded profiles of magnetometric and radiometric observations.

Результаты наблюдений показали, что зоны разломов, которые пересекаются заложенными профилями геомагнитных и радиометрических наблюдений, характеризуются аномальными вариациями наблюдаемых полей, превышающими в несколько раз среднефоновое значение.

На рис. 7-12 приведены вариации магнитного и радиационного полей по заложенным профилям. На рисунках вертикальной штриховкой и буквами (а, б, в, г) обозначены зоны разломов, приведенные на рис. 5. Заштрихованные участки на графиках распределения наблюдаемых полей обозначают аномальные вариации, связанные с зонами разломов и их активностью.

На рис. 7 по профилю I-I протяженность аномальной зоны в магнитном поле порядка 200-300 м. Аномальное поле имеет положительные максимумы в зоне разлома в точке а = 15 нТл и в точке б = 13 нТл. Аналогичные аномальные вариации наблюдаются и в распределении радиацион-

ного поля. Аномальное радиационное поле имеет положительные максимумы в точке $a = 6$ мкР/час и в точке $b = 6$ мкР/час.

Профиль I-I

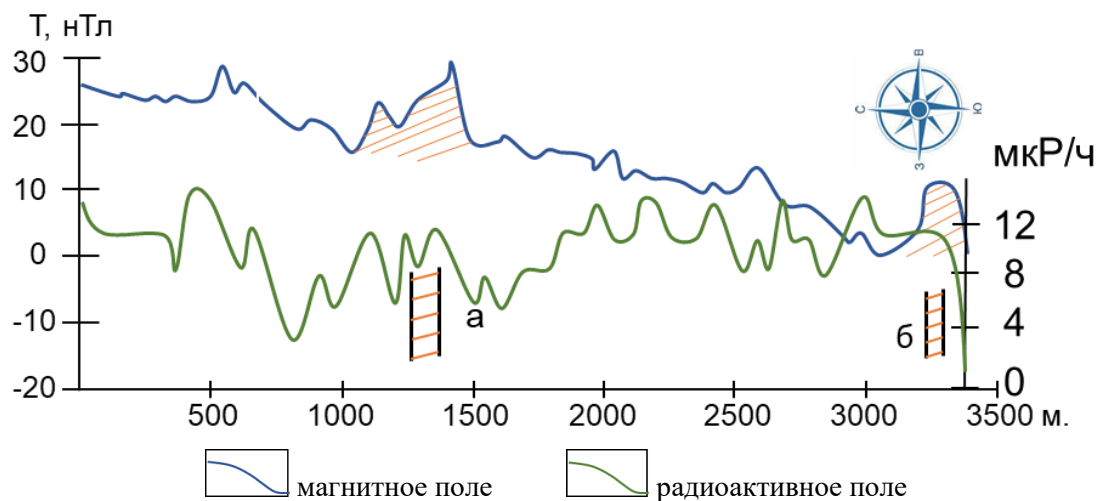


Рис. 7. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю I-I.

Fig. 7. Variations of magnetic and radiation fields along the I-I profile.

Профиль II-II

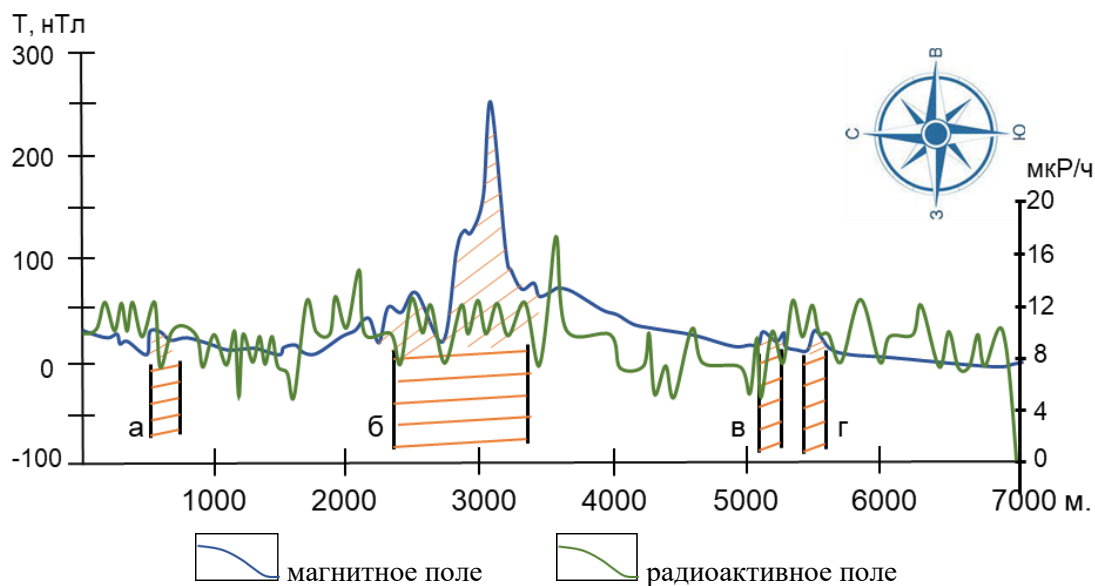


Рис. 8. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю II-II.

Fig. 8. Variations of the magnetic and radiation fields in profile II-II.

На рис. 8. приведены графики распределения наблюдаемых полей по профилю II-II. Заложенный профиль пересекает зоны 21, 6 и 11-го разломов, приведенных на рис. 5. Здесь *a* обозначает 21 разлом, *б* – 6-й, *в* – 11-й, *г* – 11-й (см. рис. 5). Протяженность аномальной зоны по профилю II-II, м: *a* = 250, *б* = 900, *в* = 150, *г* = 150. Как видно из графиков, все разломные зоны, которые пересекаются профилем, отмечаются характерными вариациями наблюдаемых полей.

Аномальное магнитное поле имеет положительные максимумы в зонах, нТл: *a* = 25, *б* = 254, *в* = 15, *г* = 20. В тех же зонах разлома радиационное поле имеет положительные максимумы амплитудой в пределах 5 мкР/час. Особенно ярко проявляется зона разлома (*б*) в магнитном поле, а зона разлома (*в*, *г*) – в радиационном поле.

Аналогичные результаты получены и по остальным профилям наблюдений (см. рис. 9-12). Во всех графиках зоны разломов отражаются аномальными вариациями наблюдаемых полей. Отметим, что в отдельных случаях разломные зоны хорошо прослеживаются в магнитном поле, а в других – в радиационном. Например, по профилю III-III зона разлома (*a*) выражена не очень четко, зона разлома (*б*) в магнитном поле выражена отрицательной аномалией с амплитудой до 240 нТл, а радиационное поле – ступенчатое понижение до 5-7 мкР/час. В отличие от этого зона разлома (*в*) в магнитном поле имеет положительный всплеск аномалий с амплитудой до 8 нТл, а аномалия радиационного поля – бухтообразное понижение с амплитудой до 11-13 мкР/час. Отметим, что аномалия в радиационном поле проявляется правее от оси разлома. Аналогичные смещения аномальных участков графиков от зоны разлома наблюдаются и в других профилях (см. рис. 10). По всей видимости, проявления в одном случае положительных (в зоне *б*), а в другом отрицательных магнитных аномалий (в зоне *в*), незначительная сдвинутость участка аномального проявления радиационного поля от разломной зоны (в зоне *в*) могут быть связаны с морфологией разлома и степенью их активности в настоящее время.

Результаты анализа профилей по линии V-V (см. рис. 11) и VI-VI (см. рис. 12) показывают, что имеются случаи, когда разломная зона не проявляет себя аномальными вариациями изучаемых полей.

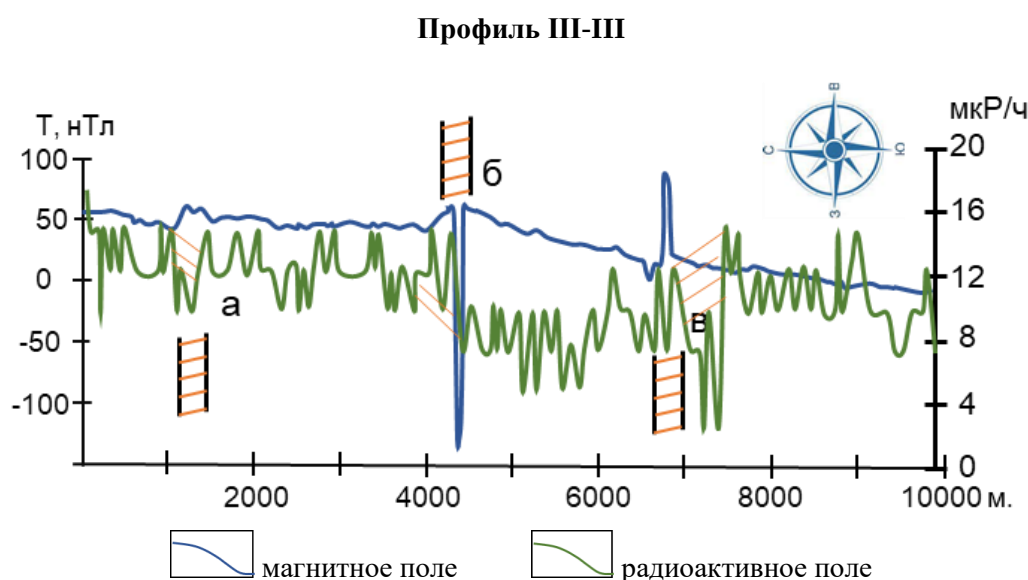


Рис. 9. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю III-III.

Fig. 9. Variations of magnetic and radiation fields in profile III-III.

Профиль IV-IV

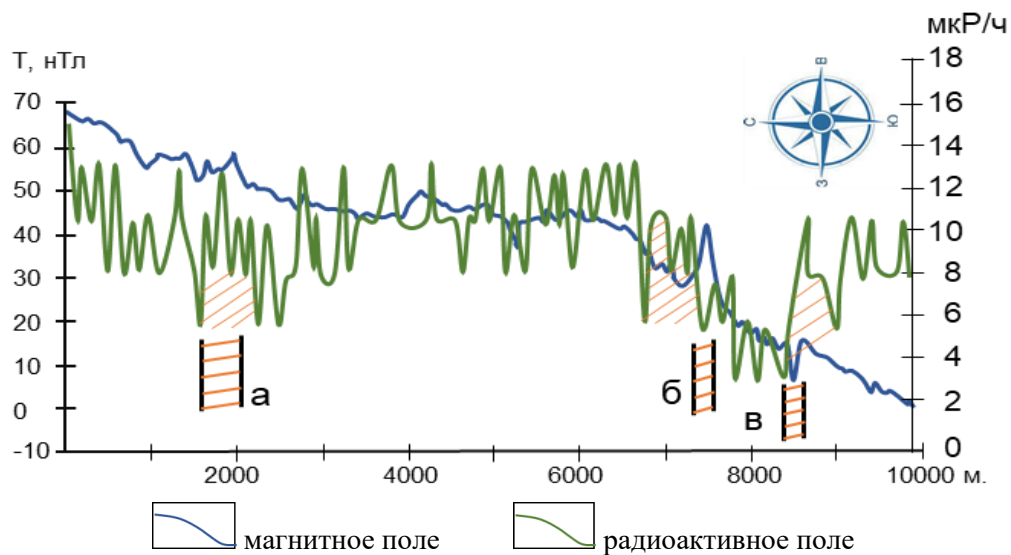


Рис. 10. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю IV-IV.

Fig. 10. Variations of magnetic and radiation fields in profile IV-IV.

Профиль V-V

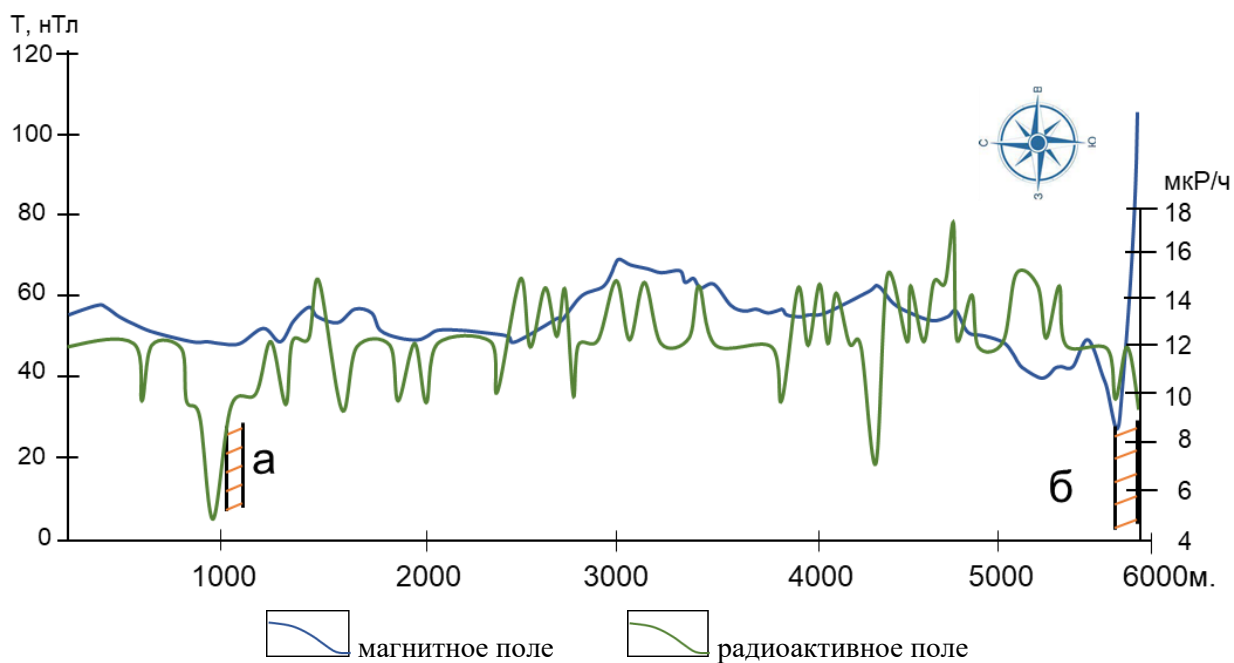


Рис. 11. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю V-V.

Fig. 11. Variations of the magnetic and radiation fields along the V-V profile.

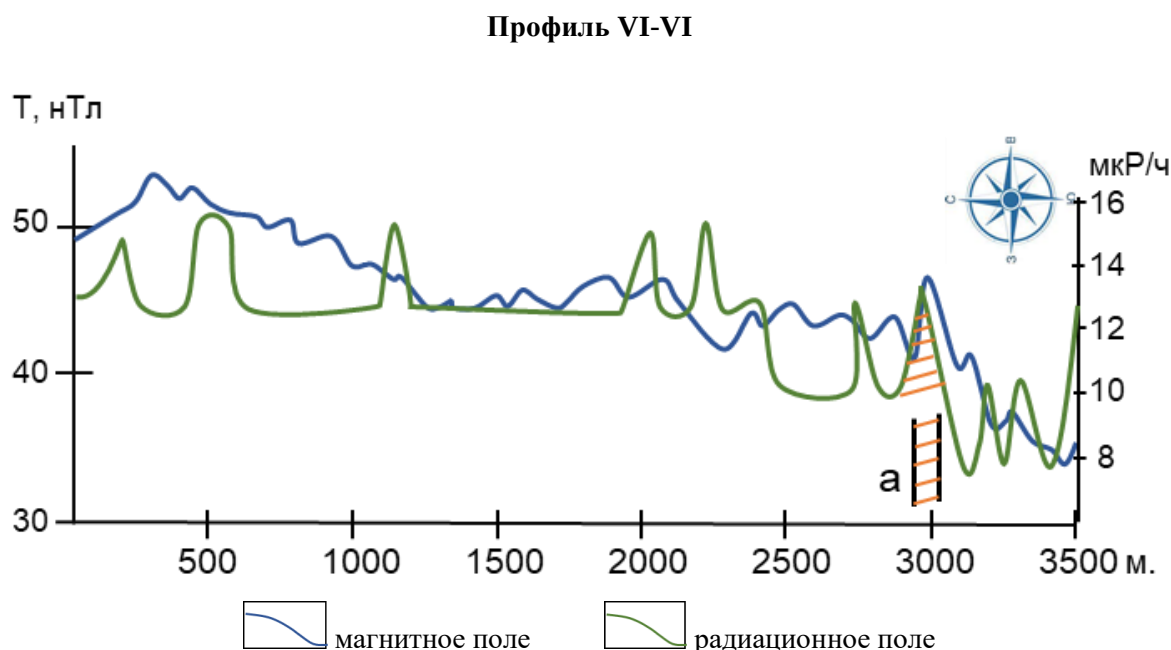


Рис. 12. Вариации магнитного и радиационного полей по профилю VI-VI.

Fig. 12. Variations of magnetic and radiation fields in profile VI-VI.

Таким образом, результаты анализа магнитометрических и радиометрических наблюдений показывают, что в большинстве случаев участки аномальных вариаций исследуемых полей совпадают с зонами разломов изучаемой территории. В отдельных случаях на графиках наблюдаются аномальные вариации, не совпадающие с разломными зонами или незначительно смещенные в сторону от них. Характер проявления магнитного поля не всегда однозначен. В одних случаях разломная зона проявляется положительными аномалиями магнитного поля, а в других – отрицательными вариациями. Амплитуды вариаций изменяются в широких пределах – от +274 нТл до -150 нТл. Наблюдаются некоторые смещения участков аномальных вариаций гамма-поля в сторону от разломных зон, которые могут быть связаны с морфологией разлома. Выявлены участки интенсивного проявления гамма-поля неизвестной природы, которые могут быть связаны с локальными особенностями пород земной коры или с ее напряженным состоянием.

Выводы

Район гор Бельтау и Кульжуктау осложнен с севера и юга Северо- и Южно-Кульжуктауским тектоническими разломами. Кроме этих двух крупных разломов, ограничивающих антиклинальные структуры с двух сторон, пространство между ними раздроблено многочисленными разломами относительно меньшего размера, небольшой протяженности и с различной ориентировкой. Все имеющиеся разломы имеют древнее заложение – допалеозойского и палеозойского возраста. Не все разломы отражены в современном рельефе.

Пространственное положение разломов, выделенных методом линеamentного анализа, хорошо подтверждается характером проявления новейших движений изучаемой территории.

Зоны разломов изучаемой территории характеризуются высокой интенсивностью положительных (+274 нТл) и отрицательных (-150 нТл) аномальных вариаций магнитного поля.

Монотонное изменение фонового поля составляет 2-4 мкР/час. Экстремальное значение поля с интенсивностью до 17 мкР/час, в основном, соответствует разломным зонам. В отдельных

случаях на графиках наблюдаются аномальные вариации, не совпадающие с разломными зонами или незначительно смещенные в сторону.

Литература

1. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А., Хусанбаев Д.Ж. и др. Сейсмическое районирование Узбекистана // Сейсмическое районирование Узбекистана и прогноз землетрясений Узбекистана. - Т.: ГИДРОИНГЕО, 2002. - С. 6-75.
2. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня. - Т.: Фан, 1978. - 144 с.
3. Ахмеджанов М.А., Борисов О.М., Фузайлов И.А. Геологическое строение и состав палеозойского фундамента Узбекистана. - Т.: Фан, 1967. - 162 с.
4. Ахмеджанов М.А., Борисов О.М., Фузайлов И.А. Основные черты строения и развития Южного и Среднего Тянь-Шаня // Глубинное строение земной коры территории Узбекистана. - Т.: Фан, 1971.
5. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. - М.: Недра, 1982. - 271 с.
6. Зуннунов Ф.Х., Зильберштейн М.Б. и др. Геолого-геофизическая модель земной коры Западного Узбекистана (Южный и Средний Тянь-Шань) // Геотектоника. - М.: Наука, 1974. - С. 59-69.
7. Рыжков О.А., Ибрагимов Р.Н. и др. Тектоника Ташкентской Голодностепской предгорной олигоцен-антропогеновой впадины // Узб. геол. журн. - 1962. - № 5.
8. Айсанов Я.Б., Егоров А.И. Геологическое строение и основные черты минерагении палеозойских образований гор Кульджуктау. - Т.: Фан, 1978. - 120 с.
9. Гоипов А.Б., Марипова С.Т. Использование результатов геофизических исследований при прогнозно-поисковых работах на закрытых территориях Центральных Кызылкумов // Вестник Университета геологических наук. - 2022. - № 3. - С. 44-49.

SEISMOTEKTONIK VA GEOFIZIK USULLAR YORDAMIDA YORIQLARNING FAZOVIIY JOYLASHUVI VA FAOLIGINI BAHOLASH

U.A.Nurmatov, Yu.M.Sodiqov, V.R.Yusupov, Z.F.Shukurov

Annotatsiya. Maqolada G'arbiy O'zbekistonning Beltau tog'i va Kuljuktai mintaqasidagi faol yoriqlarning fazoviy holatini seismotektonik va instrumental geofizika usullari bilan kompleks o'rganish natijalari keltirilgan. Yoriqlar bilan ajratilgan qobiq bloklarining mumkin bo'lgan chegaralarini aniqlash uchun profilar bo'yicha yuqori aniqlikdagi magnetometrik va radiometrik tadqiqotlar o'tkazildi. Olingan natijalarni seismotektonik tadqiqot natijalari bilan birgalikda tahlil qilish orqali Shimoliy-Kuljuktai-Turkiston seysmogen zonasi tomonidan ajratilgan geologic asos bo'lgan yoriqlar tizimi to'g'risida batafsil ma'lumotlar olingan.

Kalit so'zlar: seismotektonika, faol yoriqlar, zamonaviy harakatlar, seysmogen zonalar, geomagnit maydon, radioaktiv maydon, anomal maydonlar, zilzilalar.

ASSESSMENT OF THE SPATIAL POSITION AND ACTIVITY OF FAULTS BY SEISMOTECTONIC AND GEOPHYSICAL METHODS

U.A.Nurmatov, Y.M.Sadikov, V.R.Yusupov, Z.F.Shukurov

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of the spatial position of active faults in the mountains area. Beltau and Kuldjuktai of Western Uzbekistan by seismotectonic and instrumental geophysical methods. In order to identify spatial inhomogeneities, which are the probable boundaries of the blocks of the Earth's crust separated by faults, high-precision magnetometric and radiometric surveys were carried out on the embedded profiles. By joint analysis of the obtained results with the results of seismotectonic studies, detailed information was obtained about the fault system, which is the geological basis of the North-Kuldjuktai-Turkestan seismogenic zone.

Key words: seismotectonics, active faults, recent movements, seismogenic zones, geomagnetic field, radioactive field, anomalous fields, earthquakes.

УДК 551.24

НЕКОТОРЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ

*И.У.Атабеков, Ю.М.Садыков, Ж. К.Мамарахимов**Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент
atabekovi@mail.ru*

Аннотация. Расположение очагов землетрясений по сейсмологической базе данных в большинстве случаев не коррелируется с границами неоднородностей слоев земной коры, установленными по геолого-геофизическим данным. Для выяснения этого несоответствия анализируется глубинное плотностное строение Ферганской впадины, количественные оценки современных вертикальных и горизонтальных тектонических движений. На основе собранных данных строится модель напряженно-деформированного состояния на примере одного из поперечных разрезов впадины для изучения соответствия расположения максимальных касательных напряжений к границам тектонически неоднородных зон.

Ключевые слова: геодинамика, глубинные структуры, неотектоника, активные разломы, сейсмичность, современные движения, численные модели.

Введение. Высокая концентрация плотностных неоднородностей и резкие изменения мощности земной коры указывают на то, что в этих местах происходили или происходят тектонические движения, сопровождаемые разрушением земной коры [1, 2]. В местах, где в настоящее время наблюдаются тектонические движения, плотностные неоднородности внутри земной коры можно интерпретировать как геологические отдельности, обладающие определенными физико-механическими свойствами, а границы между этими отдельностями являются переходными зонами, где различия этих свойств достигают максимальных значений. Расположение очагов землетрясений по сейсмологической базе данных в большинстве случаев не коррелируется с границами таких неоднородностей слоев земной коры. Для выяснения подобных несоответствий строится численная модель напряженного состояния на примере Ферганской впадины. Предварительно анализируется глубинное плотностное строение территории, количественные оценки современных вертикальных и горизонтальных тектонических движений. При проведении тектонического анализа использован картографический метод, отражающий в той или иной степени геодинамический процесс. Каждая используемая информация раскрывает определенный элемент геодинамики земной коры, а в комплексе с другими геолого-геофизическими данными – способствует созданию более точной модели. В отдельных случаях применен способ декомпозиции, позволяющий замену некоторых элементов использованных карт и схем на более современные.

Геодинамический анализ. Как известно, геодинамика Ферганской впадины, как и Западно-Тянь-Шаньской микроплиты в целом, обусловлена коллизийными процессами в зоне взаимодействия Южного Тянь-Шаня и Памирской дуги. Одной из главных форм современной геодинамической активности является сейсмичность. С 838 года и поныне в пределах Ферганской впадины и сопредельных территориях возникли более 90 землетрясений. Из них 13 имели магнитуду $M \geq 6,0$, $44 - 5,0 \leq M \leq 5,9$ и $33 - 4,5 \leq M \leq 4,9$. Большинство сильных и катастрофических землетрясений связано с разломами земной коры. Современная сейсмическая активность разрывных нарушений характеризуется комплексом геолого-геофизических параметров, удостоверяющих их тектоническую активность в новейший, четвертичный и современный этапы развития. Используя отношение разломов к тектоническим структурам разных рангов, проявленную сейсмичность (включая палеосейсмодислокации), данные геофизики, геохимии, космической геодезии и аэрокосмической съемки, разломы могут быть разделены по кинематике подвижек (сбросы, взбросы, сдвиги и др.), категории (краевые, внутренние) и ранги (1, 2, 3 и т. д.). Как показал анализ сети разломов, развитых в пределах Западного Тянь-Шаня, глубинные характеристики, морфология и другие параметры со временем могут меняться. Несущественно меняется только их простираие, что дало возможность предположить, что сеть разломов заложена в период раннего протерозоя или раньше [3]. В пределах Западного Тянь-Шаня активность проявляют в основном три направления регматической сети: северо-восточная (поперечно Тянь-Шаньская); северо-западная (Кара-тауская); субширотная (Тянь-Шаньская). Указанные направления контролируют новейший структурный план региона и соответствуют основным параметрам современной геодинамики. По отношению к новейшим структурам они разделяются на краевые и внутренние. Краевые разломы, яв-

ляясь структурно-контролирующими, разграничивая разнонаправленно развивающиеся тектонические блоки (антиклинальные и синклиналильные), обладают повышенным сейсмотектоническим потенциалом. К краевым относятся Таласо-Ферганский, Аксу-Угам-Богоналинский, Северо-Ферганский, Южно-Ферганский разломы. Сравнительно меньшей сейсмичностью и частотой проявления сильных землетрясений характеризуются внутренние разломы, определяющие дифференцированный характер движений внутри тектонических блоков. К разломам данной категории относятся: Северо-Угамский, Угам-Майдантальский, Пскемский, Каржантауский, Сюренатинский, Сукоковский, Южно-Пскемский, Сандалашский, Чаткальский, Северо-Ангренский, Южно-Ангренский, Чаткало-Атойнокский, Баубашатинский, Кучкаратинский, Кугартский, Талдысуйский, Куршабский, Карачатырский, Нурата-Катранский, Каратау-Зарафшанский, Кумбель-Коканд-Хайдарканский, Кенкольский, Арашанский, Сайрам-Андижан-Ошский. Особое положение занимают флексурно-разрывные зоны (ФРЗ), располагаясь в теле крупных впадин и прогибов, они представляют сложное сочетание изгибов и разрывных дислокаций. Во всех ФРЗ также возникали разрушительные землетрясения. На исследуемой территории выделены Северо-Ферганская и Южно-Ферганская ФРЗ. Материалы, детально описывающие перечисленные разломы, неоднократно публиковались в печати [3-12]. При анализе современных активных разломов необходимо учитывать параметры зоны их динамического влияния. Определение ширины зоны влияния активных разломов производится индивидуально. Если разлом выражен в палеозойских породах, то учитываются следы воздействия разлома, симметрично по обе стороны. А именно, полосы интенсивного деформирования и дробления пород, повышенную трещиноватость. В кайнозойских отложениях Ферганской впадины этот параметр определяется по результатам дешифрирования аэрокосмоснимков и топографических карт, с помощью анализа гидросети и геоморфологических элементов. Используются также сейсмодислокации, выявленные по результатам макросейсмического обследования эпицентральных зон сильных землетрясений и макросейсмические параметры (пространственные размеры первой изосейсты, морфологические данные активных разломов с учетом глубины их проникновения). Информация о сильных землетрясениях имеется в многочисленных публикациях [4, 7, 9, 10, 12], где доказана их связь с активными разломами.

Для выявления тенденции современных движений проведено изучение взаимосвязи новейших, молодых и современных движений и составлена карта современных вертикальных движений тектонических структур Средней Азии [6]. Карта была нами дополнена сетью активных разломов [11]. Совместный анализ с материалами сейсмичности, неотектоники показал, что для горного обрамления впадины характерны положительные скорости современных вертикальных движений (+2, +10 мм/год), а для впадины – отрицательные скорости (-2,-10) [6]. Разломы, разделяющие впадину и ее горное обрамление, характеризуются напряженным состоянием и являются потенциально сейсмоопасными. О присутствии растягивающих напряжений могут свидетельствовать материалы по современному трещинообразованию [6]. В пределах Ферганской впадины участки трещинообразования располагаются в зоне динамического влияния Южно-Ферганской флексурно-разрывной зоны и повторяют ее простирацию. Здесь выявлены сжимающиеся и растягивающиеся трещины. Особое значение представляют результаты геодезических измерений. Результаты нивелирования за период 1971-1974 гг. по линии Ташкумыр–Андижан–Ош показали аномальные отрицательные значения скорости вертикальных движений (-46 ± 9 мм) на отрезке Андижан–Карасу [6]. Следующий важный элемент геодинамики – материалы высокоточных измерений методами космической геодезии [13]. По данным GPS, определены скорости перемещения пунктов наблюдений Ферганской впадины в измененной системе отсчета. Отмечено, что перемещения к северу пунктов, расположенных на Памире, в Северо-Западном Куньлуне и в Тариме, происходят с близкими скоростями 15-20 мм/год. Это свидетельствует о том, что в настоящее время Памир и Тибет перемещаются в сторону Тянь-Шаня совместно. В пределах Западного Тянь-Шаня можно выделить несколько районов, отличающихся ориентацией скоростей перемещения. В пунктах наблюдений GPS, расположенных в северо-западной части Таласо-Ферганского разлома (Чаткало-Кураминский блок), перемещения направлены на юг. В юго-западной части этого же разлома, в пределах Таласо-Ферганского блока, перемещения ориентированы на северо-запад. Обе группы направлений подчеркивают современную геодинамическую обстановку в зоне Таласо-Ферганского правостороннего сброса-сдвига. Группа пунктов наблюдения, расположенных в пределах Чаткало-Кураминского блока, ориентированы в южном направлении и подтверждают ранее высказанные предположения о том, что к западу от Таласо-Ферганского сдвига, на фоне меридионального сжатия, происходит выталкивание блоков к западу с левосторонним (против часовой

стрелки) вращением блоков. Группа пунктов наблюдений в пределах южной части Ферганской впадины и Алайской долины (Южно-Тянь-Шаньский блок) ориентирована субмеридионально. По величине пункты наблюдений горизонтальных перемещений в равнинных частях (Ферганская впадина) уступают пунктам, расположенным в горных областях. Таким образом, материалы космической геодезии подтверждают субмеридиональную ориентацию сжимающих напряжений, действующих в пределах Западного Тянь-Шаня и связанных, вероятно, с давлением Памирского выступа на Тянь-Шань.

Анализ слоев земной коры Ферганской впадины. В разрезе земной коры Западно-Тянь-Шаньской микроплиты – в целом и Ферганской впадины – в частности выделяются нижняя и верхняя кора [14]. Нижняя кора сложена преимущественно архей-нижнепротерозойскими (AR-PR₁) глубоко метаморфизованными породами, пребывающими в упруго-пластическом состоянии (соотношение продольных и поперечных сейсмических волн $v_p/v_s = 1,8$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,27-0,28$, что не допускает развитие очагов землетрясений. Верхняя кора включает сверху вниз: осадочный кайнозой-мезозойский (Kz-Mz) покров; осадочно-метаморфическую палеозойскую (Pz) толщу; гранито-метаморфические верхнепротерозой-нижнекембрийские (PR₂-C) породы. Консолидированная часть верхней коры (Pz+PR₂-C) находится в упруго-хрупком состоянии ($v_p/v_s \leq 1,75$; $\nu = 0,27-0,28$), что благоприятно для возникновения очагов землетрясений. На приводимых глубинных разрезах наблюдается удовлетворительная корреляция основных геолого-геофизических границ слоев верхней коры: подошва верхней коры, кровля верхнепротерозой-нижнекембрийского, палеозойского и мезозой-кайнозойского (современный рельеф) слоев. В пределах Западно-Тянь-Шаньской микроплиты Ферганская впадина занимает особое положение, являясь наиболее сейсмоопасной структурой. В этой связи, для впадины мы проводили анализ структурных построений по поверхностям гранито-метаморфических и осадочно-метаморфических толщ по работе [15-18] и карте амплитуд неотектонических движений, составленной нами. Выяснилась полная конформность этих характеристик. При формировании основных региональных структур, развитых в пределах тектонических зон Ферганской впадины, функционировали краевые Северо-Ферганский, Южно-Ферганский, а также внутренние Кумбель-Коканд-Хайдарканский и Сайрам-Восточно-Ферганский разломы, а также Северо-Ферганская и Южно-Ферганская ФРЗ. Они входят в систему северо-восточных (поперечно Тянь-Шаньских), субширотных (Тянь-Шаньская) и северо-западных (Каратауская) региональных разломов. Значимая роль этих разломов при формировании новейшего и современного структурных планов не вызывает сомнений. Последние из перечисленных разломов (северо-западные) по интенсивности уступают разломам северо-восточной и субширотной ориентации и их вероятная связь с сейсмичностью требует специального анализа. Вышеперечисленные разломы характеризуются рисунками изолиний, нестыковкой изолиний в зонах разломов, амплитудами движений. Модели строения земной коры Средней Азии рассмотрены в нескольких известных работах [14, 19]. Согласно [19], земная кора расслоена в горизонтальном направлении по плоскостям скольжения на серию тектонических пластин, а в вертикальном – крупными разломами (сдвигами, сбросами, взбросами) на микроплиты и блоки разной величины. Движение микроплит и блоков осуществляется по горизонтам пониженной вязкости в земной коре (поверхностям Мохоровичича, Конрада и др.). Плиты и блоки перемещаются как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Горизонтальные движения могут меняться на вертикальные. Это наблюдается в периоды изменения геодинамической обстановки. Причиной движения микроплит служат в основном перемещения крупных плит (Индостанской, Аравийской и др.). В качестве примера чередования горизонтальных и вертикальных движений можно привести ситуацию на [рис. 1, 2](#) [19], где видно надвигание жестких палеозойских массивов Чаткало-Кураминского блока с северо-запада и Южно-Тянь-Шаньского блока с юга на Ферганскую впадину. Клиновидные надвиги палеозойских пород сменяются толщами кайнозойских отложений, т. е. происходит чередование горизонтальных надвигов палеозойских пород с нормально залегающими отложениями кайнозоя, формировавшимися при вертикальном опускании поверхностей осадконакопления.

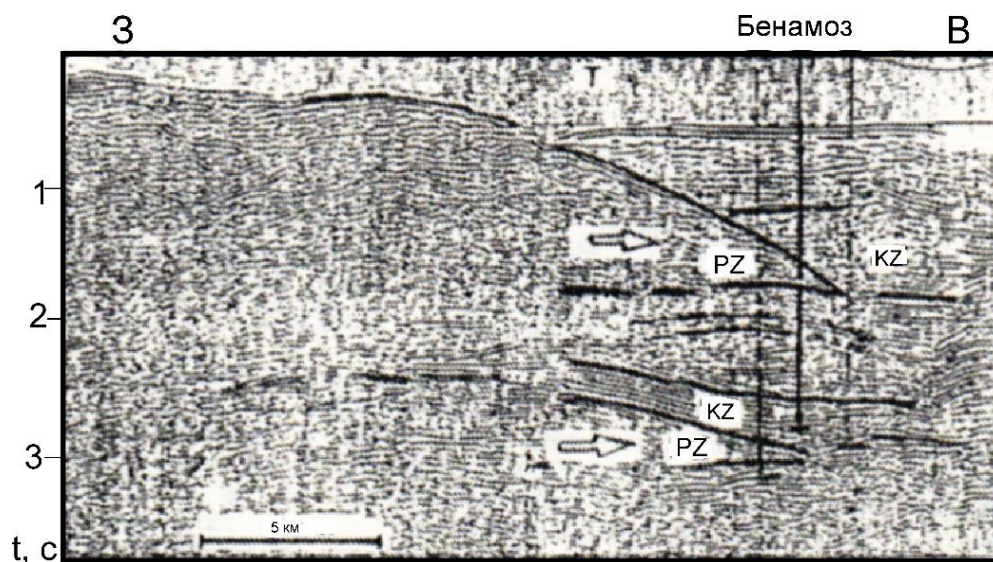


Рис. 1. Временной сейсмический разрез поперек зоны клиновидных надвигов на северо-западе Ферганского бассейна (видны клинья внедрения складчатых пород палеозоя и разрез кайнозойских осадков), по [19].

Fig. 1. A temporary seismic section across the wedge-shaped thrust zone in the northwest of the Ferghana Basin (wedges of Paleozoic folded rocks and Cenozoic sediments are visible), according to [19].

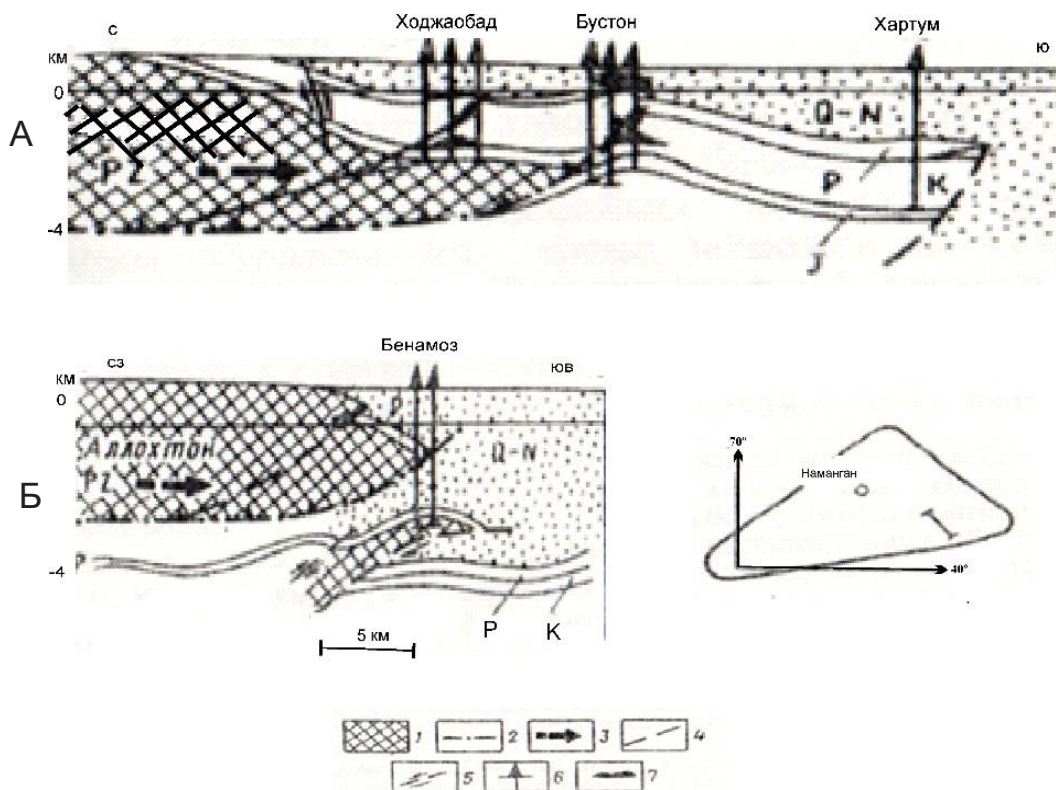


Рис. 2. Новые типы природных резервуаров в зоне клиновидных надвигов Ферганского бассейна, по [19]. Зона: А – Южно-Ферганская, Б – Северо-Ферганская; 1 – палеозойские аллохтонные образования; 2 – подошва главной аллохтонной пластины; 3 – направление перемещения аллохтонных масс; 4 – тектонические нарушения; 5 – сдвиги (стрелка направлена в сторону перемещения пород по тектоническому нарушению); 6 – скважины глубокого бурения; 7 – залежи нефти и газа.

Fig. 2. New types of natural reservoirs in the zone of wedge-shaped thrusts of the Ferghana basin according to [19]. Zone: A – the South Ferghana, B – the North Ferghana; 1 – Paleozoic allochthonous formations; 2 – the sole of the main allochthonous plate; 3 – the direction of displacement of allochthonous masses; 4 – tectonic disturbances; 5 – shifts (the arrow is directed towards the movement of rocks along the tectonic disturbance); 6 – deep wells drilling; 7 – oil and gas deposits.

Из изложенного выше вырисовывается парадоксальная ситуация. В очагах большинства землетрясений Западно-Тянь-Шаньской микроплиты и Ферганской впадины с $M \geq 5,0$ ось сжатия расположена близ горизонтально и ориентирована субмеридионально, при близвертикальном положении оси растяжения. Аналогичное положение и в пределах очагов землетрясений, связанных с зонами динамического влияния Северо-Ферганского и Южно-Ферганского взбросов. Но в то же время Ферганская впадина имеет отрицательный знак движения в неотектонический этап развития. По материалам геодезических измерений, в восточной части Центрального грабена происходит современное опускание. С целью прояснения данной ситуации мы привлекли плитотектоническую (многоярусную) гипотетическую модель Ферганской впадины (рис. 3), по [19]. К сожалению, авторы этой гипотетической модели не представили основания для ее построения, хотя она очень важна для понимания геодинамики Ферганской впадины. В частности, не согласовано сочетание взбросов (сжатие) и сбросов (растяжение) в центральной части модели. Учитывая важность проблемы, мы решили выяснить, насколько такой исход возможен с точки зрения механики сплошных сред.

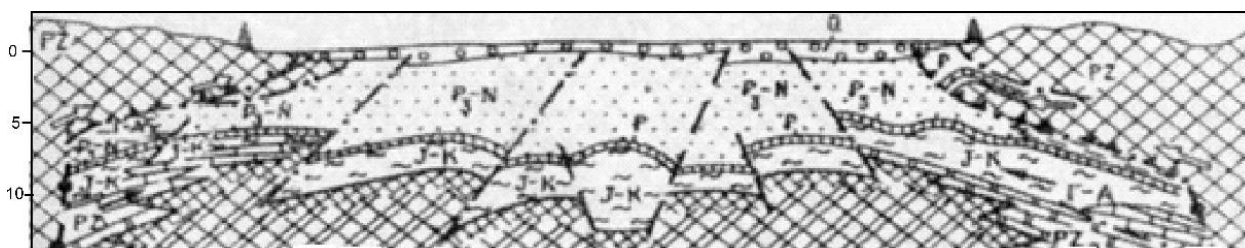


Рис. 3. Гипотетическая плитотектоническая модель Ферганского бассейна, по [19].

▨ – палеозойские автохтонные образования (фундамент); ▨ – палеозойские аллохтонные образования орогена столкновения блоков литосферы (складчатое основание); ▨ – поверхность складчатого основания и фундамента; ▨ – палеозойские отложения, накопившиеся в геодинамической обстановке пассивной окраины микроконтинента, окраинных морей, проливов (а – автохтонные, б – аллохтонные); ▨ – рифтовые и надрифтовые толщи (нижняя юра–мел); ▨ – основной регионально нефтегазоносный комплекс (палеоген); ▨ – отложения олигоцен-антропогенного орогена столкновения (континентальная моласса); ▨ – предполагаемые морские толщи олигоцена–неогена; ▨ – Северо-Ферганский и Южно-Ферганский швы столкновения; ▨ – сбросы; ▨ – подошва Северо-Ферганского и Южно-Ферганского главных шарьяжей; ▨ – надвиги, взбросы; ▨ – направление перемещения аллохтонных масс; ▨ – главное направление миграции УВ; ▨ – дополнительные очаги генерации и аккумуляции УВ; ▨ – рекомендуемые для бурения скважины.

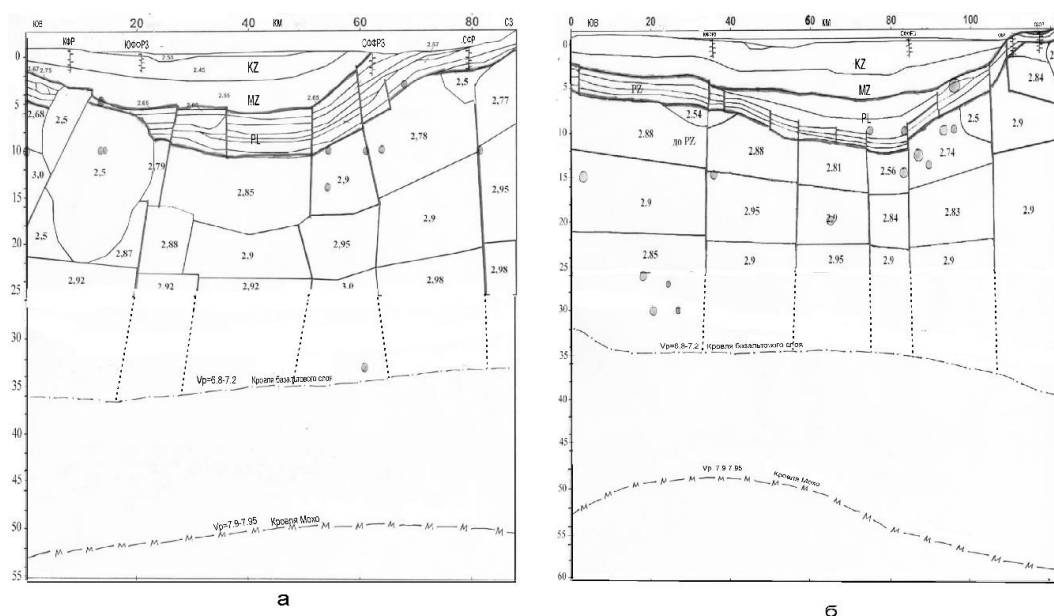
Fig. 3. Hypothetical plitotectonic model of the Ferghana basin according, to [19]. ▨ – Paleozoic autochthonous formations (foundation); ▨ – Paleozoic alochthonous orogen formation collisions of lithosphere blocks (folded base); ▨ – the surface of the folded base and foundation; ▨ – Paleozoic sediments accumulated in the geodynamic environment of the passive margin of the microcontinent, marginal seas, straits (a – autochthonous, b – allochthonous); ▨ – rift and above-rift strata (Lower Jurassic-Cretaceous); ▨ – the main regional oil and gas complex (Paleogene); ▨ – deposits of the Oligocene-Anthropogenic collision pathogen (continental molasse); ▨ – supposed Oligocene–Neogene marine strata; ▨ – North Ferghana and South Ferghana collision seams; ▨ – resets; ▨ – the sole of the North Ferghana and South Ferghana main sharyazh; ▨ – advances, upsets; ▨ – the direction of movement of allochthonous masses; ▨ – the main direction of HC migration; ▨ – additional foci of generation and accumulation of HC; ▨ – recommended for drilling wells.



Рис. 4. Схема профилей для построения плотностных моделей [21].

Fig. 4. Profile diagram for constructing density models [21].

Мы выбрали несколько профилей Ферганской впадины (рис. 4) для изучения деформации земной коры впадины под действием сжимающих сил, свойственных рифтовой впадине. Профили выбраны на основе известных данных по работам [15-18]. Из десяти профилей восемь пересекают впадину в поперечном сечении и два – в продольном. Тектонические горизонты всех поперечных профилей практически повторяют друг друга, где картируются три стратиграфических комплекса пород (сверху вниз): мезо-кайнозойский, палеозойский и допалеозойский. Первые два из них стратифицированы, а в допалеозойском комплексе выделяются блоки, различающиеся плотностью пород. Далее проанализирована связь кровельных частей этих стратиграфических комплексов с рельефами залегающих глубже геофизических разделов Мохо ($v_p = 7,9-7,95$ км/с) и базальтового слоя ($v_p = 6,8-7,2$ км/с). Сравнительный анализ этих профилей показал их подобие. Во всех построениях наблюдается обратная корреляция между границами Мохо и базальтовым слоем с выходящими разрезами земной коры. Особый интерес вызывают изменения морфологии разломов с юго-востока на северо-запад и с юго-запада на северо-восток.



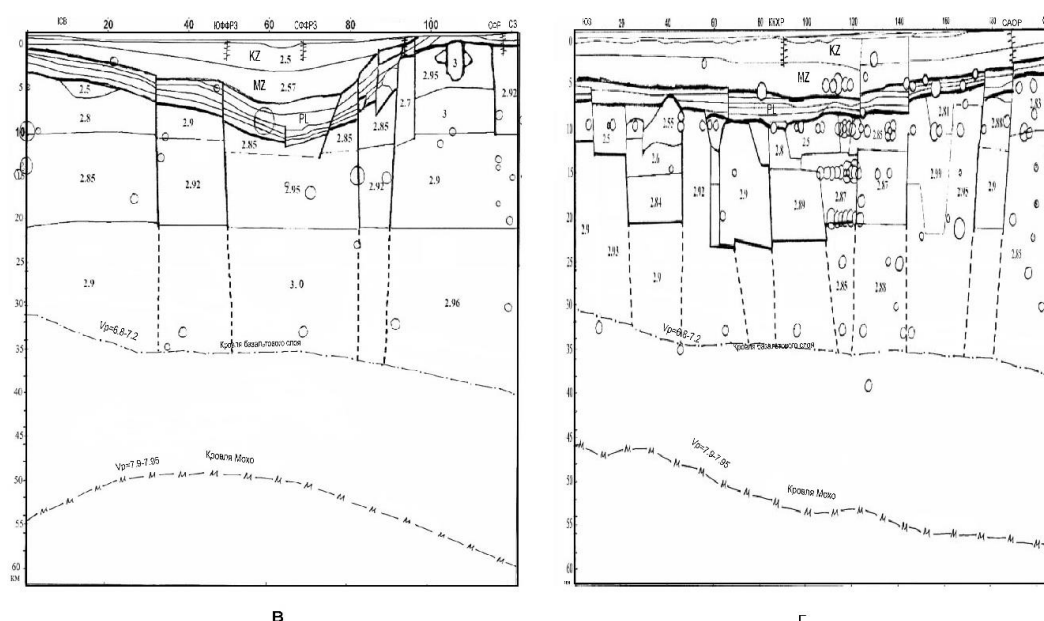


Рис. 5. Глубинный разрез некоторых профилей, по [21] (а – I-I, б – VII-VII, в – VIII-VIII, г – X-X). Цифра означает плотность блоков; отложения: Mz – мезозойские, Pz – палеозойские; СФР – Северо-Ферганский, ЮФР – Южно-Ферганский разломы, СФРЗ и ЮФРЗ – Северо-Ферганская и Южно-Ферганская флексурно-разрывные зоны, САОР – Сайрам-Андижан-Ошский разлом; штриховая линия – предполагаемые границы.

Fig.5. Deep section of some profiles according, to [21] (a – I-I, b – VII-VII, c – VIII-VIII, d – X-X). The figure means the density of blocks; Mz – Mesozoic deposits, Pz – Paleozoic deposits, SFR – North-Ferghana, SFR – South Ferghana faults, SFRZ and SFRZ – North Ferghana and South Ferghana flexural-discontinuous zones, SAOR – Sairam-Andijan–Osh fault, dashed line – assumed boundaries.

На **рис. 5** представлены плотностные характеристики и очаги сильных землетрясений некоторых из этих профилей. На профиле I-I в палеозойских отложениях и нижележащих блоках вертикальные границы соответствуют разломам взбросового типа, характерным для напряжений сжатия. На последующих профилях плоскости разломов постепенно приближаются к субвертикальному положению. На профиле VII-VII они практически субвертикальны. На профиле VIII-VIII плоскости разломов центральной части впадины приобретают сбросовый характер и соответствуют результатам геодезических измерений, проведенных по маршруту Ташкумыр–Андижан–Ош, т. е. восточная часть впадины по меридиану г. Андижан испытывает растягивающие напряжения. Анализ геологических разрезов на профилях IX-IX и X-X показывает, что характер морфологии разломов и вертикальных границ допалеозойских блоков свидетельствуют о преобладании растягивающих напряжений в продольном сечении Ферганской впадины. Лишь на восточной части впадины по меридиану г. Андижан преобладают растягивающие напряжения.

Математическая модель. Для построения численной модели выбрана более упрощенная схема, характерная I-VII профилям (**рис. 6**). Она протягивается в северо-западном–южно-восточном направлении на 122 км. Как уже упоминалось выделяются три стратиграфических комплекса. Сверху вниз – мезозой-кайнозойские (Mz-Kz) осадочные отложения. Их подстилают осадочно-вулканогенно-метаморфические породы. Мощность мезозой-кайнозойских отложений в самой прогнутой части впадины более 10 км. Для кайнозойской части разреза средняя плотность составляет $2,5 \text{ г/см}^3$, а для нижней мезозойской – $2,57 \text{ г/см}^3$. Для большей части допалеозойских осадочно-вулканогенно-метаморфических пород плотность равна $2,67 \text{ г/см}^3$. В этой толще выделяются карбонатные ($2,7\text{--}2,72 \text{ г/см}^3$), вулканогенно-терригенные и вулканогенные (свыше $2,72 \text{ г/см}^3$) слои. Ниже следуют допалеозойские блоки, различающиеся плотностью пород. Первый ряд блоков с плотностью пород от $2,5$ до $3,0 \text{ г/см}^3$, характерных для интрузивных и эффузивных образований. Блоки также отличаются размерами и конфигурацией. Следующий ряд блоков несколько упорядоченной формы. Плотность пород меняется закономерно в сторону увеличения. Лишь крайний, в северо-западной части профиля, блок отличается плотностью ($2,9 \text{ г/см}^3$) в сторону уменьшения от вышележащих блоков. Ниже на глубинах 21–25 км выделяется третий ряд бло-

ков с плотностью 2,9-3,0 г/см³. В работах [20, 21] проведено математическое моделирование горизонтальных напряжений земной коры Ферганской впадины. В предположении об однородной плотности по глубине получены значения средних горизонтальных напряжений указанной территории, в т. ч. на южной и северной части границ. Их используем в качестве граничных условий на южного и северного краев рассматриваемого профиля. Рассмотрим модель упругого деформирования неоднородной узкой призматической полосы, в предположении плоского обобщенного напряженного состояния.

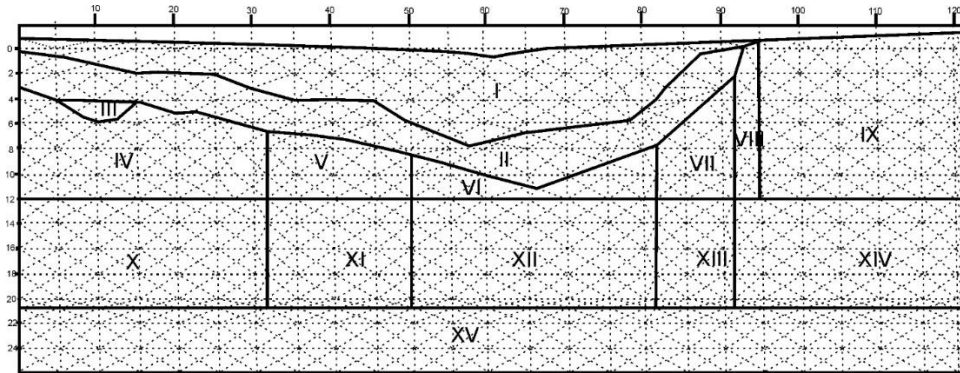


Рис. 6. Упрощенный профиль для построения математической модели неоднородной тяжелой полосы. По горизонтали – длина рассматриваемого профиля, по вертикали – глубина, км.

Fig. 6. Simplified profile for constructing a mathematical model of an inhomogeneous heavy band. Horizontally the length of the profile in question, vertically the depth in km.

В декартовой системе координат помещенная на дневной поверхности Земли ось x_1 направим вдоль длинного ребра полосы, ось x_2 – вертикально вверх. Перемещение тяжелой полосы под действием сил, приложенных к границам, описывается уравнением Ламе:

$$\Delta \bar{U} + \frac{1}{(1-2\nu)} \text{grad div} \bar{U} = \bar{F}, \quad (1)$$

здесь $\bar{U}$ – двумерный вектор перемещений с компонентами (u_1, u_2) , Δ – двумерный оператор Лапласа, ν – коэффициент Пуассона, $F(0, \rho gh/G)$, ρ – плотность, g – ускорение свободного падения, h – глубина рассматриваемого профиля, G – модуль сдвига.

Плотности, модуль сдвига, коэффициент Пуассона для указанных блоков выбираются соответственно из таблицы (рис. 7), созданной для литосферы Средней Азии [21], по данным [22-25]. Перемещения масштабируются относительно $h = 1000$ м, плотности блоков относительно $\rho = 2500$ кг/м³ и напряжения относительно давления $p = \rho gL$, при $\rho = 2,5$ г/см³, $L = 25$ км. Соотношение между компонентами перемещений, тензоры деформации ε_{ij} и напряжений σ_{ij} имеют обычно принятый вид в теории упругости:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

$$\sigma_{ij} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2G \varepsilon_{ij}$$

здесь λ – постоянная Ламе, которая выражается через G и ν по формуле:

$$\lambda = \frac{2G\nu}{(1-2\nu)}.$$

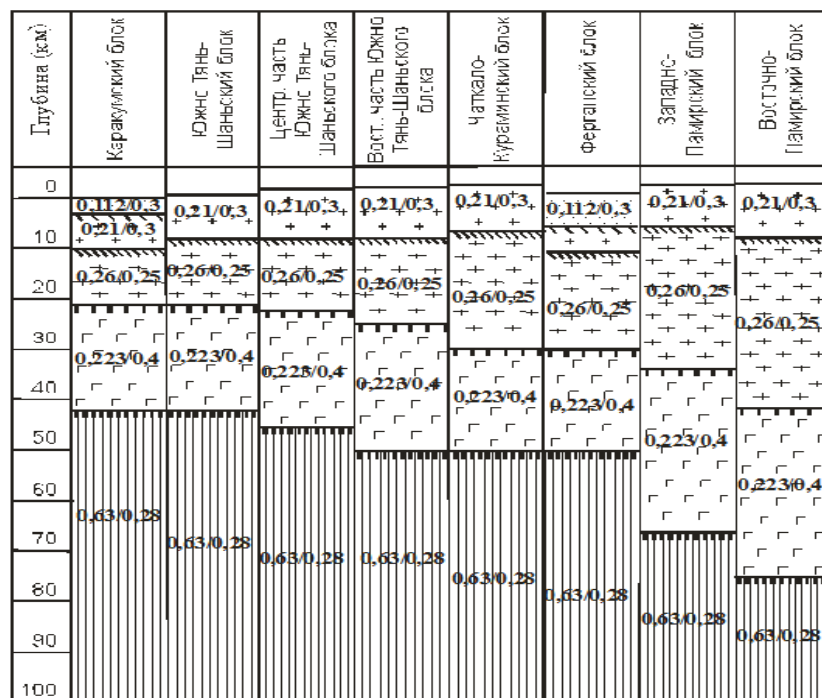


Рис. 7. Физические параметры земной коры Центральной Азии. – поверхность палеозойского комплекса; – поверхность кристаллического фундамента; – граница Конрада; – поверхность Мохоровичича; – модуль сдвига * 10-11 Па/коэффициент Пуассона.

Fig. 7. Physical parameters of the Earth's crust of Central Asia. – the surface of the Paleozoic complex; – the surface of the crystalline basement; – the Conrad boundary; – the Mohorovichich surface; – the shear modulus * 10-11 Pa /Poisson's ratio.

Исследуем перемещения упругой тяжелой полосы (см. рис. 5) при горизонтальном сжатии с двух сторон. Как известно [26], до глубин 20-25 км земной коры горизонтальные напряжения превалируют над вертикальной составляющей напряжений. Благодаря горизонтальным силам, направленным на северо-запад, территория впадины имеет характерную скорость перемещений, фиксируемую GPS [13], что дает основание для постановки рассматриваемой задачи. Граничные условия задавались следующим образом: на поверхности Земли отсутствуют напряжения; на боковых границах – горизонтальные перемещения, убывающие по глубине; нижняя граница допускает скольжение без трения. Уравнение (1) решалось методом граничных интегральных уравнений, подробно описанном ранее в работе [27]. В результате получены поле перемещений (u_1 , u_2). На рис. 8 представлен вектор перемещения от собственного веса тестовой задачи для однородной полосы, приведенной на рис. 6, со свободной границей сверху и закрепленной по остальным сторонам.

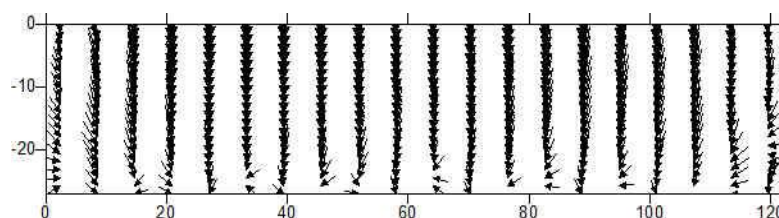


Рис. 8. Поле перемещений тяжелой однородной, закрепленной по бокам полосы, моделирующей упрощенную схему профилей (см. рис. 6). По горизонтали – длина рассматриваемого профиля, по вертикали – глубина, км.

Fig. 8. The displacement field of a heavy homogeneous strip fixed on the sides, simulating a simplified profile scheme shown in Fig. 6. Horizontally, the length of the profile being viewed, vertically, the depth in km.

Теория фон Мизеса утверждает, что материал разрушается, когда энергия деформации на единицу объема достигает значения энергии деформации на единицу объема за пределами упругости материала. Эта теория действительна для пластических материалов и лучше всего работает для материалов, подвергающихся сдвигу. Во многих упругих постановках максимальные касательные напряжения $\tau_{\max}$ представляют большой интерес. При достижении предела прочности по этим изолиниям возможны разрушения, следствием которых является землетрясения. Для плоского случая $\tau_{\max}$ определяются через σ_{ij} по формуле:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}.$$

Изолинии максимальных касательных напряжений нашей задачи большей частью оконтуривают границы плотностных неоднородностей и близлежащих им частей (рис. 9).

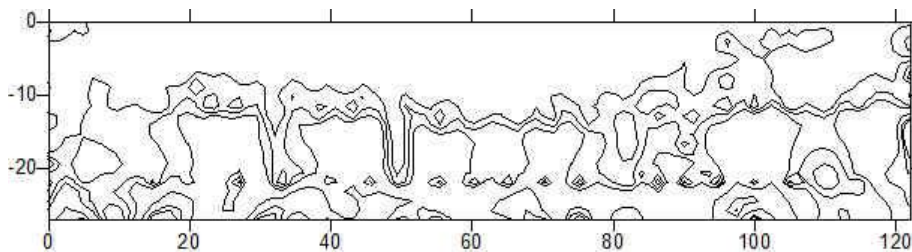


Рис. 9. Изолинии максимальных касательных напряжений, соответствующие упрощенному продольному профилю Ферганской впадины. По горизонтали – длина рассматриваемого профиля, по вертикали – глубина, км.

Fig. 9. Isolines of maximum tangential stresses corresponding to the simplified longitudinal profile of the Ferghana depression. Horizontally the length of the profile in question, vertically the depth in km.

Значительный интерес представляет перемещения границ раздела плотностей. На рис. 10 в более крупном плане изображены перемещения границ, заключенные в областях (IV-V-VI-VII), указанные на рис. 6. Как следует из представленной картины, действительно, при принятых условиях первоначально вертикальные границы областей (IV-V-VI-VII) наклоняются приблизительно так, как в гипотетической схеме (см. рис. 3).

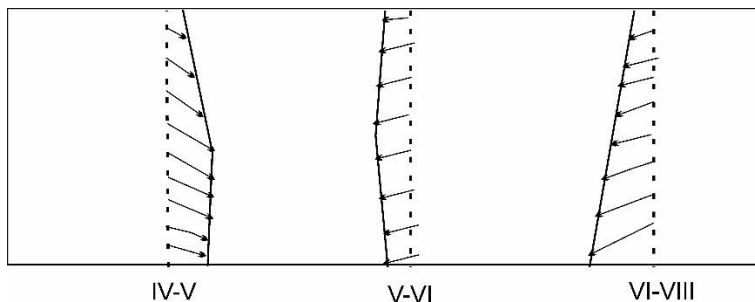


Рис. 10. Перемещения некоторых границ упрощенного профиля Ферганской впадины под действием горизонтального сжатия.

Fig. 10. Displacement of some boundaries of the simplified profile of the Ferghana Depression under the action of horizontal compression.

Таким образом, с помощью моделирования одного из поперечных сечений Ферганской впадины определено, что форма изменения границ этих неоднородностей вполне соответствует гипотетическим предположениям многоярусной тектоники. Также показано, что очаги землетрясения находятся в непосредственной близости от границ плотностных неоднородностей.

Заключение

Ферганская межгорная впадина находится в сжатом состоянии на северо-запад – юго-восточном направлении и в то же время имеет форму рифтовой впадины, свойственной обычно растяжению. Для выяснения этих особенностей проведено математическое моделирование перемещений некоторых профилей земной коры с помощью теории упругости. С этой целью проанализированы плотностные характеристики глубинных слоев и современные движения региона. Численные результаты решения математической модели свидетельствуют о том, что под действием горизонтальных тектонических напряжений сжатия вполне возможны сбросовые движения, характерные для рифтовой тектоники. Определено, что значения максимальных касательных напряжений находятся вблизи границ плотностных неоднородностей.

Литература

1. Цубои Т. Энергия землетрясений, объем гипоцентральной области, площадь афтершоков, прочность Земной коры // Слабые землетрясения / Под ред. Ю.В.Ризниченко. - М.: ИЛ, 1961. - С. 160-164.
2. Цубои Т. Гравитационное поле Земли. - М.: Мир, 1982. - 288 с.
3. Якубов Д.Х. Геотектонические условия возникновения сильных землетрясений Среднего и Южного Тянь-Шаня / Под ред. О.М.Борисова. - Т.: Фан, 1991. - 104 с.
4. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня / Под ред. Г.А.Мавлянова - Т.: Фан, 1978. - 144 с.
5. Ибрагимов Р.Н., Садыков Ю.М., Кадыров Ш.М. и др. Сейсмотектоника некоторых районов Узбекистана. - Т.: Фан, 1980. - 148 с.
6. Ярмухамедов А.Р. Современные тектонические движения земной коры // Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан / Под ред. О.М.Борисова. - Т.: Университет, 1998. - С. 446-459.
7. Ибрагимов Р.Н., Зияутдинов Ф.Ф., Садыков Ю.М. и др. Карта сейсмогенных зон Узбекистана. Масштаб 1:1 600 000 со специальной угловой врезкой «Сейсмическое районирование. Масштаб 1:5 000 000». Госкомитет РУз по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру (ГОСКМЗЕМГЕОДЕЗКАДАСТР). - Т., 2011.
8. Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Ходжаев А.К. К сейсмогеодинамике Западного Тянь-Шаня // Мат-лы. междунар. науч. конф. «Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии». - Т., 2018. - С. 33-41.
9. Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У. Сейсмотектоническая модель восточной части Ферганской впадины // Мат-лы междунар. конф. «Инновационные технологии в решении актуальных проблем сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии. - Т., 2020. - С. 179-187.
10. Садыков Ю.М., Нурматов У.А. Сейсмотектоника Западного Тянь-Шаня // Проблемы сейсмологии. - 2021. - № 2. - С. 61-72.
11. Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Шукуров З. и др. Карта активных разломов Западного Тянь-Шаня. Масштаб 1:1 600 000 // Сейсмологический атлас Узбекистана. ГОСКМЗЕМГЕОДЕЗКАДАСТР. - Т., 2021. - 79 с.
12. Ибрагимов Р.Н., Садыков Ю.М., Ходжаев А.К. и др. Карта сейсмогенных зон Узбекистана и прилегающих территорий. Масштаб 1: 3 500 000. Сейсмологический атлас Узбекистана. ГОСКМЗЕМГЕОДЕЗКАДАСТР. - Т., 2021. - 59 с.
13. Зубович А.В. Данные спутниковой геодезии о современных движениях земной коры // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). - М.: Научный мир, 2005. - С. 201-218.
14. Природа слоев и границ литосферы Средней Азии. - Т.: ГФНТИ, 1998. - 212 с.
15. Мордвинцев Д.О. Особенности глубинного строения Ферганской впадины и их связь с размещением месторождений нефти и газа // Мат-лы Всеросс. конф. «Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь». - М.: ИПНГ РАН, 2010. - С. 361-364.
16. Мордвинцев Д.О. Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности глубинного строения кристаллического фундамента // Геология и минеральные ресурсы. - 2011. - № 6. - С. 41-46.
17. Мордвинцев Д.О. Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности рельефа структурной поверхности домезозойских образований // Геология и минеральные ресурсы. - 2012. - № 4. - С. 55-60.
18. Мордвинцев Д.О. Геологическое строение домезозойских комплексов Ферганской впадины по геофизическим данным: Автореф. дисс... докт. г.-м. наук (D.Sc.). - Т., 2020.
19. Клещев К.А., Петров А.И., Шеин В.С. Геодинамика и новые типы природных резервуаров нефти и газа. ВНИГНИ. - М.: Недра, 1995. - 285 с.
20. 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.
21. Абидов А.А., Атабеков И.У., Ходжиметов А.И. Движущие силы складкообразования // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. В 2-х томах / Отв. ред. О.А.Глико и Ю.Г.Леонов. - М.: ИФЗ РАН, 2012. - С. 69-72.
22. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. - М.: Недра, 1982. - 271 с.

23. Бабаджанов Т.Л., Кунин Н.Я., Лук-Зильберман В.И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комплексов Средней Азии по геофизическим данным. - Т.: Фан, 1986. - 190 с.

24. Зуннунов Ф.Х. Литосфера Средней Азии по сейсмическим данным. - Т.: Фан, 1985. - 108 с.

25. Долгополов Ф.Г. Трехмерная физико-геологическая модель литосферы Среднеазиатского

геодинамического полигона // Геология и минеральные ресурсы. - 2004. - № 5. - С. 40-43.

26. Булин Н.К. Современное поле напряжений в верхних горизонтах земной коры // Геотектоника. - 1971. - № 3. - С. 3-15.

27. Атабеков И.У. Опыт моделирования сейсмотектонического течения земной коры Центральной Азии // Физика Земли. - 2021. - № 1. - С. 122-132. DOI: 10.31857/S0002333721010014

FARG'ONA CHUQURI GEODINAMIKASI MODEL

I.U.Atabekov, Yu.M.Sodiqov, J.Q.Mamarahimov

Abstrakt. Seysmologik ma'lumotlar bazasi bo'yicha zilzila o'choqlarining joylashuvi ko'p hollarda geologik va geofizik ma'lumotlar bilan belgilangan er qobig'i qatlamlarining har xil jinslik chegaralariga mos kelmaydi. Bu nomuvofiqlikni aniqlash maqsadida Farg'ona havzasining chuqur zichlik tuzilishi, zamonaviy vertikal va gorizontal tektonik harakatlarning miqdoriy baholari tahlil qilingan. Yig'ilgan ma'lumotlarga asoslanib, tektonik geterojen zonalar chegaralariga maksimal tangensial kuchlanishlar joylashuvining mosligini o'rganish uchun chuqurlikning ko'ndalang kesimlaridan biri misolida kuchlanish-deformatsiya holatining modeli quriladi.

Kalit so'zlar: geodinamika, chuqur tuzilmalar, neotektonika, faol yoriqlar, seysmiklik, zamonaviy harakatlar, raqamli modellar.

SOME PECULIARITY OF THE FERGANA DEEP GEODYNAMICS

I.U.Atabekov, Yu.M.Sodiqov, J.K.Mamarahimov

Abstract. The location of earthquake foci according to the seismological database in most cases does not correlate with the inhomogeneity's boundary of the layers of the earth's crust established by geological and geophysical data. In order to clarify this discrepancy, the deep density structure of the Fergana basin, quantitative estimates of modern vertical and horizontal tectonic movements are analyzed. Based on the collected data, a model of the stress-strain state is built on the example of one of the cross-sections of the depression to study the correspondence of the location of the maximum tangential stresses to the boundaries of tectonically heterogeneous zones.

Key words: geodynamics, deep structures, neotectonics, active faults, seismicity, modern movements, numerical models.

УДК 551.24

К СЕЙМОТЕКТОНИКЕ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ

Ю.М.Садыков, А.А.Рашидов

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент

Аннотация. Сейсмотектоника Ферганской впадины обусловлена коллизионными процессами в зоне взаимодействия Южного Тянь-Шаня и Памирской дуги. Сильные землетрясения, сопровождающие этот процесс, генетически связаны с участками интенсивных движений в новейшее и современное время, с зонами активных разрывных нарушений. На базе комплекса геолого-геофизических данных проведен анализ взаимосвязи неотектонических и глубинных структур верхней (гранитной) части земной коры и сейсмичности.

Ключевые слова: сейсмотектоника, неотектоника, активные разломы, глубинные структуры, Ферганская впадина.

Введение. Сейсмотектоника Ферганской впадины обусловлена коллизионными процессами в зоне взаимодействия Южного Тянь-Шаня и Памирской дуги. Этот процесс способствует поддержанию высокого сейсмического потенциала региона, о чем свидетельствуют прошедшие здесь с древних времен по настоящее время разрушительные землетрясения и их следы – сейсмодислокации. Сильные землетрясения генетически связаны с участками интенсивных движений в

новейшее и современное время, с зонами активных разрывных нарушений. Цель работы – изучение связи неотектоники и современных вертикальных тектонических движений с тектоническими структурами, выделенными в рельефе кристаллического и консолидированного фундаментов.

Методика исследований. При исследовании сейсмотектоники Ферганской впадины мы использовали картографический метод для анализа комплекса геолого-геофизических данных, отражающих в той или иной степени сейсмотектонический процесс. Каждая используемая информация раскрывает определенный элемент тектоники земной коры, а в комплексе с другими геолого-геофизическими данными – способствует созданию модели сейсмотектоники Ферганской впадины. В отдельных случаях применен способ декомпозиции и обновления, позволяющий замену некоторых элементов использованных карт и схем на более современные.

Особенности структуры допалеозойского и домезозойского фундаментов земной коры

Известно, что в разрезе земной коры впадины выделяют «базальтовый», «гранитный» («диоритовый» и «гранито-гнейсовый» подслои) и осадочный («метаморфизованный осадочно-вулканогенный» и «собственно осадочный» подслои) слои. Строение «гранито-гнейсового» и «метаморфизованного осадочно-вулканогенного» подслоев рассмотрены в [1, 2], на основе новейших геофизических изысканий. Были построены плотностные модели по ряду геолого-геофизических профилей, поперечно пересекающих впадину, позволившие детально рассмотреть геологическое строение домезозойского комплекса отложений. Во всех профилях картируются три стратиграфических комплекса пород (сверху вниз): мезо-кайнозойский, палеозойский и допалеозойский. Первые два из них стратифицированы, а в допалеозойском комплексе выделяются блоки, различающиеся плотностью пород. В качестве нижнего предела, влияющего на вышележащие толщи, была выбрана глубина в 15 км. Именно до этой глубины, по материалам комплексных геофизических исследований, возможно обоснованно выделять геологические объекты по плотностям. Были также построены схемы рельефа кристаллического [1] и консолидированного [2] фундаментов. Обычно геологи и геофизики делят Ферганскую впадину в поперечном сечении на Южный борт, Центральный грабен и Северный борт [3-7]. По поверхности кристаллического фундамента (рис. 1) южный борт имеет вид крутой моноклинали, Центральный грабен и Северный борт более деформированного характера. В средней части грабена, усеченного разломами, выделяются два наиболее глубоко погруженных участка, оконтуренные изолинией - 10,5 км, субширотного простирания. Для Южного борта разница в глубинах составляет 7-10 км, что подтверждает его крутизну. Северный борт и Центральный грабен уступают Южному борту в соотношении глубин. Характерно, что понижение глубин в Южном борту идет в северо-восточном направлении, от центра к периферии, а в Северном, наоборот, с северо-востока на юго-запад. Центральный грабен на всем протяжении образует три отрицательных структуры и их глубины сопоставимы. Движения, формировавшие поверхность кристаллического фундамента, дифференцированного характера. Внутренние Северо-Ферганская и Южно-Ферганская флексурно-разрывные зоны (СФФРЗ и ЮФФРЗ), как и краевые Северо-Ферганский (СФР) и Южно-Ферганский (ЮФР) разломы активно функционировали. Судя по рисунку изолиний, рельефу кристаллического фундамента и разнице отметок глубин (см. рис. 1), действовали также разломы северо-западного простирания (Кумбель-Коканд-Хайдарканский и Сайрам-Андижан-Ошский).

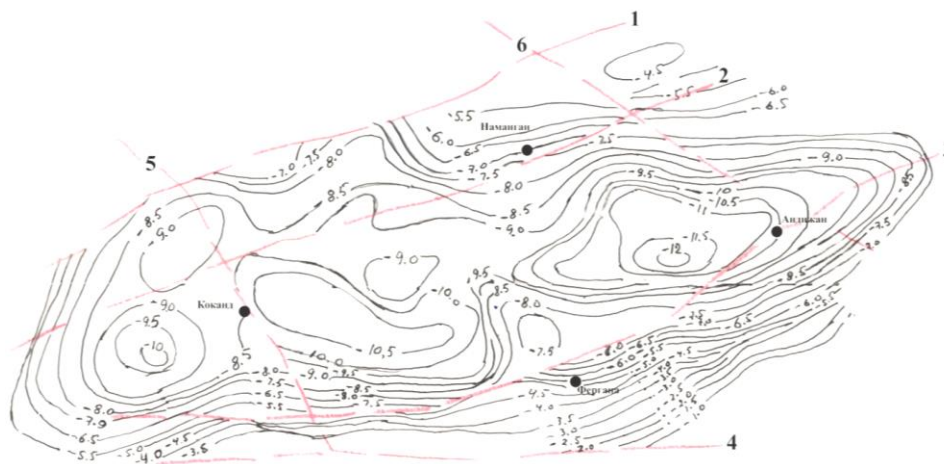


Рис. 1. Рельеф кристаллического фундамента (AR - Pt1) по [1]. Активные разломы: 1 – Северо-Ферганский; 2 – Северо-Ферганская ФРЗ; 3 – Южно-Ферганская ФРЗ; 4 – Южно-Ферганский; 5 – Кумбель-Коканд-Хайдарканский; 6 – Сайрам-Андижан-Ошский.

Fig.1. Relief of the crystalline basement (AR - Pt1) according to [1]. Active faults: 1 – North Ferghana; 2 – North Ferghana FRZ; 3 – South Ferghana FRZ; 4 – South Ferghana; 5 – Kumbel-Kokand-Haidarkan; 6 – Sairam-Andijan-Osh.

Не менее сложную картину представляет поверхность домезозойских пород (рис. 2).

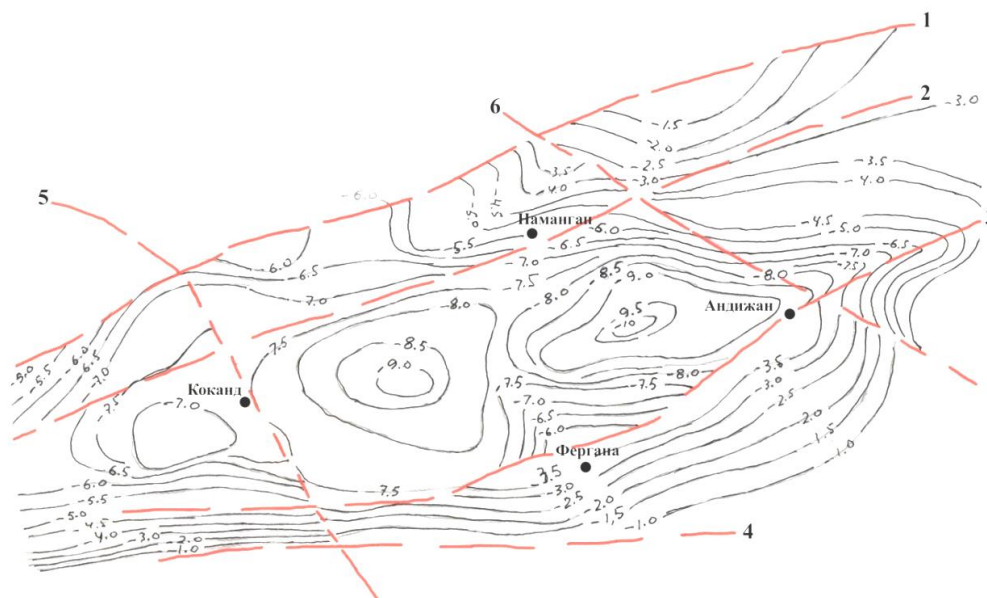


Рис. 2. Рельеф домезозойского фундамента по [2].

Fig. 2. Relief of the Pre-Mesozoic foundation according to [2].

Моноклинальное залегание поверхности домезозойского фундамента Южного борта сохраняется, но крутизна уменьшается, и разница в глубинах составляет всего 2,5 км. Площадь Северного борта в два раза больше, в то время как количество морфоструктур всего 6. Площадь Южного борта в два раза меньше, а количество структур 13, что свидетельствует о более высокой степени дислоцированности Южного борта [2]. Наиболее значимые структурно-контролирующие разломы северо-восточной ориентации. Совместно рассматривая эти схемы, нужно отметить очень заметную их схожесть. В формировании обеих поверхностей большую роль сыграли разломы северо-восточного и северо-западного направлений, при резком превалировании первых. Это подчеркивается рисунком изолиний, не стыковкой их в зонах разломов, разницей в глубинах. Кроме

того, по глубинам и рисунку изолиний впадину можно разделить, в продольном сечении, на западную, центральную и восточную части, ограниченных разломами северо-западной ориентации.

Структура мезозой-кайнозойского покрова. В пределах впадины, в разрезе мезозой-кайнозойских отложений, выделяются окраинные структуры, дислокации Северного и Южного бортов. Между бортами развиты прогибы и поднятия Центрального грабена [3-6].

Северный борт расположен (рис. 3) между СФР и СФФРЗ. Он характеризуется развитием в толще кайнозойских осадков складчатых структурных форм. В его пределах расположены Майлисуйский, Карагундайский, Паласский выступы и Чуст-Пап-Наманганская ступень, а также Кассан-Пшкаранский и Алмасский прогибы.

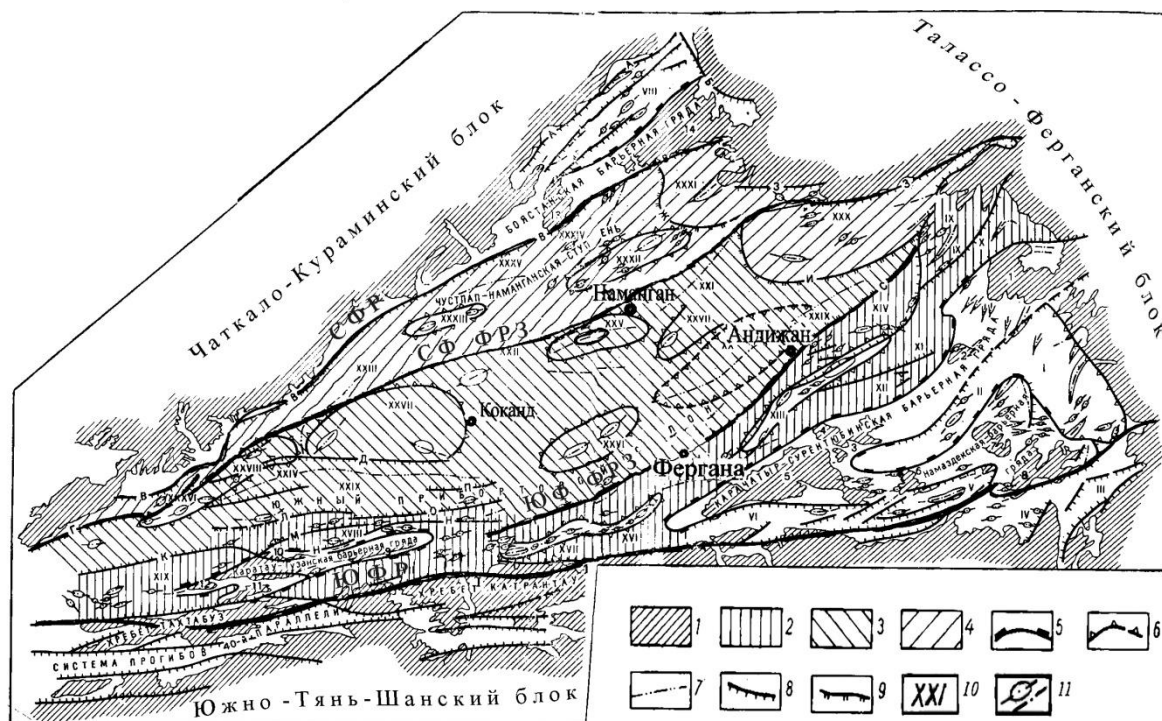


Рис. 3. Схема тектонического районирования мезозой-кайнозойских отложений Ферганской впадины, по [6]. 1 — выходы на поверхность домезозойских образований; 2 — Южный борт; 3 — Центральный грабен; 4 — Северный борт; 5 — граница барьерных гряд; 6 — границы антиклинальных зон, поднятий; 7 — оси прогибов; 8 — разломы третьего порядка, выраженные на поверхности домезозойского фундамента и в покрове; 9 — флексуры; 10 — структуры третьего порядка; 11 — антиклинальные складки, выраженные в палеогеновых и мезозойских отложениях.

Окраинные структуры. Барьерные гряды: Карачатыр-Сурентюбинская, Намаздекская, Кара-тау-Гузанская, Боястанская.

Окраинные прогибы: I — Узгенский; II — Тулейкенский; III — Джусалинский; IV — Ляглянский; V — Наукатский; VI — Караван-Кокджарский; VII — Исфара-Ляканский; VIII — Нанайский.

Структура Ферганской мегасинклинали. Южный борт: IX — Ачисайский выступ; X — Кугартский прогиб; XI — Аимский прогиб; XII — Карасуйский прогиб; XIII — Андижанская антиклинальная зона; XIV — Андижанская моноклираль; XV — Яккатутская ступенчатая зона; XVI — Кызыларчинская антиклинальная зона; XVII — Чимионская антиклинальная зона; XVIII — Канибадам-Риштанская ступенчатая зона; XIX — Тузлукская моноклираль.

Центральный грабен. Прогиб: XX — Карадарьинский, XXI — Учкурганский, XXII — Дамкульский, XXIII — Шайданский, XXIV — Бешарыкский; поднятие: XXV — Мингбулакское, XXVI — Каражидинское, XXVII — Кокандское; XXVIII — Акбельская антиклинальная зона; XXIX — Южный прибортовой склон.

Северный борт. Выступ: XXX — Майлисуйский, XXXI — Карагундайский; поднятие: XXXII — Наманганское, XXXIII — Чустпапское; прогиб: XXXIV — Алмасский, XXXV — Кассан-Пшкаранский; XXXVI — Поласский выступ.

Основные сейсмоактивные разломы: СФР — Северо-Ферганский; ЮФР — Южно-Ферганский.

Разломы третьего порядка: А – Чаткало-Атойнакский; Б – Карасуйский; Г – Самгарский; Д – Акбель-Супетауский;

Е – Баубашатинский. Флексуры: Ж – Карагундайсая; З – Присырдарьинская.

Сейсмоактивные ФРЗ: СФ – Северо-Ферганская, ЮФ – Южно-Ферганская и сопутствующие ей разломы третьего порядка: К – Тузлукский; Л – Махрамский; М – Канибадамский; Н – Шорсуйский; О – Варыкский; П – Сарыкурганский; Р – Капчигаийский; С – Андижанская флексура.

Fig. 3. Scheme of tectonic zoning of Mesozoic-Cenozoic deposits Ferghana Depression, according to [6]. 1 – exits to the surface of pre-Mesozoic formations; 2 – Southern side; 3 – Central graben; 4 – Northern side; 5 – boundary of barrier ridges; 6 – boundaries of anticline zones, uplifts; 7 – axes of deflections; 8 – faults of the third order expressed on the surface of the pre-Mesozoic foundation and in the cover; 9 – flexures; 10 – structures of the third order; 11 – anticlinal folds expressed in Paleogene and Mesozoic sediments.

Marginal structures. Barrier ridges: Karachaty-Surentyubinskaya, Namazdekskaya, Karatau-Guzanskaya, Boyastansaya.

Marginal bends: I – Uzgen; II – Tuleiken; III – Dzhusalinsky; IV – Lyagliansky; V – Naukatsky; VI – Caravan-Kokdzharsky; VII – Isfara-Lyakansky; VIII – Nanai.

The structure of the Ferghana megasyncline. South side: IX – Achisai ledge; X – Kugartsky deflection; XI – Aimsy deflection; XII – Karasu deflection; XIII – Andijan anticline zone; XIV – Andijan monocline; XV – Yakkatut stepped zone; XVI – Kyzylarchna antiklinal zone; XVII – Chimion anticline zone; XVIII – Kanibadam-Rishtan stepped zone; XIX – Tuzluk monocline.

Central graben. Deflection: XX – Karadarya, XXI – Uchkurgan, XXII – Damkul, XXIII – Shaidan, XXIV – Besharyk; uplift: XXV – Mingbulak, XXVI – Karazhida, XXVII – Kokand; XXVIII – Akbel anti-wedge zone; XXIX – Southern pribort slope.

North side: XXX – Mailisu ledge; XXXI – Karagundai ledge; XXXII – Namangan uplift; XXXIII – Chustpapa uplift; XXXIV – Almas deflection; XXXV – Kassan-Pishkaran deflection; XXXVI – Polas ledge.

The main seismically active faults are: SFR – North Ferghana; SFR – South Ferghana.

Faults of the third order: А – Chatkalo-Atoinak; В – Karasu; G – Samgar; D – Ak-bel-Supetau; E – Baubashatinsky. Flexures: Z – Karagundayskaya; Z – Prisyrdarya.

Seismically active flexure-discontinuous zones: SF FRZ – Severo-Ferghana; SF FRZ and associated faults of the third order: K – Tuzluk; L – Mahram; M – Kanibadam; N – Shorsu; O – Varyk; P – Sarykurgan; R – Kapchigai; S – Andijan flexure.

Центральный грабен. Рельеф центральной части впадины практически ровный, местами холмистый. В ее пределах широко развиты песчаные возвышенности, а также болотистые местности. Зона простирается с северо-востока на юго-запад и через Ходжентские ворота сливается с Ташкентско-Голодностепским прогибом [7]. Протяженность грабена составляет более 300 км. Его строение осложняется системой протяженных прогибов (Карадарьинский, Учкурганский, Дамкульский, Шайданский, Бешарыкский) и крупных поднятий (Караджинское, Мингбулакское и Кокандское). Для него характерно глубокое залегание палеозойского фундамента и наличие пологих складок с углами наклона пород не более 2-5°. Мощность кайнозойские отложений достигает 7,5 км [5, 6]. Южный борт ограничивается с севера ЮФФРЗ, а с юга, частично (западная половина борта) – ЮФР и Карачатыр-Сурентюбинской барьерной грядой (восточная часть борта). С юга к Южному борту приключаются система прогибов 40-й параллели и Катрантауское поднятие. В целом, Южный борт отделен от Южно-Тянь-Шаньского блока частыми впадинами и системой Карачатыр-Сурентюбинской барьерной гряды. Для борта характерно ступенчатое погружение палеогеновых и более древних образований в сторону Центрального грабена. На всем протяжении борта характер деформации мезо-кайнозойского покрова, в основном, зависит от рельефа палеозойского фундамента. На западе до района Риштанских складок зона осложнена системой эшелонированных разломов, рассекающих ее под острым углом и обособляющих отдельные блоки ступени. В этой части зона широтного простирания. К востоку от группы Риштанских складок она приобретает северо-восточное простирание. Изменяется и форма дислокаций. Зона здесь состоит из параллельных ступеней, разделенных структурными уступами [5, 6]. В своей восточной части Южный борт включает Куршабскую впадину и прилегающие участки западного склона Таласо-Ферганского блока. К окраинным структурам относятся барьерные гряды с входящими в их пределы выступами палеозойского фундамента и окраинные прогибы. На востоке окраинные структуры начинаются с погружения шарнира крупных антиклинальных поднятий Баубашатинского горного узла и Баястанского хребта в сторону впадины. Для гряд, расположенных в юго-

восточной части впадины, характерно асимметричное строение. Их южные склоны крутые и осложнены разломами, по которым каждая гряда взброшена на смежную с юга впадину с некоторыми элементами надвигания. На юго-востоке Ферганы расположены Карачатыр-Сурентюбинская и Намаздек-Алдиярская барьерные гряды, разделенные Тулейкенским прогибом. Они простираются с юго-запада на северо-восток. Некоторые складки Намаздекской гряды в простираении резко меняют направление, местами переходя на меридиональные.

Представление об амплитудах неотектонических движений во впадине дает карта амплитуд движений (рис. 4). Так, на карте четко обособляются Северный и Южный борта, Центральный грабен, а также западная, центральная и восточная части впадины в продольном сечении. Функционировали те же разломы, осложняющие строение кристаллического и консолидированного фундамента, подчеркиваемые рисунками изолиний и амплитудными характеристиками неотектонических движений, не стыковкой изолиний амплитуд в зонах разломов.

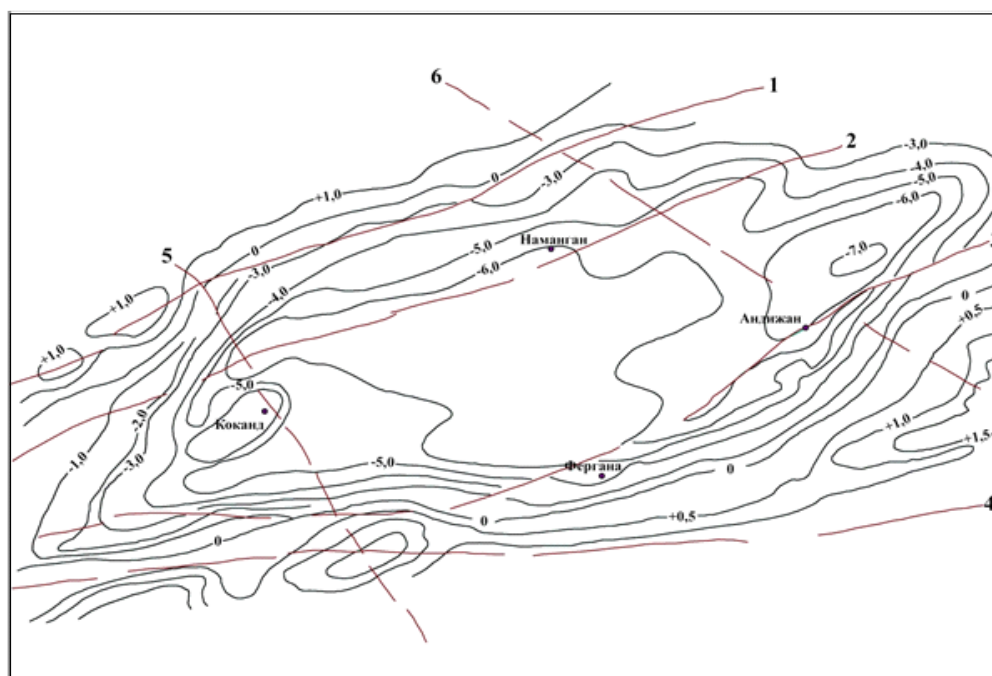


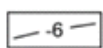
Рис. 4. Карта амплитуд новейших тектонических движений.
Fig.4. Map of the amplitudes of the latest tectonic movements.

Таким образом, анализ рис. 1-4 показал, что при формировании основных региональных структур функционировали Северо-Ферганский разлом, Северо-Ферганская ФРЗ, Южно-Ферганская ФРЗ, Южно-Ферганский, Кумбель-Коканд-Хайдарканский и Сайрам-Восточно-Ферганский разломы. Они входят в систему северо-восточных (поперечно Тянь-Шаньских), субширотных (Тянь-Шаньский) и северо-западных (Каратауский) региональных разломов. Значимая роль этих разломов при формировании новейшего и современного структурных планов не вызывает сомнений. Последние из перечисленных разломов (северо-западные) по интенсивности уступают разломам северо-восточной и субширотной ориентации, и их вероятная связь с сейсмичностью требует специального анализа. Выше перечисленные разломы подчеркиваются характером рисунков изолиний, их нестыковкой в зонах разломов, амплитудами движений. Данные об этих разломах неоднократно публиковались [3-11, 13]. Для выявления тенденции современных движений было проведено изучение взаимосвязи новейших, молодых и современных движений и составлена схема (рис. 5) современных вертикальных движений тектонических структур Средней Азии [11]. Данная карта дополнена нами сетью активных разломов. Совместный анализ с материалами сейсмичности неотектоники показал, что участки, подверженные положительным (+2, +10 мм/год) (Чаткало-Кураминский, Таласо-Ферганский и Южно-Тянь-Шаньский блоки) или отрицательным (-2, -10 мм/год) скоростям современных вертикальных движений (Ферганская впадина), создают межблочные зоны с высоким сейсмическим потенциалом. Сравнительное рассмотрение схемы неотектоники и современных движений отражает высокую степень унаследованности современных движений новейшим. Исходя из этого, следует важный вывод, что изучение неотекто-

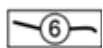
нических движений при сеймотектоническом анализе крайне важно. В целом, анализ соотношения кристаллического и консолидированного фундаментов, неотектоники и современных движений показал тесную структурную зависимость неотектоники и современных движений от докембрийских структурных форм.



Рис. 5. Фрагмент карты скоростей современных вертикальных движений тектонических движений, мм/год, по [10].

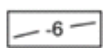


Изолинии скоростей современных движений.

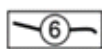


Активные разломы: 1 – Таласо-Ферганский; 2 – Аксу-Майдантальский; 3 – Северо-Ферганский; 4 – Северо-Ферганская ФРЗ; 5 – Южно-Ферганская ФРЗ; 6 – Южно-Ферганский; 7 – Гиссаро-Кокшаальский; 8 – Кумбель-Коканд-Хайдарканский; 9 – Сайрам-Андижан-Ошский.

Fig.5. Fragment of the velocity map of modern vertical movements of tectonic movements in mm/year according to [10].



Isolines of the speeds of modern movements.



Active faults: 1 – Thalaso-Fergana; 2 – Aksu-Maidantal; 3 – North Ferghana; 4 – North Ferghana flexural-discontinuous zone; 5 – South Ferghana flexural-discontinuous zone; 6 – South Ferghana; 7 – Hissar-Kokshaalsky; 8 – Kumbel-Kokand-Haidarkan; 9 – Sairam-Andijan-Osh.

Заклучение

Анализ соотношений кристаллического и консолидированного фундаментов, фрагмента карты амплитуд неотектонических движений (в метрах) и фрагмента карты современных вертикальных тектонических движений (в мм/год) отразил связь неотектоники и современных движений с тектоническими структурами кристаллического и консолидированного фундаментов.

Сравнительное рассмотрение фрагмента карты амплитуд неотектонических движений и фрагмента карты современных вертикальных тектонических движений свидетельствует о высокой степени унаследованности современных движений новейшим.

Структурно-контролирующие разломы северо-восточного и субширотного простираний, разграничивая разнонаправленно развивающиеся в настоящее время тектонические блоки (Чаткало-Кураминский, Южно-Тянь-Шаньский) и Ферганскую впадину, обладают повышенным сеймотектоническим потенциалом, где вероятно возникновение землетрясения с $M \geq 5,0$.

Существенна роль разломов северо-западного простирания при формировании новейшего и современного структурных планов. По интенсивности они уступают разломам северо-восточной и субширотной ориентации.

Литература

1. Абилов А.А., Каломазов Р.У., Педдер Ю.Г., Пшеничная З.Д., Юртаев Ю.С., Ходжиматов А.Х., Рашидов А.Х., Старокожев Б.А. Новая схема тектонического районирования Ферганской впадины // Геология нефти и газа. - 1992. - № 11.
2. 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.
3. Зуннунов Ф.Х., Зильберштейн М.Б., Перельман И.И., Пак В.А., Пшеничная З.Д., Харитонов А.И., Грудкин К.А., Ефимов Г.П. Глубинное геологическое строение Ферганской межгорной впадины и его изучение геофизическими методами / Под ред. Т.Л.Бабаджанова. - Т.: Фан, 1973. - 192 с.
4. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня / Под ред. Г.А.Мавлянова. - Т.: Фан, 1978. - 144 с.
5. Ибрагимов Р.Н., Садыков Ю.М., Кадыров Ш.М. и др. Сейсмотектоника некоторых районов Узбекистана. - Т.: Фан, 1980. - 148 с.
6. Мордвинцев Д.О. Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности глубинного строения кристаллического фундамента // Геология и минеральные ресурсы. - 2011. - № 6. - С. 41-46.
7. Мордвинцев Д.О. Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности рельефа структурной поверхности домезозойских образований // Геология и минеральные ресурсы. - 2012. - № 4. - С. 55-60.
8. Таль-Вирский Б.Б., Алексеев В.П., Зуннунов Ф.Х. Тектоническая карта Ферганской межгорной впадины. Масштаб 1:500000. - Т., 1972.
9. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля, глубинное строение земной коры и мантии, сейсмичность и современные движения // Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. - Т.: Университет, 1998. - С. 369-427.
10. Таль-Вирский Б.Б., Зуннунов Ф.Х. Тектоническое районирование Ферганской впадины по геофизическим данным // Геотектоника. - 1972. - № 1. - С. 119-123.
11. Якубов Д.Х. Геотектонические условия возникновения сильных землетрясений Среднего и Южного Тянь-Шаня / Под ред. О.М.Борисова. - Т.: Фан, 1991. - 104 с.
12. Якубов Д.Х., Ахмеджанов М.А., Борисов О.М. Региональные разломы Среднего и Южного Тянь-Шаня / Под ред. Г.А.Мавлянова. - Т.: Фан, 1976. - 146 с.
13. Ярмухамедов А.Р. Современные тектонические движения земной коры // Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан / Под ред. О.М.Борисова. - Т.: Университет, 1998. - С. 446-459.

FARG'ONA BOTIQLIGINI SEYSMOTEKTONIKASI

Y.M.Sodiqov, A.A.Rashidov

Annotatsiya. Farg'ona botiqligini seysmotektonikasi Janubiy Tyan-Shan hamda Pomir yoysimon tuzilmasini to'qnashishi natijasida hosil bo'lgan jarayonlar mahsulidir. Bu jarayon davomida kuchli zilzilalarni namoyon bo'lishi g'ayri oddiy hodisadir. Maqolada yer qobig'ini granit qatlamini ustki qismida joylashgan tuzilmalarni zilzilalar bilan bog'liqligi tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: seysmotektonika, neotektonika, faol yoriqlar, chuqur tuzilmalar, Farg'ona botiqligi.

SEISMOTEKTONICS OF THE FERGHANA DEPRESSION

Yu.M.Sadikov, A.A.Rashidov

Annotation. The seismotectonics of the Fergana depression is due to collisional processes in the zone of interaction between the Southern Tien Shan and the Pamir arc. Strong earthquakes accompanying this process are genetically associated with areas of intense movements in recent and modern times, with zones of active faults. On the basis of a complex of geological and geophysical data, an analysis was made of the relationship between neotectonic and deep structures of the upper (granite) part of the earth's crust and seismicity.

Key words: seismotektonika, neotectonika, active faults, deep structures, Fergana depression.

MUHANDISLIK SEYSMOLOGIYASI

УДК 550.34+624.131

РАЗРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ГОРОДОВ УЗБЕКИСТАНА (в инженерных показателях)

Тешаева Рухсора Баходир кизи

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент
**teshaeva.ruhsora.93@bk.ru*

Аннотация. Рассматриваются современные методы оценки сейсмической опасности городских территорий с использованием сеймогрунтовых моделей. Целью исследования является оптимальная оценка уровня сейсмичности строительных площадок на основе инженерно-геологических условий местности и параметров грунта, снижение влияния возможных сейсмических процессов. Расчеты значений пиковых ускорений свободной поверхности в моделях осуществлены с использованием программы STRATA. Для решения задач СМР г. Намангана разработаны 85 моделей по всей территории города. Для них рассчитаны реакции грунтовых толщ на сейсмические воздействия, заданные на скальные полупространства. Для каждой модели получены пиковые ускорения и максимальное смещение на свободной поверхности, их изменение с глубиной, а также спектры реакций грунтовой толщи. Составлены схемы сейсмического микрорайонирования территории города в показателях пиковых ускорений.

Ключевые слова: Инженерно-геологические условия, сейсмичность, скорость распространения сейсмических волн, плотность грунта, нелинейные свойства грунтов, эквивалентная линейная модель, STRATA.

Введение. Сейсмичность строительных площадок определяется на основе сейсмического микрорайонирования (СМР) в составе инженерно-геологических изысканий, а также в рамках требований КМК 2.01.03.-19. СМР выполняют в целях количественной оценки влияния местных грунтовых условий (состав и свойства грунтов, особенности рельефа, наличие опасных геологических явлений и др.) на сейсмичность с указанием изменения интенсивности в баллах и/или инструментальных параметров сейсмических колебаний. В США и других западных странах оценка сейсмической интенсивности с самого начала проводилась по инструментальным параметрам (PGA, спектральные ускорения и др.) и под патронажем инженеров-строителей. В странах СНГ основным выходным параметром, характеризующим сейсмическое воздействие, изначально была макросейсмическая интенсивность. Преобразование макросейсмической интенсивности в количественные параметры, такие как PGA, спектральные ускорения и т. д., осуществлялось по строительным нормам и правилам. Макросейсмическая интенсивность также используется в Узбекских строительных нормах. В случае макросейсмического подхода к оценке сейсмичности строительных площадок отмечены недостатки, которые проявляются при учете влияния уровня грунтовых вод на сейсмический эффект. Формула зависимости приращения балльности от уровня грунтовых вод существует, но отсутствует физическое обоснование этой зависимости и ее вида [4]. Кроме того, вопрос о том, как влияет наличие флюидной составляющей на физико-механические свойства грунта, отразил отсутствие причин, которые могли бы повлиять на увеличение сейсмического эффекта. То же самое можно заметить и относительно вида зависимости приращения сейсмической интенсивности от сейсмической жесткости грунта [6]. Из-за отсутствия ответов на вышеуказанные вопросы при работах СМР многие исследователи отказываются использовать метод жесткостей на макросейсмическую оценку строительных площадок, и переходят к методу моделирования грунтовых условий.

В настоящее время понятие модели используется во всех отраслях промышленности, в частности, и в науке. Модельный подход – это требование времени, поскольку он очень помогает в выполнении больших объемов работ. Модель – это материальный или воображаемый объект, который в процессе познания замещает реальный объект, сохраняя при этом его существенные

свойства [1]. Основным понятием, определяющим особенности инженерно-сейсмологических изысканий на изучаемой территории, является модель сейсмогрунтовых условий. К этому понятию относятся все локальные особенности геологической обстановки, определяющие специфику сейсмических воздействий, – их амплитуду и спектральный состав. Модель грунтовой толщи включает как физические (скорости упругих волн, плотность, константы затухания и т. д.), так и геометрические (мощность слоев, форма границ) характеристики.

Методика исследования. Предлагаемый 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.

Алгоритм действий при решении задач, связанных с разработкой сейсмогрунтовых моделей, делится на 3 этапа (рис. 1):

- 1 – сбор и систематизация материалов;
- 2 – анализ данных и обработка материалов различными программами;
- 3 – обобщение результатов.



Рис. 1. Алгоритм действий разработки сейсмогрунтовых моделей.

Fig. 1. Algorithm of actions for the development of seismic-soil models.

В последнее время большое внимание уделяется разработке методов, позволяющих учитывать нелинейные свойства грунтов (Р.О.Амасыян, Э.Н.Микаелян, 1982). Расчетами установлено, что введение поглощений нелинейного характера, а также соотношений между деформациями и напряжениями могут существенно изменить частотный состав сейсмического сигнала (А.С.Алешин, 2015). Для расчета воздействий на свободную поверхность необходимо задать исходное движение, совместимое с целевым спектром реакции на скальном основании.

С этой целью разработана компьютерная программа STRATA (Алберт Р. Коттке, Хиаюе Ванг, Эллен М. Ратхже, 2019).

Компьютерная программа STRATA выполняет эквивалентный линейный анализ реакции грунта в частотной области с использованием входных движений во временной области или методов теории случайных колебаний (RVT) и позволяет рандомизировать свойства грунта. В программном комплексе STRATA реализована эквивалентная линейная модель (ЭЛМ) грунтовой толщи – модель, которая учитывает особенности нелинейного поведения грунтов (К.Аки и П.Ричардс, 1983). В ЭЛМ грунты рассматриваются как линейный вязкоупругий материал, а его нелинейные свойства учитываются путем введения зависимостей упругих модулей и коэффициента поглощения от величины деформации. Эквивалентное линейное приближение заключается в модификации модели Kelvin-Voigt (для учета некоторых типов нелинейности). Решение одномерного волнового уравнения для одной частоты волны (ω) дает перемещение (u) как функцию глубины (z) и времени (t) (Kramer, 1996):

$$u(z, t) = A \exp [t(\omega t + k'z)] + B \exp [t(\omega t - k'z)]. \quad (1)$$

В уравнении (1) A и B представляют амплитуды восходящей ($-z$) и нисходящей ($+z$) волн соответственно (рис. 2). Комплексное волновое число (k^*) в уравнении (1) связано с модулем сдвига (G), коэффициентом демпфирования (D) и массовой плотностью (ρ) грунта с использованием:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}, \quad (2)$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}, \quad (3)$$

$$G^* = G(1 - 2D^2 + i2D\sqrt{1 - D^2}) \cong G(1 + i2D). \quad (4)$$

G^* и v_s^* называются комплексным модулем сдвига и комплексной скоростью сдвиговой волны соответственно. Если коэффициент демпфирования (D) мал ($<10-20\%$), то аппроксимация комплексного модуля сдвига в уравнении (2-4) является подходящей. В расчетах STRATA используется полное определение комплексного модуля сдвига, а не приближение [2].

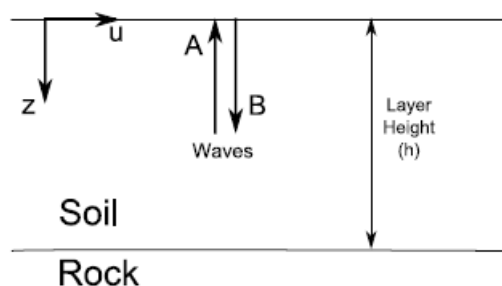


Рис. 2. Обозначения, используемые в волновом уравнении.

Fig. 2. Notation used in the wave equation.

Эквивалентная линейная модель основана на предположении, что модуль сдвига и коэффициент затухания являются функциями деформации сдвига. В программном комплексе STRATA значение модуля сдвига и коэффициент затухания определяются итеративно так, чтобы они соответствовали уровням деформации в каждом слое.

Для расчета сейсмических воздействий на свободную поверхность с использованием программы STRATA необходимо задать входные воздействия на скальном основании и построить сейсмогеологическую модель грунтовой толщи (рис. 3).

Модели строятся в следующих предположениях:

- грунтовая толща принимается вязкоупругой средой, залегающей на вязкоупругом полупространстве;

- границы между грунтовыми слоями горизонтальны;
- объемные сейсмические волны распространяются вертикально;
- поглощение энергии определяется коэффициентом затухания в грунтах.

Для определения моделей сейсмогрунтовых условий на территории строительства используются:

- разрезы рыхлого чехла осадков до скального фундамента; каждый слой характеризуется мощностью, плотностью, упругими (V_s) и диссипативными (α_p , α_s) характеристиками;
- границы резкой смены параметров геологического разреза, разломы и разрывы со смещением слоев по вертикали и латерали, а также характер поглощения упругой энергии в слоях. В расчеты можно включить также вариабельность параметров сейсмогеологической модели.

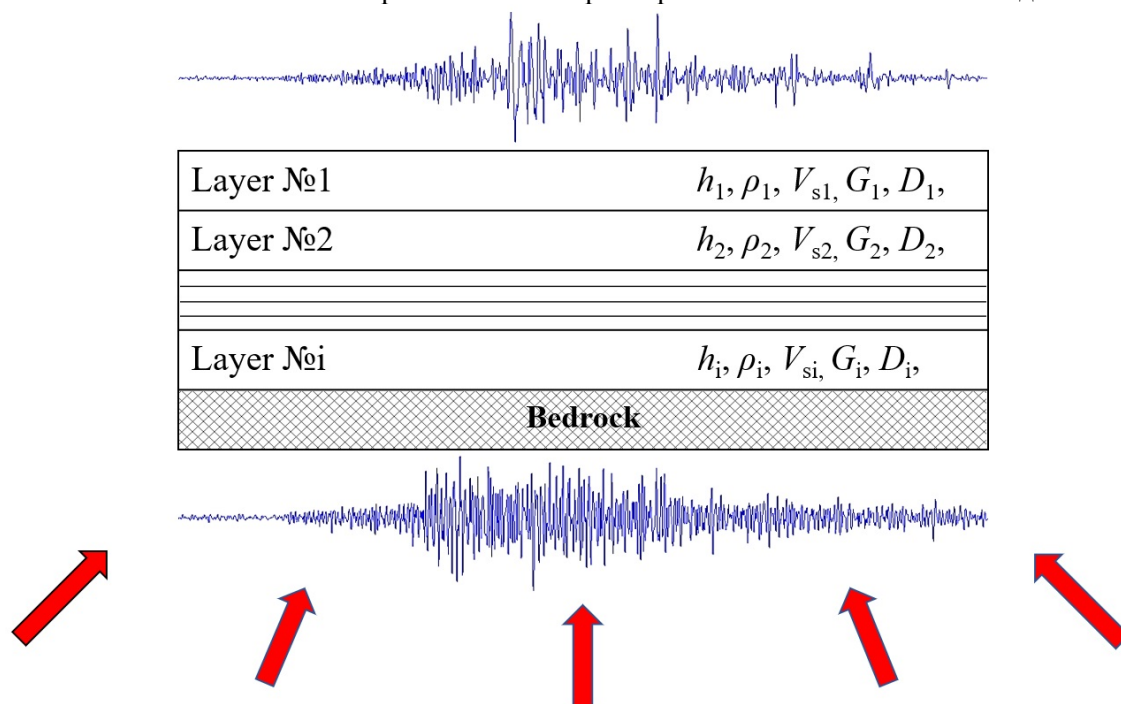


Рис. 3. Номенклатура теоретического распространения волн и исходных данных сейсмогрунтовых моделей.

Fig. 3. Nomenclature of theoretical wave propagation and initial data of seismic and ground models.

В динамической системе свойствами, определяющими отклик среды, являются масса, жесткость и демпфирование. В грунте при сдвиговой сейсмической нагрузке масса системы характеризуется плотностью массы (ρ) и высотой слоя (h), жесткость – модулем сдвига (G), демпфирование – вязким демпфированием соотношения (D). Динамическое поведение грунта сложно смоделировать, потому что оно нелинейно, так что как жесткость, так и демпфирование системы изменяются при деформации сдвига.

В качестве исходного воздействия взяты реальные акселерограммы землетрясений, которые по своему механизму (сбросы и взбросы) и по природе распространения сейсмических волн соответствуют сейсмологическим условиям территории Республики Узбекистан.

Далее были собраны материалы, характеризующие инженерно-геологические и сейсмические свойства грунтов (по материалам и результатам комплексных геофизических исследований, проведенных методами сейсморазведки КМПВ, MASW), а также были изучены физико-механические свойства грунтов [3].

Результаты и их обсуждение. Комплексные инженерно-геологические и геофизические исследования проводились на территории г. Намангана Республики Узбекистан. Территория г. Наманган и его окрестности характеризуются распространением в адырной зоне отложений верхнего плиоцена неогенового возраста и четвертичной системы – в равнинной. Неогеновая система представлена отложениями верхнего плиоцена кепелийской свитой (N_2^3kp), характеризующимися переслаивающейся толщей глин, песчаников и конгломератов. Четвертичная система представлена четырьмя возрастными комплексами отложений: нижнечетвертичный – сохский (Q_{1sh}); среднечетвертичный – ташкентский (Q_{1ts}); верхнечетвертичный – голодностепский (Q_{1ngl}); голоценовые современные – сырдарьинский (Q_{IVSd}).

Мощность отложений сохского комплекса 10-20 м. К отложениям сохского комплекса также относятся лессовидные суглинки, уплотненные, желтовато-серого цвета, загипсованные с включением гальки, гравия и щебня. Среднечетвертичные отложения ташкентского комплекса (Q_{1ts}) занимают поверхность IV и V надпойменных террас р. Нарын и её притоков, а также денудационные поверхности, соответствующие этим двум фазам денудации. В южном направлении нижнеташкентские валунно-галечники погружаются под верхнечетвертичные отложения голодностепского комплекса (Q_{1ngl}). Максимальная мощность нижнеташкентских отложений 80-90 м [5].

Плотность грунтов меняется в пределах от 1,54 до 1,80 г/см³. Согласно полученным результатам, скорости $V_s 30$ для всей площадки лежат в диапазоне 298-778 м/с. Территорию исследуемой площади можно условно разделить на три участка: относительно средних значений скорости (400-500 м/с) – центральная, северо-восток и юго-западная часть площади; высоких значений скорости $V_s 30$ (600-700 м/с) – восточная, северная и северо-южная части площади; в южной и юго-восточной частях площади скорости распространения поперечных волн лежат в пределах 300-400 м/с.

На основании эквивалентного линейного подхода для 85-ти точек наблюдений разработаны сейсмогрунтовые модели (табл. 1, 2). Здесь необходимо отметить, что при разработке сейсмогеологических моделей использованы результаты сейсморазведки, т. е. изменения в пространстве параметра $V_s 30$. Для каждой точки исследований построен такой важный показатель инженерной сейсмологии, как спектр реакции грунтов на сейсмические воздействия.

Спектры реакции грунтовой толщи позволяют проанализировать изменение реакции грунта на воздействия в различных спектральных диапазонах. Наименьшее изменение наблюдается для точки 25 (рис. 4, 5). В результате моделирования были рассчитаны графики изменения пикового ускорения и спектра реакции грунтов с глубиной.

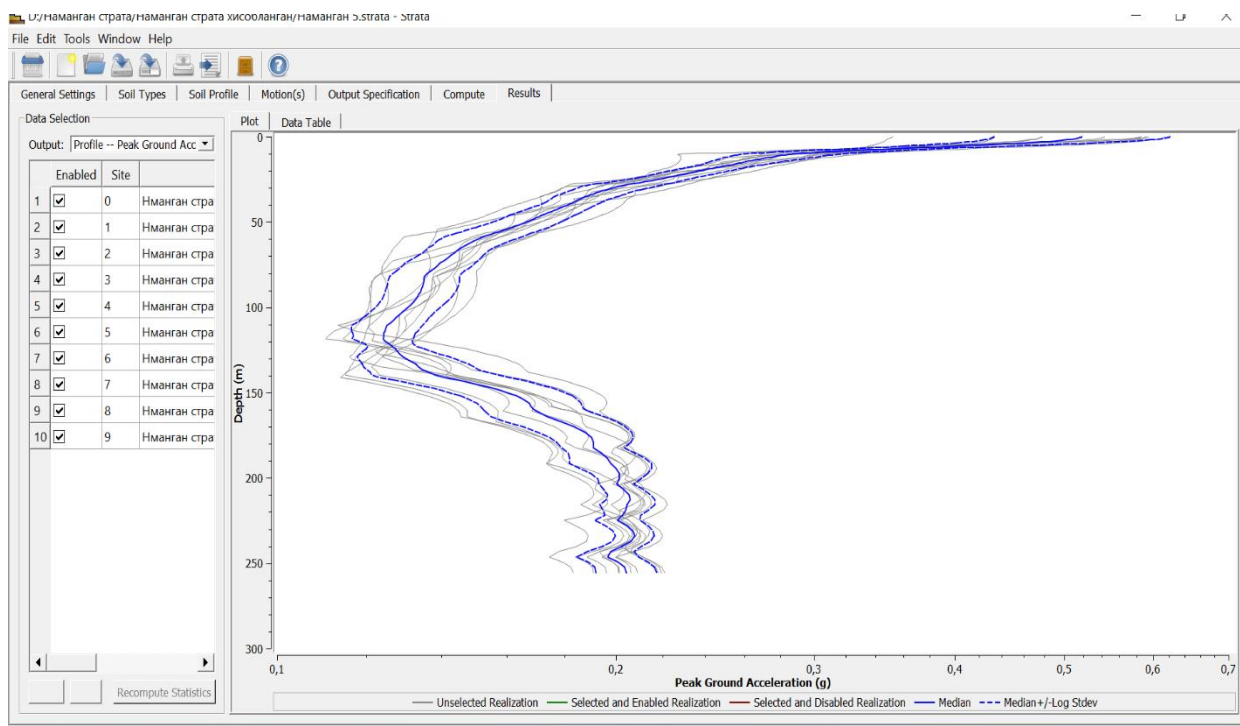


Рис. 4. Профиль пикового ускорения грунта для точки наблюдений № 25.

Fig. 4. Peak ground acceleration profile of observation point № 25.

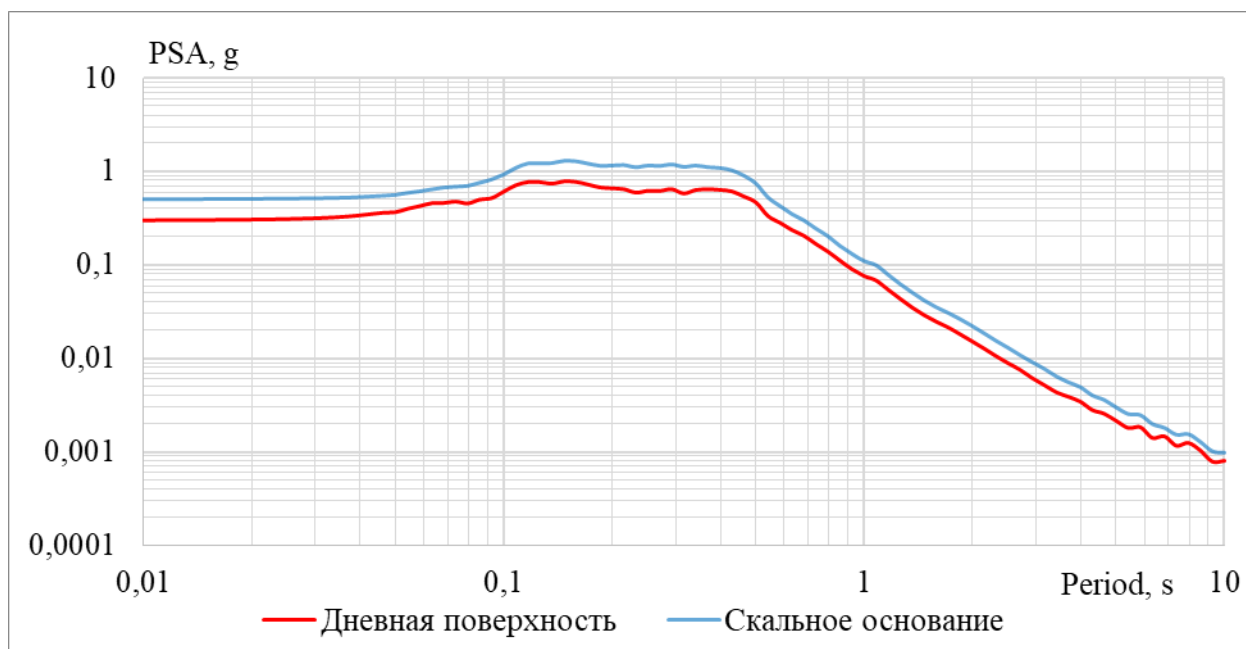


Рис. 5. Спектр реакции грунтовой толщи на различных глубинах для точки № 25.

Fig. 5. Soil stratum reaction spectrum at different depths for point № 25.

Значение пикового ускорения на дневной поверхности изученной территории для представленных точек изменяется от 0,27 до 0,53g.

Таблица 1

Пример сейсмогрунтовой модели, использованный в расчетах программой STRATA (пункт № 21 на территории г. Намангана)

Table 1

An example of a seismic and soil model used in the calculations by the STRATA program (point No. 21 in the territory of Namangan)

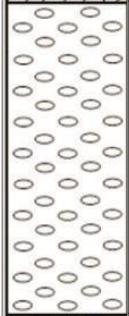
Литология	Тип грунта	Мощность слоя, м	Скорость поперечных волн, Vs (м/с)	Плотность грунта, ρ (кН/м ³)	V ₃₀	ρ_{30}	Пиковое ускорение грунта (PGA) Исходной воздействия при 0,33g		Расчётный сейсмический интенсивность площадки, в баллах
							Распространение линейной упругой волны	Эквивалентно-линейный анализ	
	Супесь-суглинок	16,77	255	1,71	345	1,83	0,45	0,53	9
	Галечник	13,62	628	2					

Таблица 2

Пример сейсмогрунтовой модели, использованной в расчетах программой STRATA (пункт № 10 на территории г. Намангана)

Table 2

An example of a seismic and soil model used in the calculations by the STRATA program (point No. 10 in the territory of Namangan)

Литология	Тип грунта	Мощность слоя, м	Скорость поперечных волн, Vs (м/с)	Плотность грунта, ρ (кН/м ³)	V ₃₀	ρ_{30}	Пиковое ускорение грунта (PGA) Исходной воздействия при 0,33g		Расчётный сейсмический интенсивность площадки, в баллах
							Распространение линейной упругой волны	Эквивалентно-линейный анализ	
	Супесь-суглинок	3,80	316	1,91	708	2,12	0,31	0,39	8
	Галечник	21,70	657	2,05					
	Конгломерат	4,50	1152	2,4					

Методом треугольников были отображены изолинии различных пиковых ускорений. Смоделировав три землетрясения для всех 85 точек, построена карта сейсмического районирования территории г. Намангана расчетным методом по значениям пиковых ускорения при исходной сейсмичности 0,338 g соответственно. Вначале карты построена с использованием 85 точек методом треугольников. Далее были скорректированы спорные участки с использованием векторного графического редактора ArcGIS и других графических редакторов (рис. 6).

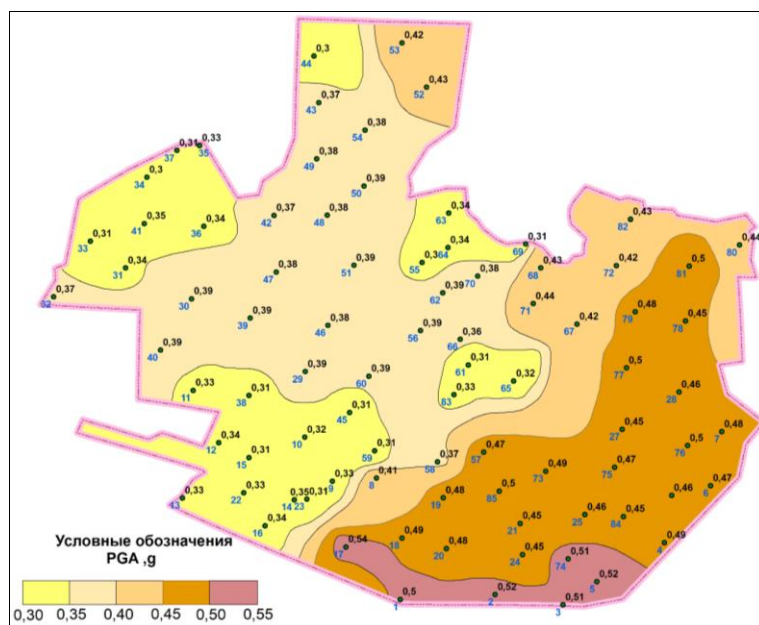


Рис. 6. Карта сейсмического микрорайонирования территории г. Намангана по значениям пикового ускорения (PGA) на поверхности модели.

Fig. 6. Map of seismic microzoning of the territory of the city of Namangan according to the values of peak acceleration (PGA) on the surface of the model.

ВЫВОДЫ

Изучение реакции грунтовых толщ на сейсмические колебания (в пиковых ускорениях PGA) при заданных сейсмических воздействиях с использованием программы STRATA помогает расчленять территории с разными пиковыми ускорениями частиц грунта, учитывая сейсмологические, инженерно-геологические условия территории городов. На основании смоделированных графиков PGA и приращений сейсмической балльности оценивается сейсмичность строительных площадок не только в макросейсмических показателях, но и в инженерных параметрах. Составленные модели могут быть применены для решения проблем градостроительства.

Литература

1. Алешин А.С. Макросейсмические основы сейсмического микрорайонирования // Вопросы инженерной сейсмологии. - 2011. - Вып. 38. - № 4. - С. 15-28.
2. Алешин А.С., Аникин О.П., Погребченко В.В. Связь инженерно-геологических и сейсмических характеристик грунтов: обоснование и перспективы использования // Мат-лы науч.-практ. конф. «Сейсмические технологии-2017». - М.: ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М.В.Ломоносова, 2017. - С. 231-234.
3. Бозоров Ж., Мансуров А., Рўзимбоев Ф., Тешаева Р. К вопросу о влиянии лёссовых грунтов на сейсмическую интенсивность строительной площадки // ЎзМУ Хабарномаси - № 3/2 - С. 152-156.
4. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. - М.: ОИФЗ РАН, 2000. - 367 с.

5. Каримов В.И. Результаты предварительных гидрогеологических исследований на территории г. Намангана для выяснения условий применения различных типов дренажа. - Т.: НППГО Узбекгидрогеология, 1971.

6. Методика оценки сейсмических воздействий // Задание сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии. - М.: Наука, 1993. - Вып. 34. - 155 с.

O'ZBEKISTON SHAHARLARINI SEYSMIK MIKRORAYONLASHTIRISH UCHUN GRUNT SHAROITLARINING SEYSMIK MODELLARINI ISHLAB CHIQISH (muhandislik ko'rsatkichlarida)
Teshayeva Ruxsora Bahodir qizi

Annotasiya. Maqolada seysmogrunnt modellari yordamida shaharlarning seysmikligini baholashning zamonaviy usullari muhokama qilinadi. Tadqiqotning maqsadi hududning muhandislik-geologik sharoitlari va grunt parametrlari asosida qurilish ob'ektlarining seysmiklik darajasini optimal baholash va yuzaga kelishi mumkin bo'lgan seysmik jarayonlarning ta'sirini kamaytirishdan iborat. Modellardagi erkin yuzadagi cho'qqi tezlanish qiymatlarini hisoblash STRATA dasturi yordamida amalga oshirildi. Namangan shahrining SMR ishlaridagi muammolarini hal etish uchun, shahar bo'yicha 85 ta seysmogrunnt modellari ishlab chiqildi. 85 ta seysmogrunnt modellari uchun grunt qatlamlariga berilgan seysmik ta'sirlarga javoblari hisoblab chiqilgan. Har bir model uchun erkin sirtidagi cho'qqi tezlanish va maksimal siljish, ularning chuqurlik bilan o'zgarishi, shuningdek, grunt qatlamining reaksiya spektrlari olingan. cho'qqi tezlanish ko'rsatkichlari bo'yicha shahar hududini seysmik mikrorayonlashtirish sxemalari tuzilgan.

Kalit so'zlar: muhandislik-geologik sharoitlar, seysmiklik, seysmik to'lqinlarning tarqalish tezligi, grunt zichligi, gruntlarning chiziqli bo'lmagan xususiyatlari, ekvivalent chiziqli model, STRATA.

DEVELOPMENT OF SEISMIC MODELS OF SOIL CONDITIONS FOR SEISMIC MICROZONING OF CITIES IN UZBEKISTAN (in engineering terms)
Teshayeva Ruxsora Bahodir qizi

Annotation. The article discusses modern methods for assessing the seismicity of urban areas using seismic soil models. The purpose of the study is to optimally assess the level of seismicity of construction sites based on the engineering and geological conditions of the area and soil parameters and reduce the impact of possible seismic processes. The calculations of the values of peak accelerations of the free surface in the models were carried out using the STRATA program. To solve the tasks of construction and installation works of the city of Namangan, 85 models were developed throughout the city. For 85 seismic and soil models, the responses of soil strata to seismic impacts given on rocky half-spaces are calculated. For each model, peak accelerations and maximum displacement on the free surface, their change with depth, as well as the reaction spectra of the soil layer were obtained. Schemes of seismic microzoning of the city territory in terms of peak accelerations are drawn up.

Key words: engineering-geological conditions, seismicity, seismic wave propagation velocity, soil density, non-linear soil properties, equivalent linear model, STRATA.

YŮK 550.34

YANGI ANDIJON SHAHRI HUDUDIDA OLIB BORILGAN SEYSMIK KUZATUV

E.Sh.Yuldashev, X.A.Islamov, B.G'.Alimov, J.R.Majidov

O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi G'.O.Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti

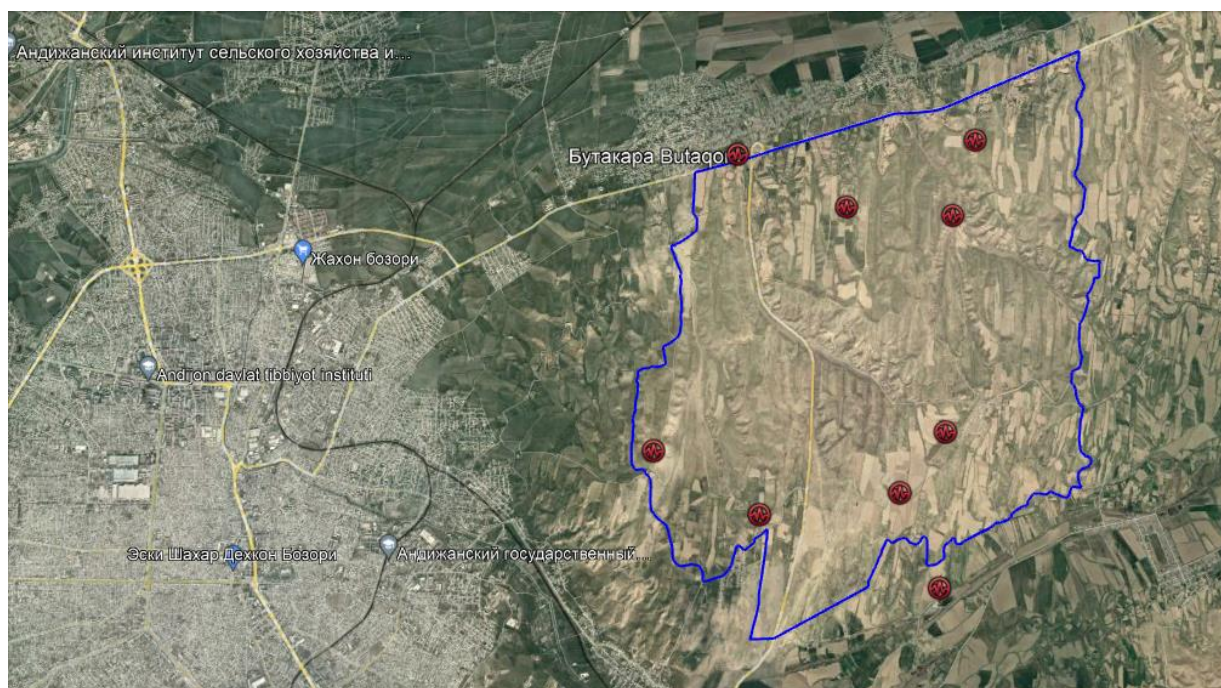
Annotasiya. Maqolada Andijon viloyatida barpo etilayotgan Yangi Andijon shahri hududida olib borilgan seysmik kuzatuvlar, mikroseysmik o'lchovlar haqida. Seysmik kuzatuvda yangicha xalqaro standartlarga mos dala seysmik kuzatuv stansiyalarida olib borilgan. Xududda grunt tebranish xususiyatlarini o'lchashga yangicha yondoshilganligi. Seysmik kuzatuvdan olingan ma'lumotlarni taxlil qilishda aniqlikni to'g'ri baholovchi dasturlardan foydalanilgan. Janubiy Farg'ona seysmogen zonasida sodir bo'lgan kuchli tarixiy zilzilalar haqida ma'lumot keltirilgan.

Kalit so'zlar: seysmik kuzatuv, mikroseysmik, analiz, seysmogen zonasi.

Кириш. Тарихда кучли zilzilalar содир бўлган ҳудудларда баланд иншоотлар лойҳасини тайёрлашда, сейсморобордошлик даражасини ошириш мақсадида грунт зичлиги ва тебраниш хусусиятларини ўрганиш зарур.

Андижон сейсмоген зонасида 1902 йил 16 декабрида 8-9 балллик Андижон zilzilasi содир бўлиб, оқибатда 4652 киши нобуд бўлган; 1903 йилдаги Оим zilzilasi бўлиб ўтган; Андижон вилоятига яқин бўлган ҳудудларда эса 1907 йилда 8 балллик Қирққўл zilzilasi; 1924-йиллардаги 8 ва 9 балллик Қуршоб 1 ва Қуршоб 2 zilzilalari; 1977 йилдаги 8 балллик Исфара-Баткен zilzilasi; 1977 йилдаги 7 балллик Хайдарқўл zilzilasi; 1982 йилдаги 8 балллик Чимён zilzilasi; 2008 йилдаги 8 балллик Гулчин ва нисбатан кучсизроқ бўлган бир қанча zilzilalar содир бўлган.

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Сейсмология институти томонидан 2021 йилнинг 14 сентябридаги Андижон вилояти ҳокимияти тасаруфидаги “Янги Андижон” Дирекция ДУК билан тузилган 20/21-сонли шартномасига асосан, Андижон вилояти “Янги Андижон” шаҳри ҳудудида сейсмотектоник, сейсмологик ва муҳандис-сейсмологик тадқиқотларни ўтказиш ва 1:10 000 миқёсдаги сеймик микрорайонлаштириш харитасини тузиш” бўйича ҳўжалик шартномасида кўрсатилган дала тадқиқот ишлари олиб борилди. Тадқиқотлар “Экспериментал сейсмология” лабораторияси томонидан белгиланган 4000 гектар адирликдан иборат бўлган майдонда микросеймик ўлчов ишлари асосида амалга оширилди. Ҳудудда, 9 та таянч пунктларига ўрнатилган сеймик станциялар ёрдамида, уч ой мобайнида сеймик мониторинг кузатув ишлари олиб борилди. (1-расм).



1-расм. Янги Андижон ҳудудига ўрнатилган сеймик станциялар.

Figure 1. Seismic stations installed in the new Andijan area.

Иш жараёнида, Янги Андижон шаҳри ҳудуди бўйлаб жойлашган нукталарда сеймик интенсивликнинг ошишига ойдинлик киритиш мақсадида, таянч бўлган Станция № 1 дан ташқари барча станциялар бошқа жойларга ўтказилди.

Сеймик мониторинг тадқиқотлари замонавий кенг қамровли Guralp 6TD сейсмометрлари ёрдамида амалга оширилди (2-расм).



2-расм. Теша Мирзаев қишлоғида ўрнатилган таянч сейсмик станция (станция № 1).

2-rasm. Tesha Mirzaev kishlogida srnatilgan tayanch seismic station (station No. 1).

Тадқиқотнинг услуги

Худудларда сейсмик станцияларни жойлаштириш ва кузатувларни ўтказишдан аввал қуйидаги ишлар амалга оширилади:

- харитада келтирилмаган сейсмик ўлчов асбоблари сезгирлигига таъсир этувчи маҳаллий, техноген ва сунъий шовқинлар манбаини аниқлаш;
- сейсмик шовқинлар даражасини ўлчаш;
- маҳаллий сейсмогеологик шароитларни ўрганиш;
- интернет алоқа тизимига уланиш имкониятларини текшириш.

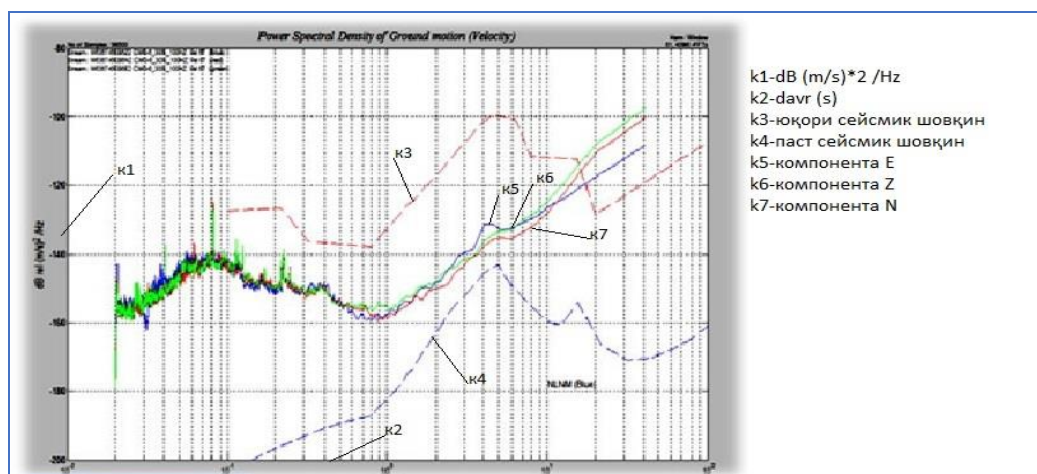
Сейсмик шовқинлар йил фаслига, об-ҳаво шароитлари ва назарда тутилмаган омилларга қараб сезиларли даражада ўзгариб туради. Сейсмик шовқинларнинг мавсумий ўзгарувчанлиги асосан табиий сабабларга боғлиқ. Сейсмик шовқинларни танланган ҳудуднинг бир нечта жойларида ўлчовлар олиб бориш (3-расм) ва кичик магнитудали бўлган сейсмик ходисаларнинг қайд этиши даражасини текшириш муҳимдир.



3-расм. Guralp 6TD сейсмометри ёрдамида шовқин даражасини ўрганиш жараёни.

Figure 3. The process of studying noise levels using a Guralp 6TD seismometer.

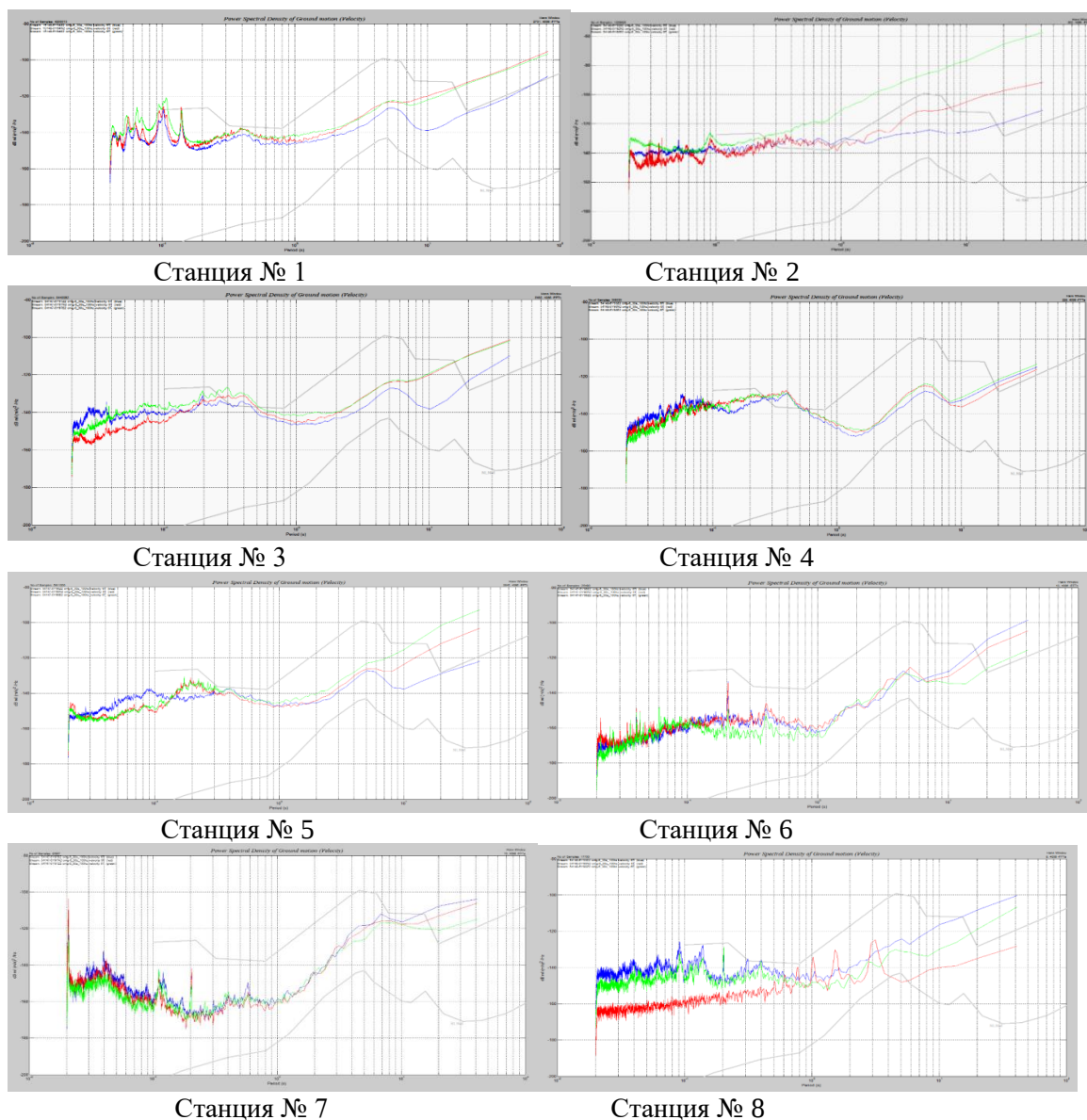
Ёзиб олинган сейсмик маълумотлар таҳлил қилиниб, грунт тебранишларининг спектрал зичлик микдорлари аниқланади. 4-расмда шовқин даражаси кам (нормал) бўлган ҳолат учун спектрал зичлик микдори келтирилади.

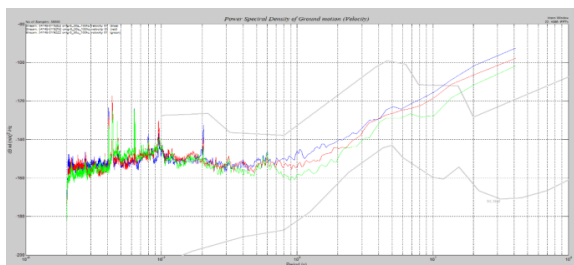


4-расм. Спектрал зичлик миқдори.

Figure 4. Spectral density quantity.

Тадқиқод ҳудудига ўрнатилган сейсмик станцияларнинг спектрал зичлик миқдорларини қуйида 5-расмда келтирилган:





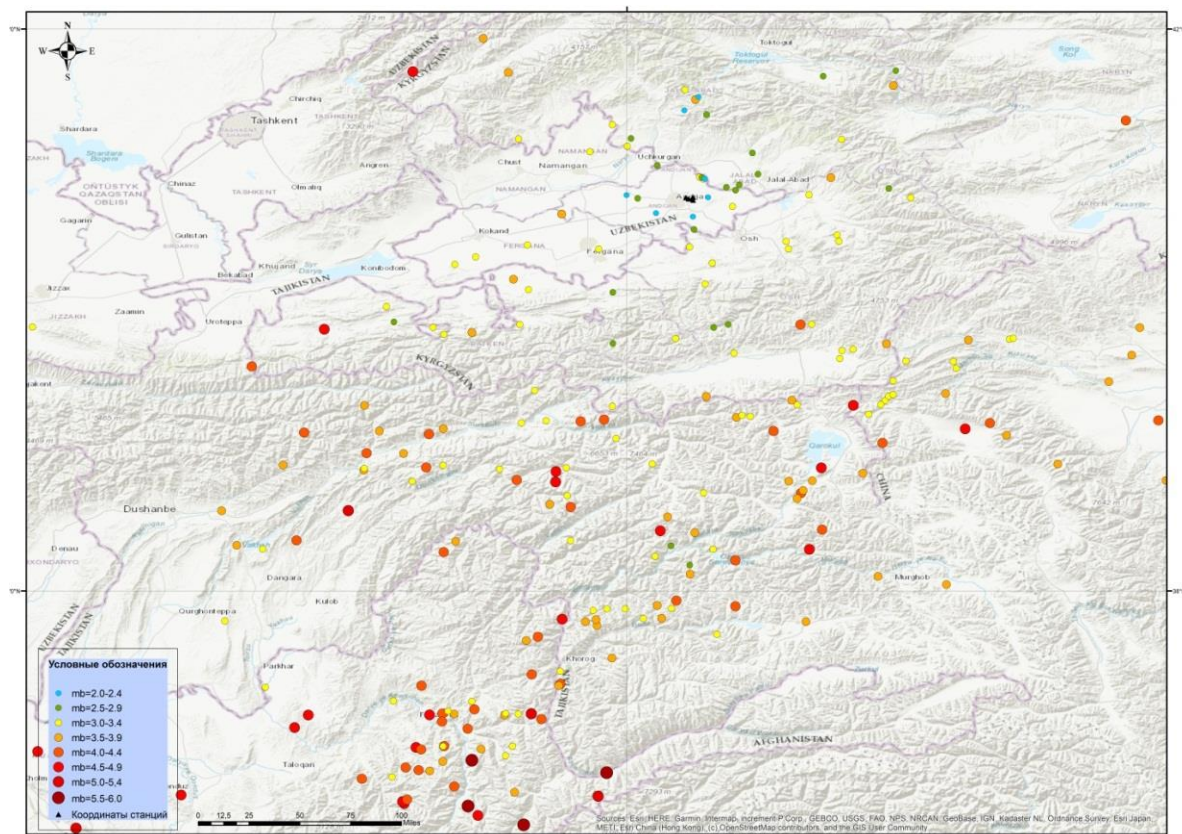
Станция № 9

5-расм. Тадқиқод ҳудудига ўрнатилган сейсмик станцияларнинг спектрал зичлик миқдорлари.

Figure 5. Spectral density quantities of seismic stations installed in the research area.

Тадқиқотдан олинган натижалар

2021 йилнинг декабр ойидан 2022 йилнинг феврал ойларида Янги Андижон ҳудудида кенг қамровли (сейсмик таъсирларга жуда сезгир бўлган рақамли) сейсмометрлар ёрдамида олиб борилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатдик ўрнатилган таянч сейсмик станциялар 300 км радиусда 100 га яқин ($2 \leq M \leq 5$) бўлган zilzilalarни қайд этди, улардан Андижон сейсмоген зонасида чуқурлиги 5-20 км, магнитудаси 2-3,4 гача бўлган 15 га яқин zilzilalarлар содир бўлганлиги аниқланди (6-расм).



6-расм. Таянч сейсмик станциялар томонидан 300 км радиусда содир бўлган zilzila эпицентрлари харитаси.

Figure 6. Reference seismic stations recorded the epicenter of an earthquake that occurred within a radius of 300 km.

Сейсмик таъсирлар интенсивлигининг ўзгариши zilzila маълумотлари бўйича ҳисобланади. Ушбу сейсмик таъсирлар ўзгариши қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\Delta I = 3,3 \cdot Lg(A_i/A_n),$$

бу ерда, A_i – ўрганилаётган нуқтадаги сигналнинг амплитуда миқдори, A_n – таянч нуқтадаги сигналнинг амплитуда миқдори.

Қуйидаги 1-жадвалда амплитудаси юқори бўлган сейсмик ходисалар келтирилади.

1-жадвал

Сана	Вақт	Кенглик	Узоқлик	Магнитуда	Н, km
06.12.2021	13:47:54	39,721	73,612	3,0	20
06.12.2021	19:30:57	40,573	72,478	2,9	10
07.12.2021	07:24:44	37,124	71,225	3,4	33
07.12.2021	15:22:31	38,414	72,483	3,9	10
09.12.2021	14:31:37	38,216	72,772	4,0	10
11.12.2021	13:29:08	39,207	71,669	4,0	25
01.01.2022	13:44:35	36,724	70,514	4,0	180
05.01.2022	09:57:21	38,427	72,237	4,5	30
06.01.2022	04:52:19	40,237	76,897	4,0	15
08.01.2022	19:56:18	39,321	73,614	4,5	30
09.01.2022	21:41:29	38,073	67,584	5,0	15
12.01.2022	05:26:44	36,886	70,495	4,5	180
03.02.2022	01:08:46	38,981	70,143	4,3	33
03.02.2022	19:31:23	37,117	70,593	4,9	180
05.02.2022	04:16:02	36,795	70,894	5,8	180

Қуйида, МСК-64 шкаласи бўйича сейсмик интенсивлик ўзгаришини ҳисоблашлар 2-жадвалда келтирилган. Бу ерда сейсмик маълумотларга кўра юқори тезлик билан ажралиб турувчи мос ёзувлар станцияси сифатида қабул қилинган “Станция № 1” таянч пункти ҳисобланади.

2-жадвал

Пункт	Станция № 1		Станция № 2		Станция № 3		Станция № 4		Станция № 5	
	6Y94		6Y92		6Y97		6Y96		6Y93 (H-677)	
Сана, вақт	Amax	dI	Amax	dI	Amax	dI	Amax	dI	Amax	dI
10.12.2021 03:24	23261		24286	0,06	24339	0,06	16699	-0,47	27883	0,26
10.12.2021 03:40	30611		38104	0,31	41605	0,44	28512	-0,10	25361	-0,27
12.12.2021 12:22	31898		42022	0,40	40606	0,35	47143	0,56	22007	-0,53
18.12.2021 05:42	270749		467087	0,78	564264		368947	0,44	267018	-0,02
19.12.2021 12:36	165912		246934	0,57	491066		139546	-0,25	219334	0,40
19.12.2021 12:39	15225		23836	0,64	24232	0,67	13922	-0,13	20 344	0,42
20.12.2021 09:01	70905		75117	0,08	88781	0,32	62848	-0,17	48678	-0,54
22.12.2021 05:46	19017		25006	0,39	34397	0,85	21758	0,19	18691	-0,02
23.12.2021 07:21	18195		32218	0,82	49549		35684	0,97	27690	0,60
24.12.2021 07:00	80446		111123	0,46	95095	0,24	64644	-0,31	89767	0,16
24.12.2021 08:11	11822		21083	0,83	21256	0,84	14404	0,28	11948	0,02

Олинган маълумотлар таҳлилига кўра таянч станция Станция № 1 га нисбатан dI (балл миқдорининг ўзгариши) нинг ўртача қийматлари қуйидаги 3-жадвалда келтирилган:

3-жадвал

Номи	dI (балл миқдорининг ўзгариши)
Станция № 1	
Станция № 2	-0,62
Станция № 3	+0,65

Станция № 4	+0,33
Станция № 5	+0,31
Станция № 6	+0,07
Станция № 7	-0,24
Станция № 8	+0,09
Станция № 9	+0,49

ХУЛОСА

Сейсмик мониторинг тадқиқотлари натижасида 4 минг гектар майдонга эга бўлган Янги Андижон ҳудудида ўрнатилган сейсмик станциялар томонидан 100 га яқин сейсмик ҳодисалар таҳлил қилиниши натижасида қуйидагилар аниқланди. Балл миқдорининг ўзгариши шуни кўрсатадики, энг кичик кўрсаткич $dI = -0,62$ станция № 2да, энг катта кўрсаткич $dI = +0,65$ станция № 3да қайд этилди.

Ўрганилаётган ҳудуд нисбатан икки қисмларга бўлинди. Натижада, баллнинг ўсиши жанубий ва шимолий сегментларда барқарор салбий қийматларга эга бўлмоқда. Ҳудуд марказига яқинроқ бўлган жойларда эса қийматлари нолга тенг бўлди. Ғарбий ва шарқий сегментлар барқарор ижобий қийматлар билан тавсифланди.

Юқоридагилардан келиб чиқиб шуни айтишимиз мумкинки, тадқиқот натижаларидан олинган балл миқдорининг интенсивлиги даражаси Янги Андижон ҳудудининг барча жойларида сезиларли ўзгаришга эга эмас. Умумий сейсмик районлаштириш харитасида ушбу натижаларни инобатга олиш тавсия қилинади.

Адабиётлар

1. Borman P., Baumbach M., Bock G., Grosser H., Choy G.L. Seismic sources and source parameters // NMSOP. Potsdam 2009. - P. 1-98.

2. Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Юлдашев Э.Ш., Мажидов Ж.Р. Оценка кинематических элементов сейсмических волн при динамических воздействиях промышленными взрывами // Сейсмология муаммолари. - 2019. - № 2.

3. Borman P. (1994) Concept for a new "Manual o Seismological Observatory Pactice" European Seismological Commission Proceedings and Activity Report 1992-1994 published by University of Athens faculty of Science.

4. Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of RTRI. - 1989. - Vol. 30. - № 1. - P. 25-33.

5. Nakamura Y. (2000), Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications,

Proc. of the 12th World Congress on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

6. Горшков Г.А. Нормативный хаос в Российском микрорайонировании // Geoinfo.ru 2017.

7. Турдукулов А.Т., Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Камчыбеков И.П. Теоретические основы сейсмического микрорайонирования на примере проведенных работ в Кыргызстане. - 2013. - № 2 (2).

8. Юлдашев Э.Ш. Сув омборларида узлуксиз сейсмик кузатув олиб боришнинг замонавий усуллари. 2021.

9. Шебалин Н.В. О предельной магнитуде и предельной балльности землетрясений // Физика Земли. - 1971. - № 6. - С. 12-20.

10. Раутиан Т.Г. Проблема определения энергии землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. - М.: ИФЗ АН СССР, 1974. - С. 107-112.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЯНГИ АНДИЖАН

Э.Ш.Юлдашев, Х.А.Исламов, Б.Г.Алимов, Ж.Р.Мажидов

Аннотация. В статье речь идет о сейсмических наблюдениях и микросейсмических измерениях, проведенных в районе строящегося в Андижанской области города Янги Андижан. Сейсмический мониторинг проводился в окрестностях станции по новым международным стандартам. Применен новый подход к измерению сейсмических свойств грунта на участке. При анализе данных, полученных сейсмическими наблюдениями, использовались программы, корректно оценивающие точность. Также приведены сведения об исторических сильных землетрясениях, произошедших в Южно-Ферганской сейсмогенной зоне.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, микросейсмика, анализ, сейсмогенная зона.

SEISMIC MONITORING IN THE TERRITORY OF THE CITY YANGI ANDIJAN

E.Sh.Yuldashev, X.A.Islamov, B.G.Alimov, J.R.Majidov

Abstract. The article deals with seismic observations and microseismic measurements carried out in the area of the Yangi Andijan city under construction in the Andijan region. Seismic monitoring was carried out at stations located in the vicinity according to new international standards. A new approach has been applied to measuring the seismic properties of the soil at the site. When analyzing the data obtained by seismic observations, programs

were used that correctly estimate the accuracy. Information about historical strong earthquakes that occurred in the South Fergana seismogenic zone is also given.

Key words: seismic monitoring, microseismica, analysis, seismogenic zone.

УЎК 550.34+624.131.1(575.1)

Ядигаров Э.М., Ёдгоров Ш.И., Хусомиддинов А.С., Актамов Б.У., Бозоров Ж.Ш.

ЎзРФА Сейсмология институти

АНДИЖОН ШАҲРИ ХУДУДИДА ЎТКАЗИЛГАН ИНЖЕНЕР-ГЕОФИЗИК ТАДҚИҚОТ УСЛУБЛАРИ ВА НАТИЖАЛАРИ

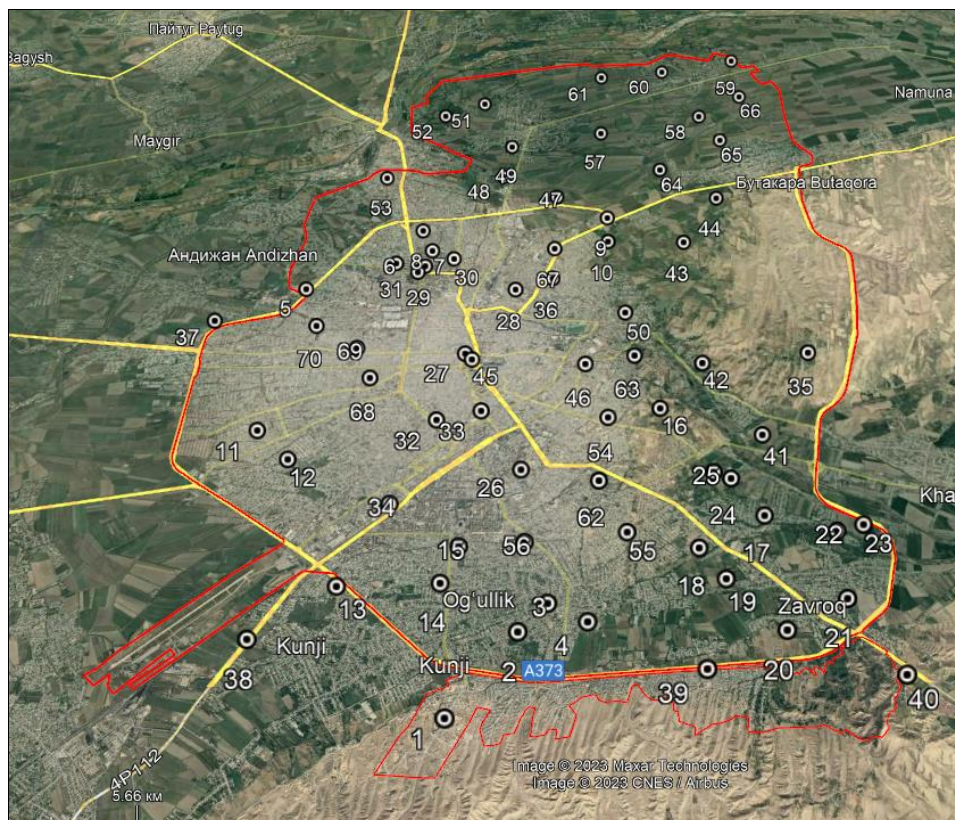
Аннотация. Мақолада Андижон шаҳри ҳудудида ўтказилган инженер-геофизик тадқиқот услублари ва олинган натижалари келтирилган. Муҳандислик-геологик ва грунт шароитни ҳисобга олган қатламлардан кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари аниқланган. Сейсморазведка тадқиқотлари натижасида 30 метр Vs30 чуқрликкача бўлган қатламлар ўрганилган. Тадқиқотлар натижалари асосида Андижон шаҳри ҳудудида 30 м чуқирлик бўйлаб тарқалган грунтларда кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари аниқланган ва тезликлар фарқи бўйича 3 та қисмга ажратилган.

Калит сўзлар: грунтнинг максимал тезланиш қиймати, сейсморазведка, қурилиш, моделлаштириш, грунт қатлами, сейсмик таъсир, инженер-геофизик тадқиқотлар.

Кириш. Андижон шаҳри ҳудудида олиб борилган геофизик тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022-йил 30 майдаги ПФ-144-сон “Ўзбекистон республикасининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” фармонни ижросини таъминлашга қаратилган[1] [Президент фармони..., 2022].

Сўнги пайтларда республикамиз ҳудудида аҳоли сонини ортиши сабабли уй-жойларга бўлган эҳтиёжлар ҳам ортиб бормоқда. Аҳоли сонининг ортиши уйжойга бўлган талаб ва ишлаб-чиқариш ва хизмат кўрсатиш ҳамда саноат ҳудудларида кенг кўламли қурилиш ишлари олиб боришни талаб этади. Бу эса ўз-ўзидан шаҳар ҳудудлари кенгайишига олиб келади. Шунингдек, Андижон шаҳри аҳоли сони ортгани ҳисобига шаҳар ҳудудининг чегараси ҳам олдинги чегарага нисбатан деярли бир баробарга кенгайган. Шаҳар ҳудудида кўп қаватли биноларнинг қурилишини ҳисобга оладиган бўлсак сейсмик микрорайонлаштириш ишларини олиб боришни талаб этади. Андижон шаҳрида 1997-йилда сейсмик микрорайонлаштириш харитаси[2] ишлаб чиқилган. Ҳозирги вақтгача шаҳарда олиб борилаётган қурилиш ишларида ўша сейсмик микрорайонлаштириш харитасидан фойдаланиб келинмоқда. Янги ўзлаштирилган шаҳар ҳудуди қурилиш ишлари олиб борилишидан аввал муҳандис-геологик ва сейсмологик, геофизик тадқиқотлар олиб боришни талаб этилади. Бундай тадқиқотларнинг натижалари қурилиш олиб бориладиган ҳудудларда муҳандис-геологик шароити, сейсмиклик даражаси ва яна бир қанча маълумотларга аниқлик киритилади. Сейсмик микрорайонлаштириш хариларини тузишда геофизик (сейсморазведка) тадқиқотлари натижасида олинган маълумотлари ҳам муҳим ўрин тутди.

Тадқиқот ҳудуди. Андижон шаҳри ҳудудини сейсмик микрорайонлаштириш ишларини олиб бориш учун муҳандис-геологик хариталари батафсил таҳлил қилинди. Муҳандис-геологик хариталарни асос қилиб, ҳудудда 70 та нуқтада сейсморазведка тадқиқотлари олиб борилди 1 расм.



1- расм Сейсморазведка ўтказилган нукталарнинг жойлашуви.
Figure 1 the location of the points transferred to the seismorazvedka.

Дала ишларини амалга ошириш учун сейсморазведка қурулмаси ёрдамида MASW усули қўлланилди. Тадқиқот ишларини бажаришда Италияда ишлаб чиқарилган “MAEX820-S” маркали 24 каналли сейсморазведка қурилмасидан фойдаланилди 2-расм. Сейсмик тўлқинларни сифатли қайд қилиш учун шаҳар шовқинини ҳисобга олган ҳолда 8 кг ли кувалда орқали 5 тадан 10



мартагача зарба бериб сейсморазведка қурилмаси хотирасига қайд қилинди.

2-расм Сейсморазведка станцияси «MAEX820-S»

Figure 2 seismorazvedka station "MAEX820-S"

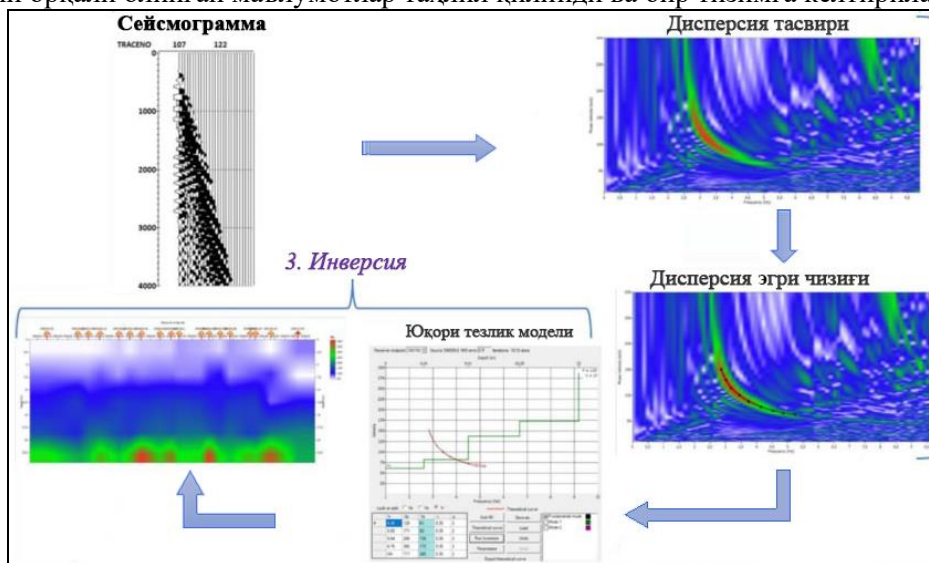
Тадқиқот ўтказиш методикаси. Дала тадқиқот ишларини олиб бориш учун геофонлар ораси 2 метрдан қилиб белгилаб олинди.[1-5] Геофонлар жойлаштирилган нуқтадан – 48 ва +48 метр масофагача -2, -12, -24, -48 ва +2, +12, +24, +48 ташқаридан зарба берилиб сейсмик тўлқинлар тарқатилди. Қатламлардан ўтган сейсмик тўлқинлар сейморазведка қурилмаси орқали ёзиб олинди 3-расм.



3-расм Сеймик тўлқинларни қабул қилувчи геофонларнинг жойлашуви

Figure 3-localization of geophones receiving seismic waves

MASW усули орқали олинган маълумотлар таҳлил қилинди ва бир тизимга келтирилади.



4-расм MASW усули орқали маълумотларни таҳлил қилиш.

Figure 4 analysis of data through the MASW method.

Сейморазведка дала тадқиқотлари натижасида олинган маълумотларни махсус дасртурлар орқали таҳлил қилинди. Шаҳар худуди бўйлаб ўтказилган 70 та нукта учун 30 метргача бўлган чуқурликда ҳар бир қатламдан ўтган сеймик тўлқинларнинг тезлиги аниқланди 1-жадвал. Сейсмик тўлқиннинг ўртача тезлиги олинади. V_{s30} ҳисоблаш формуласи.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}}}$$

№	V_{s30} , м/с
1	565,2076
2	353,6976
3	335,3149
4	309,0402

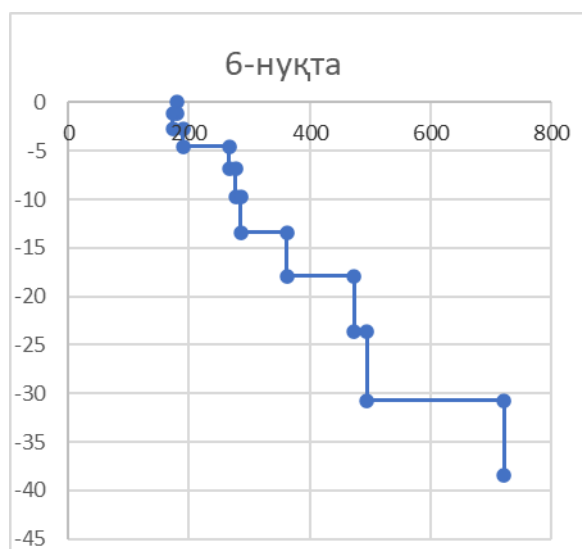
5	298,4059
6	317,6719
7	326,9994
8	313,161
9	384,1795

1-жадвал	
10	364,3265
11	262,1806
12	282,2456
13	457,0098
14	374,0572

15	541,5806
16	366,74
17	312,5037
18	337,0396
19	328,2432
20	428,1871
21	316,8023
22	303,6165
23	303,1217
24	332,1646
25	299,5228
26	513,5188
27	415,86
28	503,3041
29	426,96
30	430,1201
31	484,1758
32	379,8067
33	384,2496

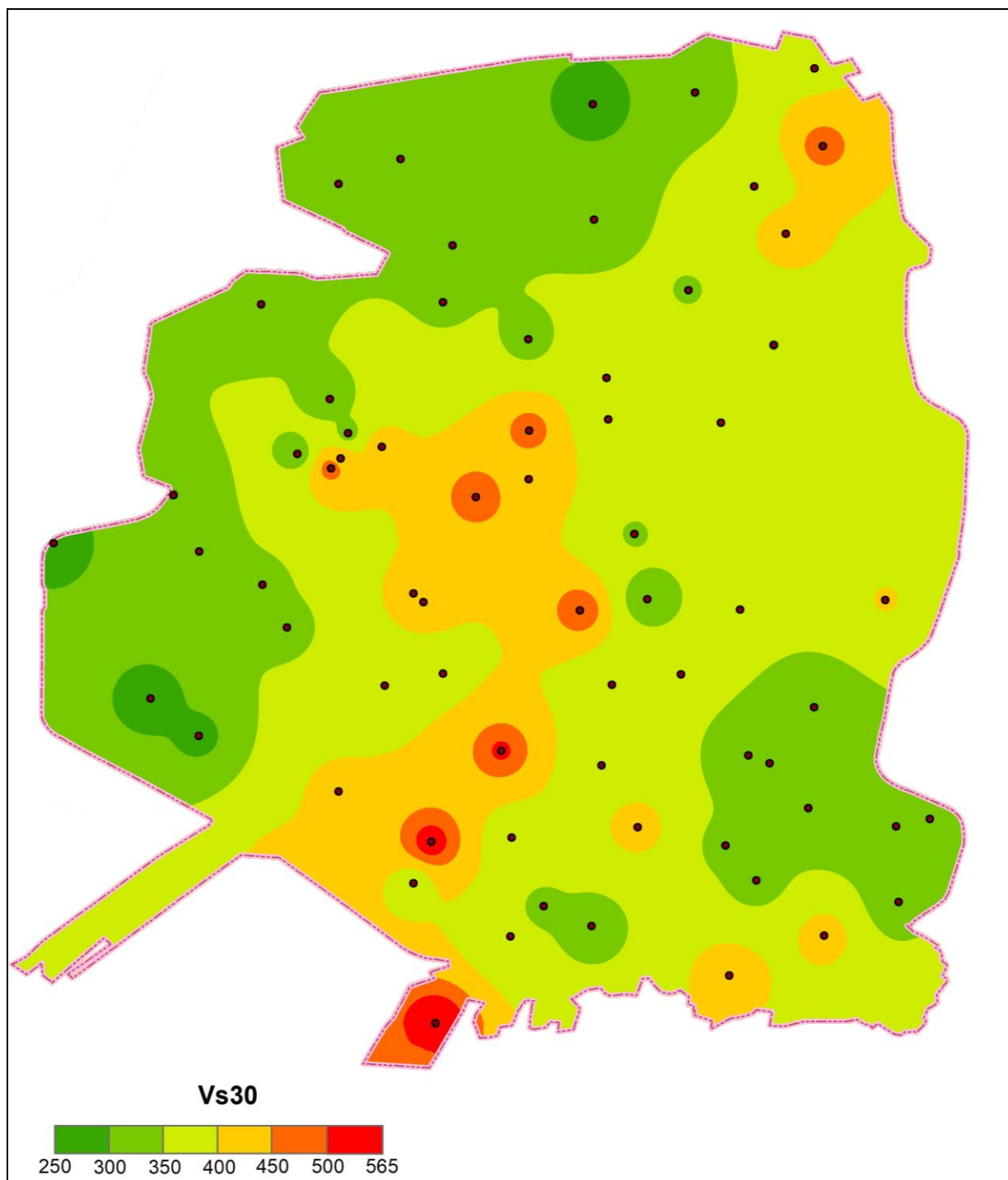
34	415,6509
35	403,7007
36	430,5257
37	255,8999
38	350,4431
39	445,1943
40	395,1717
41	310,7329
42	354,9525
43	384,9948
44	349,3436
45	413,54
46	500,0308
47	327,4248
48	340,3766
49	310,9129
50	343,687
51	314,9588
52	302,8954

53	301,3343
54	366,9579
55	431,9846
56	365,8213
57	314,8939
58	354,2966
59	394,5942
60	312,6192
61	251,0494
62	369,855
63	305,7091
64	346,294
65	437,6963
66	473,2245
67	483,487
68	325,9612
69	333,0554
70	325,3752



Точка №	h(m)	V m/s
6	-1,19	179,581
	-2,677	172,555
	-4,536	189,807
	-6,86	265,816
	-9,765	276,916
	-13,396	285,377
	-17,935	362,129
	-23,609	473,304
	-30,702	494,675
	-38,377	721,712

Тадқиқот натижалари. Олинган маълумотлар таҳлили асосида Андижон шаҳри ҳудуди учун Vs30 харитаси яратилди (5-расм). Ўрганилган таҳлил натижаларига асосан сейсмик тўлқин тезликлари 250-565 м/с оралиғида ўзгарганини кўришимиз мумкин. Тадқиқот олиб борилган ҳудудни тезлик қийматлари бўйича уч қисмга ажратиш мумкин. Яъни, нисбатан паст тезлик қийматлари 250-350 м/с- Vs30 тезлик қийматлари майдонининг катта қисми эса 350-400 м/с тезликлар қийматларини кўришимиз мумкин. Ҳудуднинг Марказий қисми учун кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги 400-550 м/с оралиғида ўзгарганлиги аниқланди.



5-расм. Андижон шаҳри ҳудудининг Vs30 харитаси

Figure 5. Vs30 map of the territory of the city of Andijan

Хулоса. Сейсморазведка тадқиқотлари натижасида Андижон шаҳрининг 30 метр чуқурликкача бўлган грунт қатламлардан сейсмик тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги ўрганилди ва қуйидагилар аниқланди. Ўтказилган тадқиқотлар асосида шундай хулоса келиб чиқдики тадқиқот олиб борилган ҳудудни тезлик қийматлари бўйича уч қисмга ажратилди. Биринчи қисмда яъни шаҳарнинг ғарбий қисмида 30 м чуқирлик бўйлаб кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги Vs30 - 250-350м/с га, Иккинчи қисмда эса, яъни шаҳарнинг шимолий-шарқий ва жанубий томонларида Vs30 -350-400м/с га, Учунчи қисмда яъни Андижон шаҳрининг марказий ва жанубий-ғарбий ҳудудларида Vs30 -400-550м/с қийматлари аниқланди. Бунга сабаб Андижон шаҳрида 30 м чуқурликкача бўлган қатламдаги грунтларнинг жойлашиши, уларнинг сейсмик, физик-механик,

колаверса қоя тоғ жинсларининг бошланиш чуқирлигига боғлиқ равишда кўндаланг тўлкинларнинг тарқалиш тезликлари ўзгариши аниқланди. Сейсморазведка тадқиқот натижалари тадқиқот ҳудудида ўтказилган муҳандис-геологик тадқиқотлар билан солиштириб кўрилди. Тадқиқот ҳудудида ўтказилган сейсморазведка тадқиқотлари Андижон шаҳрини сейсмикмикрорайонлаштириш ишларида бажаришда фойдаланилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони, 30.05.2022 йилдаги ПФ-144-сон "Ўзбекистон республикасининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида" Фармони.

2. Касымов С.М., Кенесарин М., Максудов С.Х., Соатов А., Абзалимов Э. Сейсмическое микрорирование г.Андижана// Ташкент:Институт Сейсмологии, 1976 г. Стр. 231

2. Гайнанов В.Г. Сейсморазведка. Руководство к практическим занятиям по курсу «сейсморазведка». М.: Изд-во МГУ, 2006.

3. Мамарозиков Т.У., Ядигаров Э.М., Чакконова С.А. О физических свойствах аллювиальных отложений долины р.Чирчик по данным комплексных геофизических исследований. Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини

таъминлаш муаммолари" мавзусидаги республика миқёсидаги илмий -амалий анжумани 20-21 октябрь 2021 й.

4. Aleshin A.S. The Continual Theory of Seismic Microzonation. M.: Nauchnyi mir (2017), p. 302. [in Russian].

5. Ismailov V.A., Yodgorov Sh.I., Allayev Sh.B., Mamarozikov T.U., Avazov Sh.B. Seismic microzoning of the Tashkent territory based on calculation methods. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 152, 2022, 15-19. 107045, DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.107045.

6. Pilz, M., Abakanov, T., Abdrakhmatov, K., Bindi, D., Boxberger, T., Moldobekov, B., Orunbaev, S., Silacheva, N., Ullah, S., Usupaev, U., Yasunov, P., Parolai, S. (2015): An overview on the seismic microzonation and site effect studies in Central Asia. - Annals of Geophysics, 58, 1. DOI: <http://doi.org/10.4401/ag-6662/>

Ядигаров Э.М., Ёдгоров Ш.И., Хусомиддинов А.С., Актамов Б.У., Бозоров Ж.Ш.

Методы и результаты инженерно-геофизических исследований проведенных на территории г. Андижана

Аннотация. В статье представлены методы и полученные результаты инженерно-геофизических исследований, проведенных на территории города Андижана. Определены скорости распространения поперечных волн из слоев с учетом инженерно-геологических и грунтовых условий. Сейсморазведочные исследования исследовали пласты глубиной до 30 метров Vs30. По результатам исследований на территории города Андижана были определены скорости распространения поперечных волн в грунтах, разбросанных по 30-метровому тольщи, и разделены на 3 части по разности скоростей.

Ключевые слова: значение пикового ускорения грунта, сейсморазведка, строительство, моделирование, слой грунта, сейсмическое воздействие, инженерно-геофизическое исследование

Yadigarov E.M., Yodgorova Sh.I., Xusomiddinov A.S., Akramov B.U., Bozorov J.Sh.

Methods and results of engineering and geophysical surveys conducted on the territory of Andijan

Abstract. The article presents the methods and results of engineering and geophysical studies conducted on the territory of the city of Andijan. The propagation velocities of transverse waves from the layers are determined taking into account engineering-geological and ground conditions. Seismic surveys investigated formations up to 30 meters deep Vs30. According to the results of research on the territory of the city of Andijan, the propagation velocities of transverse waves in soils scattered over a 30-meter thick were determined and divided into 3 parts according to the speed difference.

Key words: the value of peak acceleration of the soil, seismic exploration, construction, modeling, soil layer, seismic impact, engineering and geophysical research

УДК 528.94

ОҲАНГАРОН СУВ ОМБОРИ ТЎҒОНИНИНГ БУЗИЛИШИ ОҚИБАТИДА АҲОЛИ ПУНКТЛАРИ ВА ИНФРАТУЗИЛМА КОМПЛЕКСЛАРИНИ СУВ БОСИШ ЭҲТИМОЛИНИ КАРТОГРАФИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

Рафиқов В.А.¹, Рафиқова Н.А., Кузиев Ф.Н., Аҳмаджонов А.И.

¹ЎзР ФА Сейсмология институти, Тошкент ш., Ўзбекистон Республикаси, uzhydrolog@mail.ru

Аннотация: Мақолада Оҳангарон сув омбори ҳудудининг топографиясини рақамлаштириш, ГАТ технологиялари асосида сув тарқалиши ва босиши эҳтимоли юқори бўлган майдонларни визуал тасвирий ахборотларини яратиш ҳамда картографик моделини ишлаб чиқиш ҳақида сўз юритилади.

Таянч сўзлар: Оҳангарон сув омбори, ГАТ технологиялари, картографик модел, топографик харита, аэрокосмик сураатлар, ортофотопланлар, дискретлаштириш.

Кириш. Бугунги глобаллашув ва тез суръатлар билан ўзгариб бораётган мураккаб ҳамда шиддатли даврда аҳолининг табиий кўпайиб бориши билан унинг истеъмол талабини қондириш, озиқ-овқат хавфсизлигини таъминлаш каби муҳим ижтимоий-иқтисодий вазифалар жаҳон ҳамжамиятида долзарб аҳамият касб этиб бормоқда. Шу боис дунёнинг кўплаб мамлакатларида сув омборларининг қурилиши ва улардан турли мақсадларда фойдаланиш амалиёти сезиларли даражада ортиб бормоқда. Чунки, сув омборлари қишлоқ хўжалигини сув билан бир меъёрда таъминлаш, аҳолига электр энергиясини етказиш, иқлим ўзгаришлари оқибатида ёғингарчиликларни ортиши, сув тошқинларини олдини олиш ва бошқа гидротехника мақсадларини амалга оширишда қулай иншоот ҳисобланади.

Маълумки, сув омборларининг тўғонлари асосан кўтарма ҳолда бўлиб, қурилиш материалларига кўра турли компонентлардан ташкил топади. Улар ўз навбатида маълум хавфларни содир қилиши мумкин. Гидроузелларнинг фалокатсиз ишлаши дунё гидротехник жамоатчилигининг доимо диққат марказида бўлиб келган. *Ер юзидаги* тўғонларнинг қарийиб 15 фоизи мустаҳкам эмас, улар исталган вақтда бузилиб кетиши ва турли салбий оқибатларни келтириб чиқариши мумкин [5]. Маълумотларга кўра ҳар йили сув омборлари тўғонидаги фалокатлар (авариялар) сони ўртача 5 фоизни ташкил этиб, бунинг натижасида минглаб одамларнинг ҳаёти, яшаш манзилгоҳлари, қишлоқ хўжалиги ва бошқа *инфраструктура объектлари* жиддий хавф остида қолмоқда. Бу эса жаҳон ҳамжамиятини *ташвишга солиб турли ислохотларни амалга оширишга ундамоқда*.

Мамлакатимизда ҳам сўнгги йилларда ирригация ва сув таъминоти масалалари долзарб аҳамият касб этмоқда. Сув омборларидан оқилонга фойдаланиш, улардаги хавфсизликни таъминлаш, юзага келиши мумкин бўлган табиий ва техноген тусдаги фавқулодда вазиятларни олдини олишга катта эътибор қаратилмоқда. 2020 йил 1-май куни Сирдарё вилояти ҳудудида жойлашган Сардоба сув омбори тўғонида юзага келган фавқулодда ҳодиса сув омборларида хавсизликни таъминлаш, уларда доимий мониторинг ишларини олиб бориш нақадар муҳимлигини яна бир бор исботлади. Шу жиҳатдан, қисқа муддат ичида аҳоли ва ҳудудларни хусусан, сув омборларини табиий ва антропоген омиллар таъсирида юзага келиши мумкин бўлган хавфли жараёнлардан муҳофазалаш мақсадида мажмуали тизим яратилиб, бир нечта қонун лойиҳалари ишлаб чиқилди. Жумладан, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 30 июлдаги «Ўзбекистон Республикаси ва ҳудудларининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш чоратадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4794-сон қарори, Вазирлар Маҳкамасининг «Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Сейсмология, иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини ва сейсмик хавфсизлигини таъминлаш соҳасини қўллаб-қувватлаш жамғармаси фаолиятини ташкил этиш тўғрисида»ги 681-сон қарор ва бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларни қабул қилинганлиги аҳоли манзилгоҳлари ҳамда гидрографик объектларни муҳофаза қилиш борасидаги саъй-ҳаракатлар, фундаментал ва амалий лойиҳалар кўламини ортишига замин яратди [1-2].

Изланиш предмети ва объектлари, маълумотлар базалари ва изланиш услублари. Бугунги кунда антропоген ва табиий омиллarning салбий таъсир кўлами ортиб бораётган шунингдек, сейсмик фаоллик ҳам ўзининг экстремал даражасига чиққан даврда, аҳоли, ҳудудлар, инфраструктура объектлари шу жумладан гидротехника иншоотлари хусусан, сув омборларини муҳофаза қилиш долзарб ва устувор вазифалардан ҳисобланади.

Маълумки, республика бўйича ҳажми 19,2 млрд м³ бўлган 55 та сув омборлари мавжуд бўлиб, уларнинг халқ ҳўжалигида, аҳолини ичимлик суви билан таъминлаш, саноат ва қишлоқ ҳўжалиги ерларига етказиладиган сув режимини тартибга солишда аҳамияти катта. Ана шундай стратегик муҳим аҳамиятга эга сув омборларидан бири Оҳангарон сув омбори ҳисобланади. Оҳангарон сув омбори Тошкент вилояти ҳудуди, Ангрен шаҳридан 21 км узоқликда Оҳангарон дарёсида, Ангрен кўмири конининг шимолий-шарқидида жойлашган [3]. Мазкур сув омбори асосан суғориладиган ерларнинг сув таъминотини яхшилаш, саноат ва коммунал мажмуаларини сув билан таъминлаш ва Оҳангарон дарёсини кўмири карьеридан буриш учун мўлжалланган. Оҳангарон сув омбори ҳажми жиҳатдан катта сув омборлари қаторига қирмайди, лойиҳа бўйича унинг тўла ҳажми 260 млн.м³ га тенг. Сув омбори ҳавзасининг эни нисбатан тор, қирғoқлари тик ҳолатда шаклланган бўлиб, ҳажми асосан унинг чуқурлиги ҳисобига ҳосил бўлади. Қўйидаги 1,2-расмларда Google Earth Pro дастурий таъминоти орқали олинган Оҳангарон сув омборининг аэрокосмик сурати келтирилган.



1-расм. Оҳангарон сув омборининг космик сурати

Figure 1. Ahangaran reservoir space photo



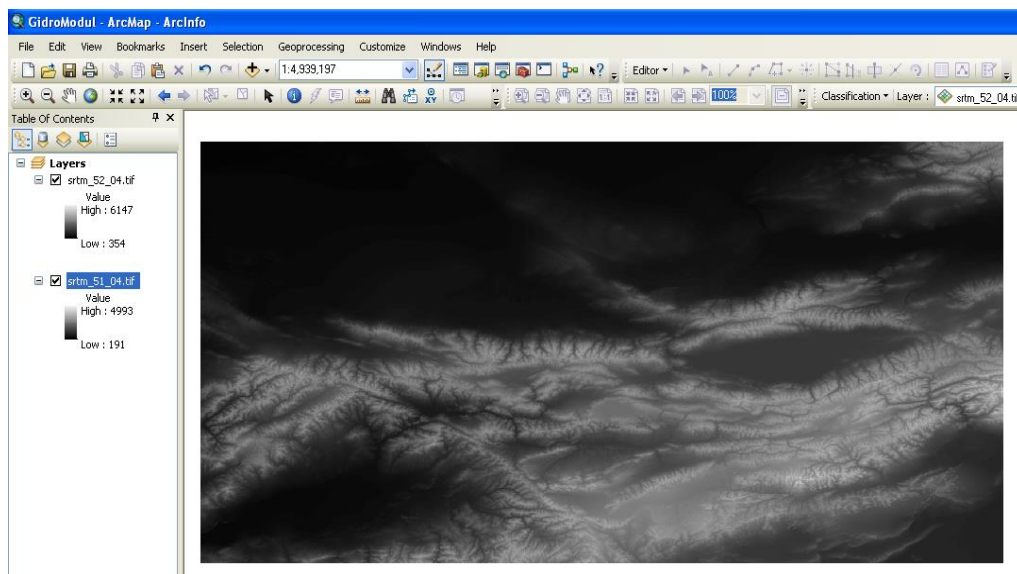
2-расм. Оҳангарон сув омбори тўғонининг космик сурати

Figure 2. Ahangaran reservoir dam space photo

Таъкидлаш лозимки, Оҳангарон сув омори жойлашган ҳудуд сейсмик жиҳатдан фаол яъни, MSK-64 баллиқ шкала бўйича 8 баллни ташкил этади [7]. Сув омбори ва унга туташ ҳудудларда юзага келиши мумкин бўлган табиий ва техноген тусдаги фавқулодда вазиятларга қарши кўриладиган чора-тадбирларни режалаш лозимлигини кўрсатади. Оҳангарон сув омбори ҳудудида юзага келиши мумкин бўлган *фавқулодда* вазиятларни *олдини олиш*, *аҳоли* хавфсизлиги ва муҳофазасини таъминлашга оид чора-тадбирларни режалашда ГАТ технологиялари асосида яратилган картографик манбалар хусусан, мавзули хариталар, ортофотоплан ҳамда тўпланган космик суратларни таҳлил қилиш, сув босиши эҳтимоли юқори бўлган ҳудудларни ўрганишда уларни мониторинг қилиш, сув омбори ҳудудининг картографик моделини яратиш фавқулодда хавфли эҳтимолий оқибатларини баҳолашда бирламчи манба бўлиб хизмат қилади. ГАТ технологияларини қўллаган ҳолда қисқа вақт ичида тадқиқот ҳудудининг рельефини ўрганиш, чуқурлик ва баландликларни ўлчаш, масофа ва майдонини аниқлаш, сув йиғиш имкониятларини таҳлил қилиш, тўғон створларини ўтказиш ва створ профилларини ишлаб чиқиш, сув омборининг контурлар бўйича юза ҳажмларини аниқлаш ва бошқа тадқиқотларни олиб бориш мумкин [4].

Асосий натижалар: Тадқиқот жараёнида Оҳангарон сув омбори тўғонининг бузилиши оқибатида аҳоли пунктлари ва инфратузилма комплексларининг сув босиш эҳтимолини картографик моделлаштириш мақсадида дастлаб SRTM (Shuttle radar topography mission) космик станциясидан олинган суратлар электрон архивига <http://srtm.csi.cgiar.org/> [6] ушбу интернет

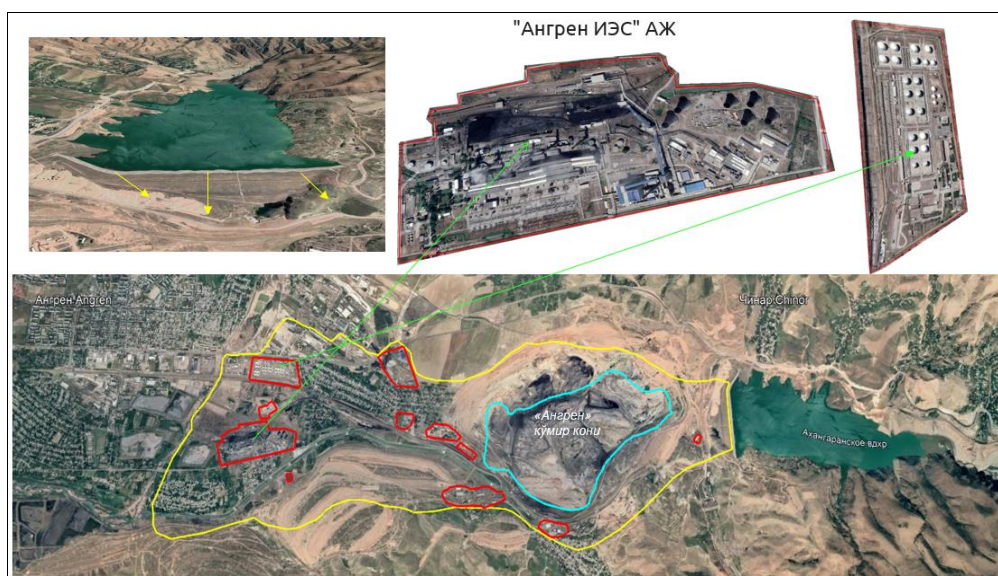
манзил орқали боғланиб, тадқиқот ҳудуди танланади ва юклаб олинди. Ер юзаси рельефи электрон картаси рақамли баландлик модели DEM (*Digital Elevation Model*) бир дарё ҳавзасини иккинчи дарё ҳавзасидан ҳамда дарё ирмоқлари орасида сув айирғич чегарасини аниқлашда асос бўлиб хизмат қилгани сабабли, олинган сурат AcGIS дастурий иловасига юкланди ва тегишли амалларни бажариш орқали 3-расмда кўрсатилгани каби ҳудуднинг рельеф қиймати аниқланди.



3-расм. Ҳудуд топографик маълумотларини юқори аниқликда тасвирлаш

Figure 3. Topographic information of the area in high resolution describe

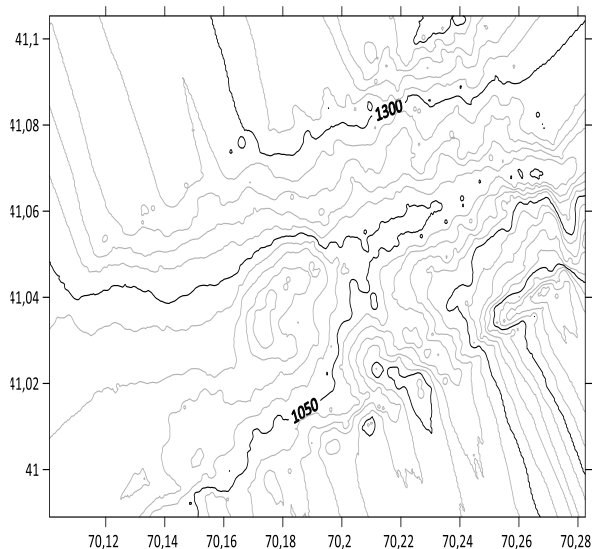
Топографик хариталар асосий табиий ва ижтимоий-иқтисодий объектларни тасвирловчи, мазмуни, математик асоси ягона умумгеографик харита ҳисоблангани сабабли, юқори аниқликдаги топографик маълумотлар асосида Оҳангарон сув омбори ҳудудининг рельефи рақамлаштирилди ва топографик хариталари ишлаб чиқилди. Топографик харита орқали сув омбори ҳудудининг шартли тасвири икки ҳил яъни, баландик қийматлари 4-расм ҳамда 5-расмдаги гипсометрик шкалалар усулларда тасвирланди.



4-расм. Оҳангарон сув омборининг сув босиш эҳтимоли бўлган ҳудудларнинг умумий тошқин зонаси

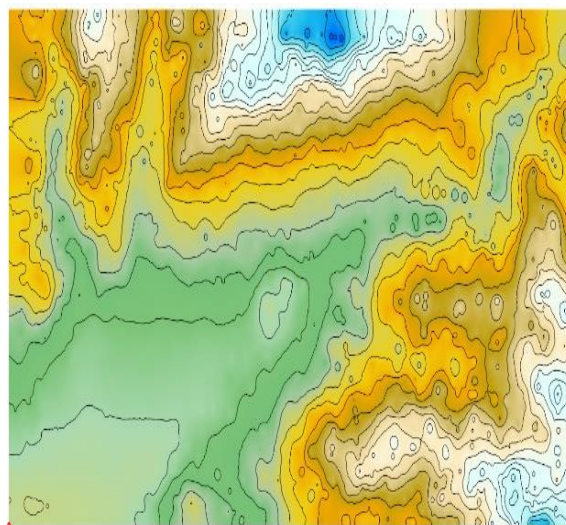
Figure 4. There was a possibility of flooding of the Ahangaran reservoir the total flood zone of the regions

Ишнинг навбатдаги босқичида сув омборидаги сув ҳажми ва ҳудуд рельефига кўра тошқин содир бўлганда унинг тарқалиш ареаллари ва тошқин зонасининг чегаралари ArcGIS дастурий таъминотига юклаб олинди ҳамда аэрокосмик суратларда визуал тошқин зоналари белгиланди. Рельеф ҳолати ва қийматлари турлича бўлгани сабабли сув босиш ареаллари ҳам шунга биноан дискретизацияланди 6-расм.



5-расм. Оҳангарон сув омбори ҳудудининг топографик рельеф харитаси

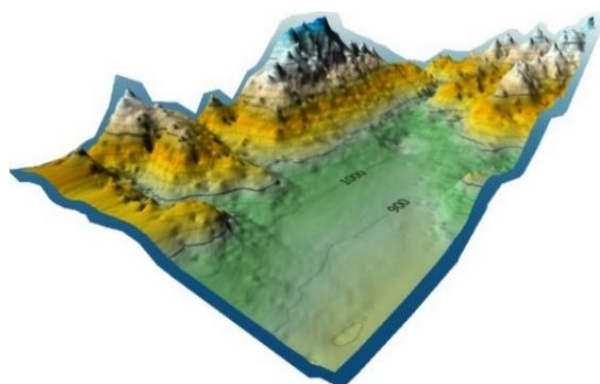
Figure 5. Topographic relief map of the Ohangaran reservoir area



6-расм. Оҳангарон сув омбори ҳудудининг гипсометрик харитаси

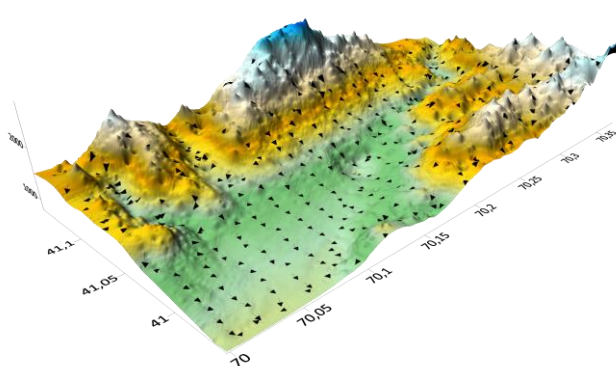
Figure 6. Hypsometric map of the Ohangaran reservoir area

Шунингдек, юқоридаги SRTM (Shuttle radar topography mission) космик станциясидан олинган суратлар асосида Оҳангарон сув омборининг визуал кўринишдаги (3D) уч ўлчамли сув босиш ҳудудларининг картографик моделлари ишлаб чиқилди 7-8-расм. Мазкур картографик моделлар ер сиртини моделлаштириш ва таҳлил қилиш амаллари учун махсус мўлжалланган Surfer дастури орқали яратилди.



7-расм. Оҳангарон сув омборининг уч ўлчамли (3D) сув босиш модели

Figure 7. Ahangaran reservoir three-dimensional (3D) inundation model



8-расм. Оҳангарон сув омборининг визуал кўринишдаги сув босиш йўналишларининг уч ўлчамли (3D) модели

Figure 8. Visual flooding of the Ahangaran reservoir three-dimensional (3D) model of direction

Муҳокама. Ишлаб чиқилган картографик материаллар ҳамда уч ўлчамли (3D) моделлар орқали сув омборини профилини тузиш, унинг ҳудудий майдони ва ҳажмини ҳисоблаш, хавфли табиий жараёнларнинг тарқалиш ареалларини аниқлаш, тошқин зонасини баҳолайдиган тезкор дастурий таъминот иловасини ишлаб чиқиш ва бу асосида сув босиш эҳтимолий *йўналишларини кўрсатувчи* турли вариантдаги мультанимациялар яратиш имконини беради.

Хулоса. Охангарон сув омбори ҳудудининг топографиясини рақамлаштириш, сув босиш эҳтимоли бўлган ҳудудларни визуал тасвирий ахборотларини яратиш ва картографик моделлаштириш орқали сув омбори ҳудудида юзага келиши мумкин бўлган фавқулудда вазиятлар сценарийсини тайёрлаш ва унга қарши кўриладиган чора-тадбирларни режалаш имкониятини беради.

Адабиётлар

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Ўзбекистон Республикаси ва ҳудудларининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4794-сон қарори 30.07.2020// lex.uz.
2. Вазирлар Маҳкамасининг «Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Сейсмология, иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини ва сейсмик хавфсизлигини таъминлаш соҳасини қўллаб-қувватлаш жамғармаси фаолиятини ташкил этиш тўғрисида»ги 681-сон қарор // lex.uz.
3. Бимурзаев Г. А. Охангарон дарёсининг юқори оқимидаги техноген таъсир туфайли замонавий кўчкиларнинг шаклланиши ва ривожланиш механизми // Геология-минералогия фанлари бўйича фалсафа доктори (phd) диссертацияси автореферати. Тошкент - 2020.
4. Гулямова Л.Х., Сафаров Э.Ю., Абдуллаев И.Ў. Геоахборот тизимлари ва технологиялари. Ўқув қўлланма.-Тошкент. Университет. 2013. 40 б.
5. Deurer I., Horne M., Singh D., Clothier R.B. (2011). The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New Zealand. *Journal of Cleaner Production* (19(14)), 1582-1589. doi:10.1016/j.jclepro. 2011.05.007
6. <http://srtm.csi.cgiar.org/>
7. Ўзбекистон сейсмологик атласи. – Тошкент, 2021.

Рафиков В.А., Рафикова Н.А., Кузиев Ф.Н., Аҳмаджонов А.И.

Картографическое моделирование вероятности подтопления населенных пунктов и инфраструктурных комплексов в результате прорыва плотины Ахангаронского водохранилища

Аннотация: В статье рассказывается об оцифровке рельефа района Охангаронского водохранилища, создании визуальной имиджевой информации районов с высокой вероятностью обводнения и затопления на основе технологий ГАТ, разработке картографической модели.

Ключевые слова: Ахангаронское водохранилище, ГАТ-технологии, картографическая модель, топографическая карта, аэрофотосъемка, ортофотопланы, дискретизация.

Rafikov V.A., Rafikova N.A., Kuziev F.N., Ahmadjonov A.I.

Cartographic modeling of the probability of flooding of population points and infrastructure complexes as a result of the failure of Akhangaran water reservoir dam

Abstract: The article talks about the digitalization of the topography of the Ohangaron reservoir area, the creation of visual image information of areas with a high probability of water spreading and flooding based on GAT technologies, and the development of a cartographic model.

Key words. Ahangaron reservoir, GAT technologies, cartographic model, topographic map, aerial photographs, orthophotoplanes, discretization.

УДК 550.34.03

СИСТЕМА НАРАЩИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ ИНСТИТУТА СЕЙСМОЛОГИИ ИМ. Г.А.МАВЛЯНОВА АН РУз

Т.С.Курбанов, Б.Г.Алимов

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,
timamail1978@gmail.com; bahadirka84@gmail.com*

Аннотация. Информационное сообщение посвящено установке и внедрению системы автоматизированного и интерактивного доступа к сейсмическим данным для Национального центра данных Узбекистана (НЦД-Уз) в структуре Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ).

Ключевые слова: землетрясение, мониторинг, SeisComP3, Geotool, сейсмограмма, сейсмические волны, фокальный механизм.

Введение. Республика Узбекистан подписала Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) 3 октября 1996 г. и ратифицировала его 29 мая 1997 г. Для проведения технического и экспертного анализа данных Международной системы мониторинга (МСМ) и активного участия Узбекистана в режиме верификации ядерных испытаний в 2004 г. Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан был официально номинирован в качестве Национального центра данных (НЦД) в структуре Организации по ДВЗЯИ.

Цель работ. Для успешного выполнения возложенных обязанностей в Институте 4 августа 2005 г. установлено коммуникационное оборудование защищенного спутникового канала для непрерывного приема данных МСМ из Вены (Австрия). В 2019 г. оно было полностью модернизировано. В рамках дальнейшей безвозмездной технической помощи ОДВЗЯИ предоставило Институту дополнительно комплект вычислительного оборудования (серверная стойка и компьютеры), называемый Система наращивания потенциала (СНП), с целью существенно расширить технические возможности института по обработке данных сети МСМ, в т. ч. для гражданских и научных целей. Закупка оборудования и его транспортировка были полностью проспонсированы Европейским союзом в рамках проекта по поддержке НЦД развивающихся стран.

Работы по установке и настройке вычислительного оборудования СНП проводились в период с 12 по 16 декабря 2022 г. сотрудниками Института и при участии представителя ОДВЗЯИ. Все необходимые технические мероприятия по сборке и запуску СНП были успешно проведены и оборудование вместе с программным обеспечением введено в эксплуатацию (рис. 1).



Рис. 1. Работы по установке СНП.

Fig. 1. Work on the installation of the CISS.

В состав программных средств, предоставленных Институту, входит автоматизированный комплекс по обработке поступающих сейсмических данных SeisComp3 и инструмент для проведения интерактивного анализа Geotool. На месте установки проведены также занятия с сотрудниками НЦД по эксплуатации комплекса и использованию программных средств обработки данных (рис. 2).

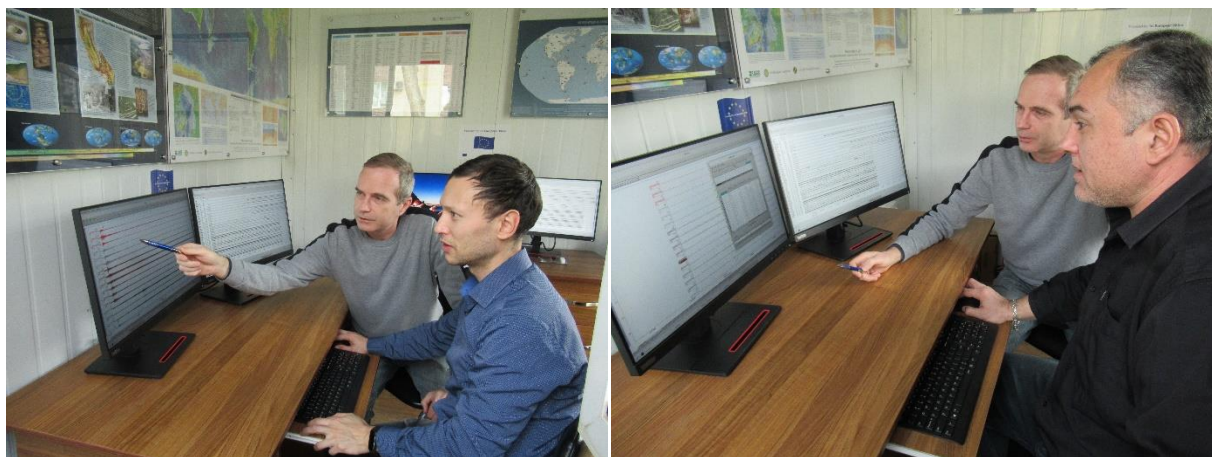


Рис. 2. Учебное занятие с сотрудниками НЦД.

Fig. 2. Training session with the staff of the NDC.

Вычислительный комплекс запущен в непрерывную работу с 14 декабря и начал принимать, обрабатывать и архивировать сейсмическую информацию, поступающую от более чем 70-ти локальных сейсмических станций, расположенных как в Узбекистане, так и на территории соседних государств, включая данные от двух сейсмических групп сети МСМ из Казахстана и Туркменистана. Результаты автоматизированной обработки далее анализируются специалистами-сейсмологами с целью

уточнения параметров выделенных сейсмических событий и составления бюллетеня, который дополняет результаты национальных средств обработки данных (рис. 3).



Рис. 3. Дружеское рукопожатие Директора Института сейсмологии АН РУз В.А.Рафикова и представителя ОДВЗЯИ Александра Поплавского.

Fig. 3. Friendly handshake of the Director of the Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan V.A.Rafikov and the representative of the CTBTO Alexander Poplavsky.

Преимущества программного комплекса. SeisComP3 – один из наиболее широко распространенных пакетов программного обеспечения для сбора сейсмологических данных в реальном времени по каналам Интернета. Его протокол передачи SeedLink стал фактическим мировым стандартом. SeisComP3 была развита для сети GEOFON и далее расширена в Проект MEREDIAN под руководством GEOFON/GFZ, Потсдам и ORFEUS. Первоначально SeisComP3 был разработан как высокий стандарт полностью автоматического сбора данных и инструмент обработки данных в реальном времени, включая контроль качества, обнаружение и определение местоположения события, а также распространение информации о событиях [1].

SeisComP3 обеспечивает:

сбор данных, контроль за качеством данных, запись данных, обмен данными в реальном времени, сетевой контроль статуса, обработка данных в реальном времени (рис. 4), генерация тревог событий, архивирование волновых форм, распределение волновых форм, автоматическое обнаружение событий и местоположение (рис. 5), интерактивное обнаружение событий и местоположение, архивирование параметров событий, легкий доступ к релевантной информации о станциях (рис. 6).

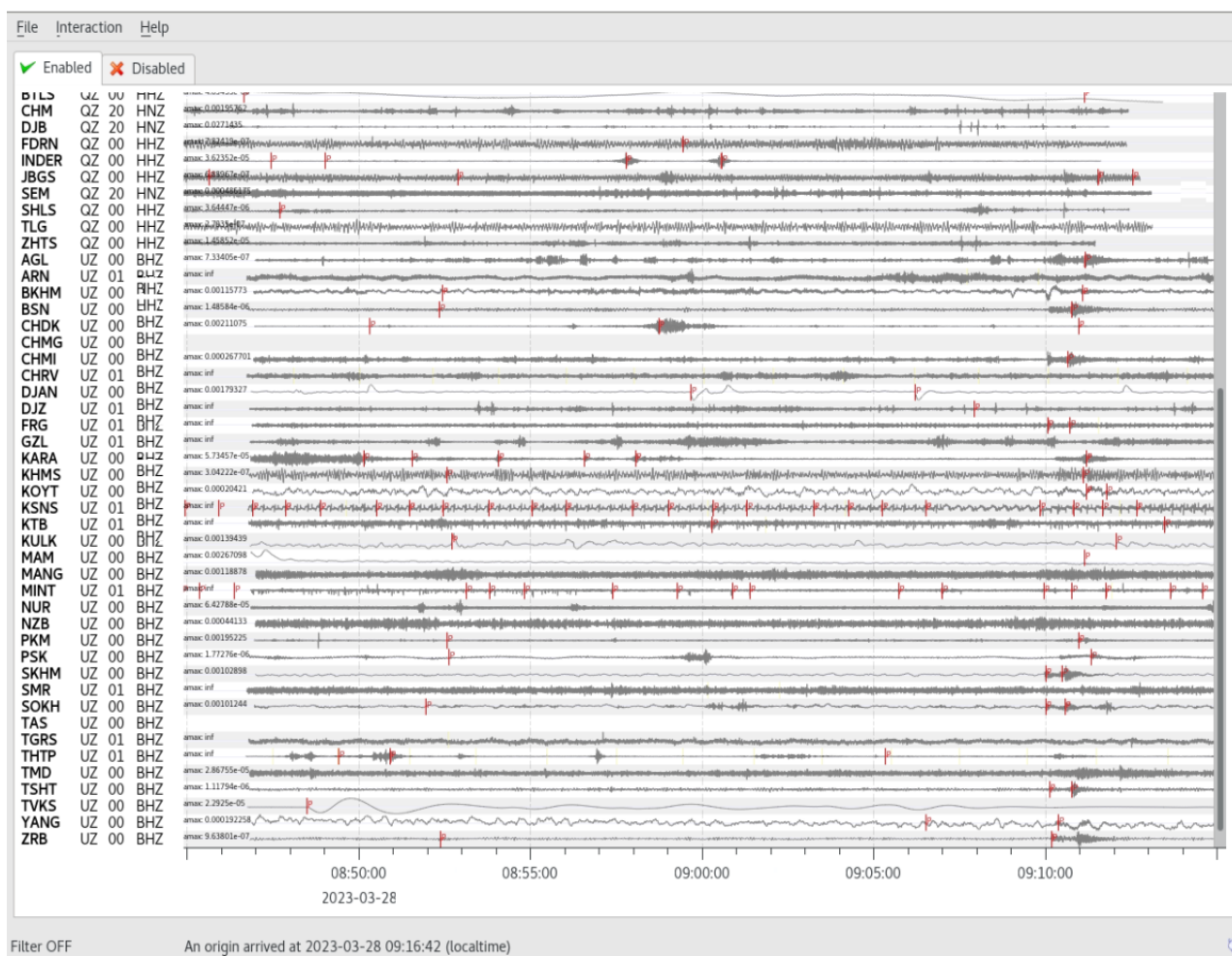


Рис. 4. Обработка данных в реальном времени.

Fig. 4. Real-time data processing.

Options View Help

Summary Events

OT(UTC)	M	MType	Phases	Lat	Lon	Depth	Stat	Agency	Region	ID
2023-03-28 09:09:54	4.1	M	11	35.57 N	70.20 E	10 km	A	NDC	Hindu Kush Region, Afghanistan	idc2023gbvk
2023-03-28 06:05:26	3.8	M	21	37.74 N	69.62 E	10 km	A	NDC	Afghanistan-Tajikistan Border Region	idc2023gbpi
2023-03-28 05:51:22	5.1	M	37	17.59 N	121.09 E	10 km	A	NDC	Luzon, Philippines	idc2023gbow
2023-03-28 05:41:57	2.5	M	9	40.06 N	70.78 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gboo
2023-03-28 05:16:55	4.3	M	24	36.08 N	77.85 E	170 km	A	NDC	Kashmir-Xinjiang Border Region	idc2023gbnr
2023-03-28 04:27:57	3.3	M	14	38.65 N	69.92 E	105 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gbmc
2023-03-28 04:22:47	2.9	M	9	39.27 N	70.95 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gbly
2023-03-28 04:13:14	3.2	M	8	38.18 N	73.19 E	195 km	A	NDC	Tajikistan-Xinjiang Border Region	idc2023gblq
2023-03-28 03:09:55	3.1	M	20	39.14 N	70.24 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gbjn
2023-03-28 02:54:08	3.2	M	27	39.13 N	70.08 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gbja
2023-03-28 02:19:03	4.4	M	9	32.55 N	73.51 E	10 km	A	NDC	Pakistan	idc2023gbhw
2023-03-27 23:05:17	2.8	M	15	39.57 N	71.59 E	61 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gbbl
2023-03-27 22:43:42	4.7	M	16	55.89 N	37.25 E	10 km	A	NDC	Baltics/Belarus/Northwestern Russia Reg.	idc2023gbat
2023-03-27 22:30:54	3.9	M	28	39.61 N	73.83 E	750 km	A	NDC	Tajikistan-Xinjiang Border Region	idc2023gbag
2023-03-27 22:27:59	3.6	M	9	36.19 N	68.82 E	10 km	A	NDC	Hindu Kush Region, Afghanistan	idc2023gbaf
2023-03-27 21:51:48	4.4	M	9	30.06 N	74.88 E	10 km	A	NDC	India-Pakistan Border Region	idc2023gaza
2023-03-27 21:06:40	2.7	M	8	38.09 N	71.65 E	10 km	A	NDC	Afghanistan-Tajikistan Border Region	idc2023gaxo
2023-03-27 18:28:40	4.0	M	9	41.28 N	63.27 E	154 km	A	NDC	Northwestern Uzbekistan	idc2023gasi
2023-03-27 14:35:08	4.3	M	27	38.09 N	34.80 E	10 km	A	NDC	Turkey	idc2023gakq
2023-03-27 11:06:14	2.9	M	12	39.30 N	70.48 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023gadt
2023-03-27 08:36:35	2.7	M	8	38.61 N	71.63 E	10 km	A	NDC	Afghanistan-Tajikistan Border Region	idc2023fzyu
2023-03-27 05:56:12	3.2	M	21	39.36 N	70.02 E	10 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023fztn
2023-03-27 05:25:18	5.4	M	22	48.58 N	179.72...	10 km	A	NDC	South of Aleutian Islands	idc2023fzsr
2023-03-27 02:45:41	3.4	M	16	38.08 N	72.45 E	733 km	A	NDC	Tajikistan	idc2023fzfn
2023-03-27 02:42:55	4.4	M	20	29.44 N	100.69 E	10 km	A	NDC	Sichuan, China	idc2023fznd
2023-03-27 00:27:25	3.9	M	13	34.75 N	71.65 E	10 km	A	NDC	Pakistan	idc2023fzir
2023-03-27 00:16:11	3.9	M	22	37.26 N	71.60 E	157 km	A	NDC	Afghanistan-Tajikistan Border Region	idc2023fzig
2023-03-26 23:23:28	4.3	M	53	36.24 N	69.89 E	145 km	A	NDC	Hindu Kush Region, Afghanistan	idc2023fzgo
2023-03-26 21:33:53	3.7	M	13	35.89 N	69.52 E	10 km	A	NDC	Hindu Kush Region, Afghanistan	idc2023fzcv

Clear [icon] Last days: 1 [icon] Read From: 2022/12/20 08:07:12 To: 2023/02/10 08:07:12 [icon] Read

☒ Hide other/fake events ☐ Show only own events

☐ Hide events outside - custom - region

Рис. 5. Автоматическое обнаружение событий и их местоположение.

Fig. 5. Automatic detection of events and their location.

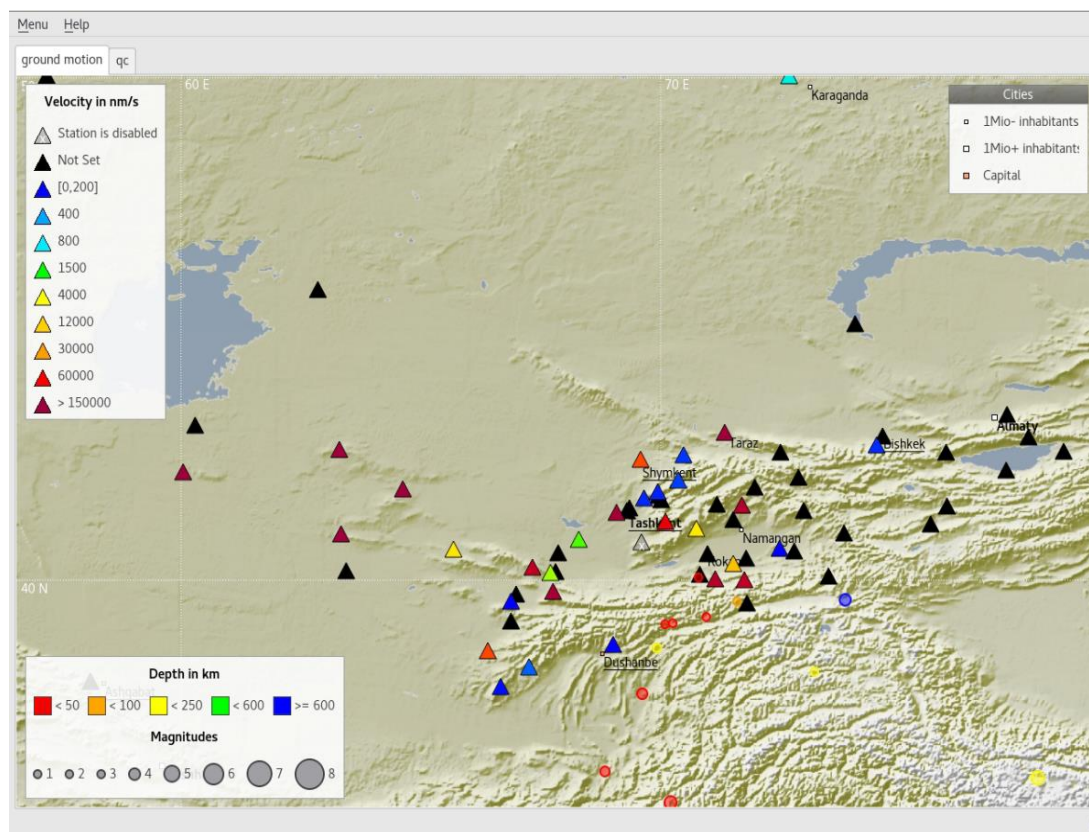


Рис. 6. Легкий доступ к релевантной информации о станциях.

Fig. 6. Easy access to relevant information about stations.

Основные особенности SeisCompP3 [2]

Распределение процессов (рис. 7), оцифровка данных с применением SeedLink, модель данных QuakeML для хранения и обмена, автоматическое определение времени прихода Р-волны (STA/LTA), автоматическое определение координат, определение магнитуд: ML, MJ, mb, mB, Mw(mB), Mwр планируется: mBc, Ms (20), Ms(BB) (рис. 8), интерфейс для оценки качества данных и визуализации событий, интерфейс для быстрой интерактивной обработки данных, интерфейс для построения механизма очага землетрясения (рис. 9).

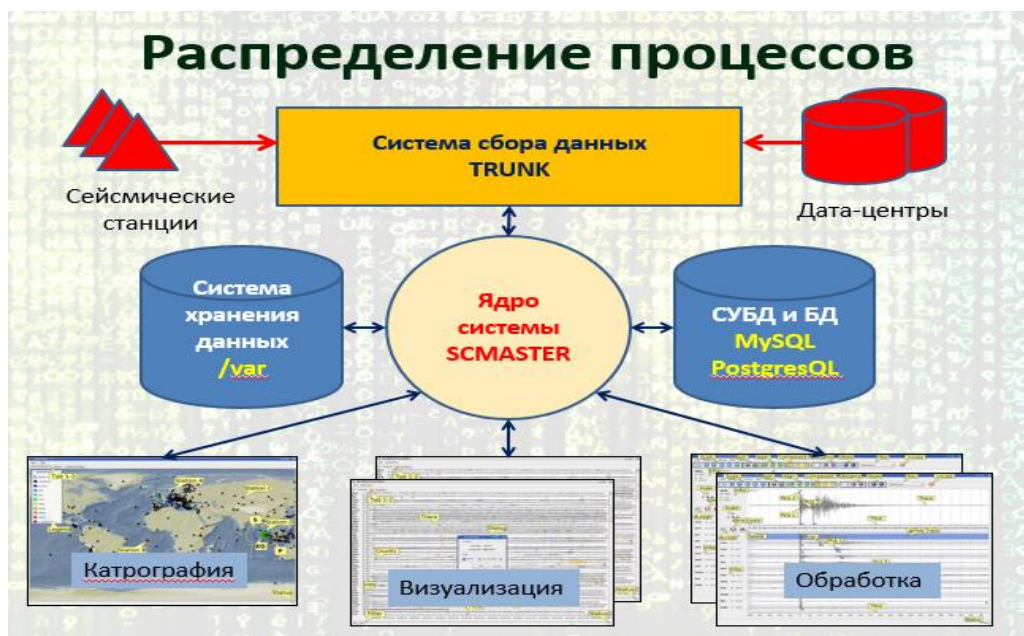


Рис. 7. Архитектура системы Seiscomp3.

Fig. 7. Architecture of the Seiscomp3 system.

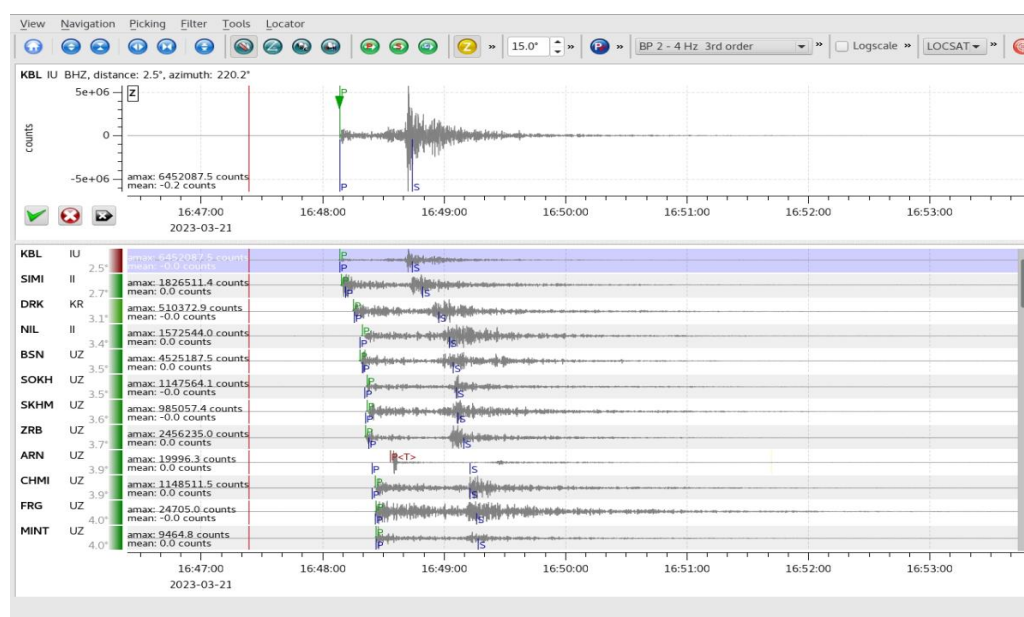


Рис. 8. Интерфейс системы Seiscomp3 (ручная обработка события на территории Афганистана mb = 7,0).

Fig. 8. Interface of the Seiscomp3 system (manual event processing in Afghanistan mb = 7,0).

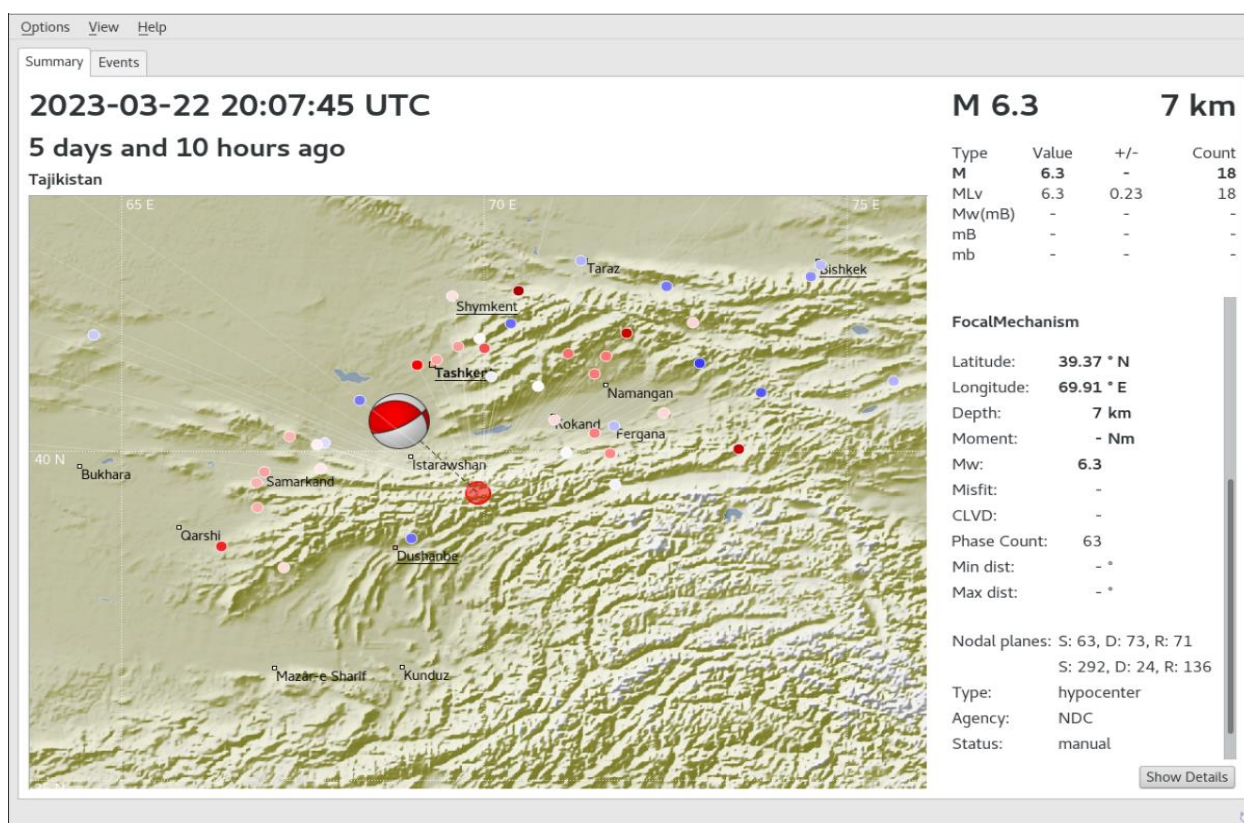


Рис. 9. Интерфейс системы Seiscomp3 (построение механизма очага землетрясения на территории Республики Таджикистан mb = 6,3).

Fig. 9. Interface of the Seiscomp3 system (construction of an earthquake source mechanism on the territory of the Republic of Tajikistan mb = 6,3).

Пост-процессинговая обработка данных программного комплекса GeoTOOL

Система программного комплекса GeoTOOL создает кольцевой буфер волновых форм, в который записываются данные от удаленных станций. Система позволяет импортировать волновые формы из других систем, работающих в режиме реального времени, а также экспортировать данные из кольцевого буфера в другие системы. GeoTOOL работает под операционными системами Linux [7].

Основные особенности GeoTOOL

доступность и документация, детальная локация событий (рис. 10), поддержка сбора данных, обмен данными (поддержанные форматы и протоколы), верификация данных и полнота (монитор контроля качества), системная конфигурация (добавляющие станции и метаданные), проверка ошибок и ошибочное сообщение, внедрение внешних программных модулей (дополнение, плагины), внедрение других/новых алгоритмов, внедрение другой скоростной модели (моделей), графический интерфейс пользователя, автоматическая обработка (выбор, ассоциация, местоположение, величина), ручная обработка события (рис. 11), управление данными, архив (database) и доступ.

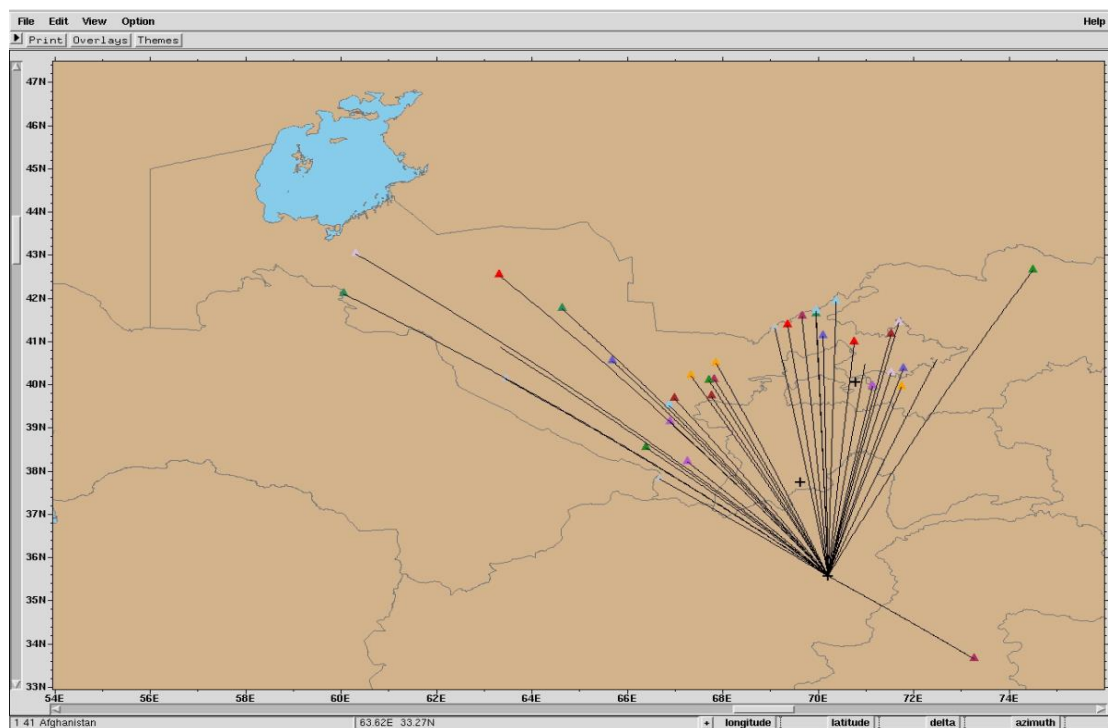


Рис. 10. Интерфейс системы GeoTOOL (детальная локация события).

Fig. 10. GeoTOOL system interface (detailed event location).

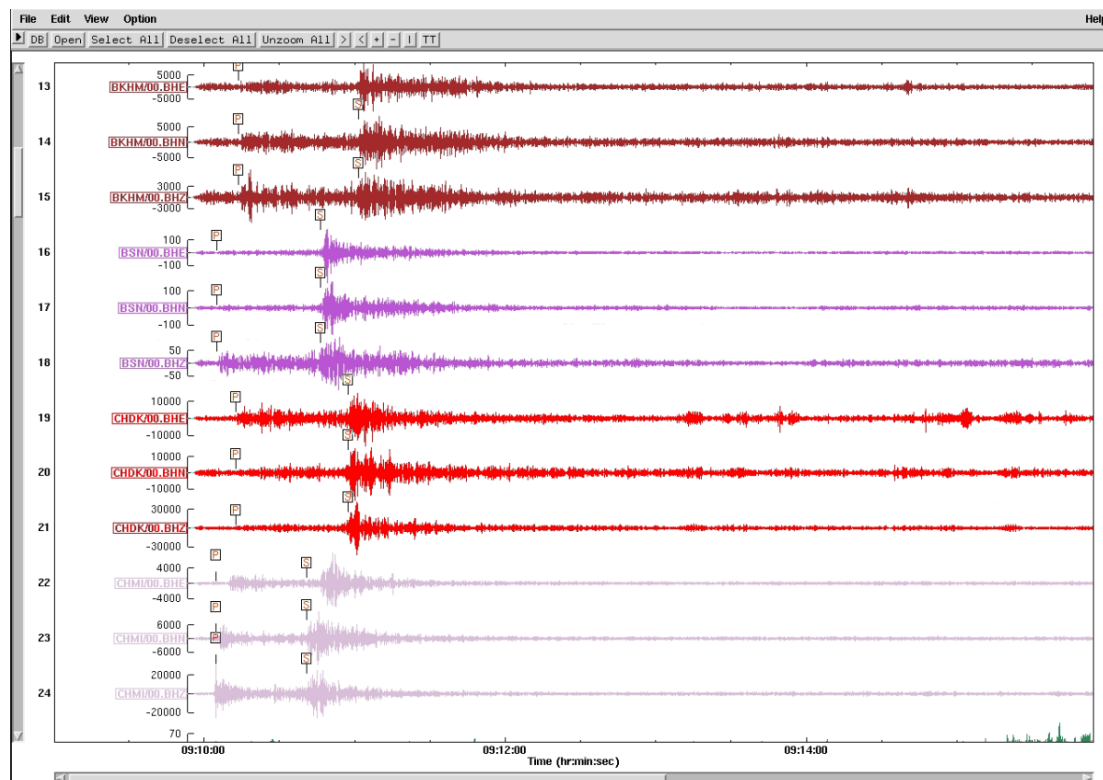


Рис. 11. Интерфейс системы GeoTOOL (ручная обработка события).

Fig. 11. GeoTOOL system interface (manual event processing).

ВЫВОДЫ

Установленное оборудование Системы наращивания потенциала (СНП) является необходимым и достаточным инструментом для сбора, структурированного хранения и публикации сейсмологических данных. Также система может быть использована для автоматизированной и интерактивной обработки данных, для автоматизированного оповещения о результатах сейсмологического мониторинга. Участие оператора – на любом из этапов, возможность удаленной обработки и пересмотр результатов обработки. Система наращивания потенциала (СНП) открытая и масштабируемая, что позволяет использовать собственные средства сбора, обработки, анализа и публикации данных сейсмологического мониторинга.

Литература

1. Ибрагимов А.Х. Системы сбора и анализа данных. Учебное пособие для студентов по специальности «сейсмология и сейсмометрия». - Т., 2022.
2. Helmholtz-Centre Potsdam, SeisComP User License Agreement. <http://geofon.gfz-potsdam.de/software/seiscomp/license.pdf>. Accessed September 1, 2017.
3. Ибрагимов А.Х. О применимости системы раннего оповещения о сильных землетрясениях в Узбекистане // Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии. - Т., 2018. - С. 36-38.
4. IRIS, SeedLink. <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/>. Accessed September 1, 2017.
5. Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Смирнов А.А. Вклад казахстанских станций международной системы в глобальный и региональный мониторинг // Вестник НЯЦ РК. - 2019. - Вып. 2. - С. 12.
6. Гордиенко Д.Д., Комаров И.И., Смирнов Ю.А. Развитие информационных технологий в Казахском национальном центре данных (КНЦД) // Вестник НЯЦ РК. - 2019. - Вып. 2. - С. 37.
7. <https://www.ctbto.org/news-and-events/news/more-national-data-centre-experts-trained>
8. <https://www.iris.edu/hq/staff/employee/ahern>
9. <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/tutorials/>
10. <https://kndc.kz/index.php/stati/articles-of-data-center-menu-ru>

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI G'.O. MAVLONOV NOMIDAGI SEISMOLOGIYA INSTITUTINING MILLIY MA'LUMOTLAR MARKAZINING SALOHİYATINI KENGAYTIRISH TIZIMI T.S.Kurbanov, B.G.Alimov

Annotasiya. Ushbu maqola O'zbekiston Milliy ma'lumotlar markazi (MMM) uchun seysmik ma'lumotlarga avtomatlashtirilgan va interaktiv kirish tizimini o'rnatish va joriy etishga bag'ishlangan. Yadro sinovlarini keng qamrovli taqiqlash to'g'risidagi shartnoma tashkiloti (CTBTO) doirasida.

Tayanch so'zlar: zilzila, monitoring, SeisComP3, Geotool, seysmogramma, seysmik to'lqinlar, fokus mexanizmi.

SYSTEM OF CAPACITY BUILDING OF THE NATIONAL DATA CENTER G.O. MAVLYANOV INSTITUTE OF SEISMOLOGY ACADEMY OF THE REPUBLIK OF UZBEKISTAN T.S.Kurbanov, B.G.Alimov

Abstract. This research article is devoted to the Installation and implementation of the System of automated and interactive access to seismic data for the National Data Center of Uzbekistan (NDC-Uz). within the framework of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO).

Key words: earthquake, monitoring, SeisComP3, Geotool, seismogram, seismic waves, focal mechanism.

M u n d a r i j a	sah.
Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Ashurov S.X. O'zbekiston hududi seismik xavfini masofa bo'yicha seismik ta'sirning masofa bo'yicha so'nish qonuniyatining tabaqalashga asoslangan makroseysmik ballardagi extimollikka asoslangan bahosi	5
Maksudov S.X., Sagdullaeva K.A., Sadirov F.X., Israilov X.B. O'zbekiston hududida zilzila darakchilarini geofizik usullar majmuasi bilan monitoring qilishni takomillashtirishga doir	18
Muminov M.Yu., Ganiev A.U., Mirzoidov M.Z., Jabborov U.Ch. Chimion magnetometrik stantsiyasining zilzilalarni prognoz qilishdagi imkoniyatlari	28
Nagorny V.V. Zilzilani prognoz qilish, unga tayyorgarlik davrini portlash rejimida rivojlanayotgan jarayon sifatida ko'rsatish	41
Nurmatov U.A., Sodiqov Yu.M., Yusupov V.R., Shukurov Z.F. Seismotektonik va geofizik usullar yordamida yoriqlarning fazoviy joylashuvi va faolligini baholash	54
Atabekov I.U., Sodiqov Yu.M., Mamarahimov J.Q. Farg'ona chuquri geodinamikasi modeli	67
Sodiqov Y.M., Rashidov A.A. Farg'ona botiqligini seysmotektonikasi	78
Teshayeva Ruxsora Bahodir qizi O'zbekiston shaharlarini seysmik mikrorayonlashtirish uchun grunt sharoitlarining seysmik modellarini ishlab chiqish (muhandislik ko'rsatkichlarida)	86
Yuldashev E.Sh., Islamov X.A., Alimov B.G', Majidov J.R. Yangi Andijon shahri hududida olib borilgan seysmik kuzatuv	94
Yadigarov E.M., Yodgorov Sh.I., Xusomiddinov A.S., Aktamov B.U., Bazarov J.Sh. Andijon shahri hududida o'tkazilgan injener-geofizik tadqiqot uslublari va natijalari	101
Rafiqov V. A., Rafiqova N. A., Kuziyev F. N., Ahmadjonov A. I. Ohangaron suv ombori to'g'onining buzilishi oqibatida aholi punktlari va infratuzilma komplekslarini suv bosish ehtimolini kartografik modellashtirish	107
Kurbanov T.S., Alimov B.G. Seysmologiya institutining milliy ma'lumotlar markazining salohiyatini kengaytirish tizimi	112

С о д е р ж а н и е	стр.
Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мизаев М.А., Ашуров С.Х. Вероятностные оценки сейсмической опасности территории Узбекистана в показателях макросейсмической интенсивности, основанные на ранжировании законов затухания сейсмических воздействий с расстоянием	5
Максудов С.Х., Сагдуллаева К.А., Садиров Ф.Х., Исраилов Х.Б. К усовершенствованию системы мониторинга предвестников землетрясений геофизическими методами на территории Узбекистана	18
Муминов М.Ю., Ганиев А.У., Мирзоев М.З., Жабборов У.Ч. Возможности магнитометрической станции Чимион в прогнозировании землетрясений	28

Нагорный В.В. Прогнозирование землетрясения на основе представления периода его подготовки как процесса, развивающегося в режиме с обострением	41
Нурматов У.А., Садыков Ю.М., Юсупов В.Р., Шукуров З.Ф. Оценка пространственного положения и активности разломов сейсмотектоническими и геофизическими методами	54
Атабеков И.У., Садыков Ю.М., Мамарахимов Ж. К. Некоторые геодинамические особенности Ферганской впадины	67
Садыков Ю.М., Рашидов А.А. К сейсмотектонике Ферганской впадины	78
Тешаева Рухсора Баходир кизи Разработка сейсмических моделей грунтовых условий для сейсмического микрорайонирования городов Узбекистана (в инженерных показателях)	86
Юлдашев Э.Ш., Исламов Х.А., Алимов Б.Г., Мажидов Ж.Р. Сейсмический мониторинг на территории города Янги Андижан	94
Ядигаров Э.М., Ёдгоров Ш.И., Хусомидинов А.С., Актамов Б.У., Бозоров Ж.Ш. Методы и результаты инженерно-геофизических исследований проведенных на территории г. Андижана	101
Рафиков В.А., Рафикова Н.А., Кузиев Ф.Н., Ахмаджонов А.И. Картографическое моделирование вероятности подтопления населенных пунктов и инфраструктурных комплексов в результате прорыва плотины Ахангаронского водохранилища	107
Курбанов Т.С., Алимов Б.Г. Система наращивания потенциала Национального центра данных Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз	112

C o n t e n t	page
Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Ashurov S.X. Probabilistic assessments of Uzbekistan's territory seismic hazard in terms of macroseismic intensity based on ranking of seismic attenuation laws with distance	5
Maksudov S.Kh., Sagdullaeva K.A., Sadirov F.Kh., Israilov H.B. To improvement of the system of monitoring of earthquake precursors by geophysical methods on the territory of Uzbekistan	18
Muminov M.Yu., Ganiev A.U., Mirzoidov M.Z., Zhabborov U.Ch. Capabilities of Chimion about the increased sensitivity o the chimion geomagnetic predictive station magnetometric station in earthquake prediction	28
Nahorny V. Earthquake prediction based on presenting his preparation period as a blue-up process	41
Nurmatov U.A., Sadikov Y.M., Yusupov V.R., Shukurov Z.F. Assessment of the spatial position and activity of faults by seismotectonic and geophysical methods	54
Atabekov I.U., Sodiqov Yu.M., Mamarahimov J.K. Some peculiarity of the Fergana deep geodynamics	67
Sadikov Yu.M., Rashidov A.A. Seismotektonics of the Ferghana depression	78
Teshayeva Rukhsora Bahodir qizi Development of seismic models of soil conditions for seismic microzoning of cities in Uzbekistan (in engineering terms)	86

Yuldashev E.Sh., Islamov X.A., Alimov B.G., Majidov J.R. Seismic monitoring in the territory of the city Yangi Andijan	94
Yadigarov E.M., Yodgorova Sh.I., Xusomiddinov A.S., Akramov B.U., Bozorov J.Sh. Methods and results of engineering and geophysical surveys conducted on the territory of Andijan	101
Rafikov V.A., Rafikova N.A., Kuziev F.N., Ahmadjonov A.I. Cartographic modeling of the probability of flooding of population points and infrastructure complexes as a result of the failure of <i>Akhangaran</i> water reservoir dam	107
Kurbanov T.S., Alimov B.G. System of capacity building of the National data center G.O.Mavlyanov Institute of seismology academy of sciences of the Republik of Uzbekistan	112

Коллектив авторов

SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI
ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ
SEISMOLOGY PROBLEMS

2023, № 1, том 5

*Утверждено к печати Ученым советом
Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова*

Мусаххих *Т.Г.Кочергина* (рус.)

Компьютерная верстка *В.Р.Юсупов*

Формат 80×64_{1/8}. Усл. печ. л. 13,75. Уч.-изд. л. 15. Тираж 100 экз.
Отпечатано в Бизнес Полиграф.
Ташкент, Чиланзар, ул. Козиробот, 65.

Обуна индекси (подписной индексе) 1351.