

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 6

2024

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 2024

TAHRIR XAY'ATI

Tahrir kengashi raisi:

Rafikov Vaxob
Asomovich,
g.f.d. prof.

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., akad. (*Qirg'iziston*); **Abdullabekov Kaxarboy Nasirbekovich**, f.-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*); **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 Baxtier 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*); **Shukurov Zuxriddin Fazliddinovich**, g.-m.f.f.d. (PhD) (*O'zbekiston*); **Yodgorov Sharofiddin Ismatullaevich**, g.-m.f.f.d. (PhD) (*O'zbekiston*); **Yadigarov Eldor Maxmadiyorovich**, g.-m.f.f.d. (PhD) (*O'zbekiston*).

Jurnalda chop etilgan materiallardan foydalanilganda «Seismologiya 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.

«Seismologiya 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 Seismologiya 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:

Рафиков
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 Ермекович, д. г.-м. н., акад. (Киргизия); Абдуллабеков Кахарбой Носирбекович, д. ф.-м. н., акад. (Узбекистан); Пулод Аминзода, д. т. н. (Таджикистан); Атабаев Дилшод Хусаинбаевич, д. г.-м. н., доц. (Узбекистан); Етирмишли Гурбан Джалал ўгли, 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); 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., член-корр. РАН (Россия); Туйчиев Ахмаджан Исмаилович, д. ф.-м. н. (Узбекистан); Хамидов Лутфулла Абдуллаевич, д. ф.-м. н. (Узбекистан); Юсупов Валижон Рустамович, PhD (Узбекистан); Шукуров Зухриддин Фазлиддинович, PhD (Узбекистан); Ёдгоров Шарофиддин Исматуллаевич, PhD (Узбекистан); Ядигаров Эльдор Махмадиярович, PhD (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. № 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., Acad. (Kyrgyzstan)*; **Abdullabekov Kakharboy Nosirbekovich**, *D.Sc. in Phys. & Math., Acad. (Uzbekistan)*; **Pulod Aminzoda**, *D.Sc. in Geol. & Min. (Tajikistan)*; **Atabaev Dilshod Khusainbaevich**, *D.Sc. in Geol. & Min., Doc. (Uzbekistan)*; **Etirmishli Gurban Jalal oqli**, *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 Vahidkhan 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)*; **Shukurov Zuxriddin Fazliddinovich**, *PhD (Uzbekistan)*; **Yodgorov Sharofiddin Ismatullaevich**, *PhD (Uzbekistan)*; **Yadigarov Eldor Maxmadiyrovich**, *PhD (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, Zulfiyaxanum 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+624.131

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ Г. КАРШИ

*Э.М. Ядигаров, С.С. Хусомиддинов, А.С. Хусомиддинов, Х.А. Исламов,
Ж.Ш. Бозоров, Т.У. Мамарозиков*

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан
eldoradigarov@gmail.com*

Аннотация. Приводятся результаты проведенных работ для сейсмического микрорайонирования территории г. Карши. Сейсмическая интенсивность оценена в макросейсмических баллах и в пиковых ускорениях грунта. Рассмотрено влияние грунтовых условий на параметры сейсмической интенсивности на основе сейсморазведочных, а также инженерно-геологических методов с использованием сейсмогрунтовых моделей. Для решения задач СМР г. Карши сейсморазведочные работы проводились в 100 точках по всей территории города. На основе обобщения инженерно-сейсмологических результатов составлены карты сейсмического микрорайонирования территории города в двух показателях.

Ключевые слова: грунтовые условия, исходная сейсмичность, приращение сейсмической интенсивности, макросейсмическая шкала, пиковое ускорение, инженерно-геологическое районирование.

Введение. Землетрясения принадлежат к величайшим катастрофам, происходящим на Земном шаре. Это стихийное бедствие, представляющее исключительно сложные, слабоизученные по своим последствиям явления. Главная опасность землетрясений – разрушение зданий и сооружений, влекущее за собой человеческие жертвы. Более 75% территории Узбекистана находится в сейсмических опасных зонах. Исходя из этого, за последние годы Президентом Республики Узбекистан и Кабинетом Министров нашей республики разработан комплекс мер, направленных на уменьшение негативных последствий сильных землетрясений и обеспечение сейсмической безопасности населения республики и объектов промышленного и гражданского строительства. Разработка карт сейсмического микрорайонирования (СМР) городов выполняется в рамках Указа Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2022 г. УП-144 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности Республики Узбекистан» и постановления Президента Республики Узбекистан от 16 мая 2023 г. ПП-158 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» (Приложение 1, пункт 7).

Оценка сейсмической опасности обычно сводится к вычислению максимально возможных сейсмических воздействий, которые необходимо учитывать при строительстве в сейсмических районах. Сейсмическая опасность отражается на картах сейсмического районирования той или иной территории [1, 2]. В нашей стране в зависимости от задач и необходимой детальности картирования сейсмической опасности рассматриваются три типа: 1) общее сейсмическое районирования (ОСР) – для всей территории страны; 2) детальное сейсмического районирования (ДСР) – для ограниченных площадей и отдельных регионов; 3) сейсмическое микрорайонирование (СМР) – для городов, населённых пунктов и строительных площадок. В сейсмическое микрорайонирование входит комплекс методов, позволяющий определить сейсмичность изучаемой площадки с учетом локальных грунтовых условий, по данным инженерно-геологических изысканий [2]. Известно, что балльность района, определяемая по картам сейсмического районирования, является величиной, условной для конкретного района, и не решает полностью вопроса о расчётной сейсмической интенсивности, в особенности, когда

проектируются и возводятся крупные и ответственные сооружения. Это объясняется осредненностью грунтовых условий и поэтому, в случае необходимости, они подлежат уточнению. В настоящее время сейсмическим микрорайонированием пользуются не только для назначения антисейсмических мероприятий при проектировании сооружений, но и при выборе места постройки, для исключения нередко не оправданных экономических расходов [3].

Сейсмическое микрорайонирование выполняется с целью количественной оценки влияния местных инженерно-геологических условий (состав и свойства грунтов, положение грунтовых вод, особенности рельефа, наличие сейсмоактивных разломов и др.) на сейсмичность с указанием изменения интенсивности в баллах по ГОСТ 34511-2018, а также инженерных параметрах, таких как пиковое ускорение колебания, спектр амплитуд и реакции, длительности колебания [4]. До сегодняшнего дня разработанные нами карты СМР составлялись только в одних параметрах сейсмического измерения, т. е. в баллах. В настоящее время карты сейсмического микрорайонирования существуют в двух видах – в макросейсмических баллах и инженерных показателях.

Методика исследования. В настоящее время методику СМР предлагается осуществлять на новой научно-методической основе с использованием параметров сейсмических воздействий и грунтовой толщи, непрерывно распределенных в пространстве. Уточнение исходной сейсмичности территорий является неотъемлемой частью работ по сейсмическому микрорайонированию. Оно основано на комплексных сейсмологических, сеймотектонических и геолого-геофизических исследованиях, направленных на определение интенсивности сейсмических воздействий на территории, для которых осуществляется сейсмическое микрорайонирование. Были построены карты эпицентров инструментально зарегистрированных землетрясений, их анализ на предмет приуроченности эпицентров к основным тектоническим нарушениям, определяющим сейсмичность на исследуемом объекте [5-7]. На основе сеймотектонических и сейсмологических методов выделены сейсмогенные зоны, оказывающие значимый сейсмический эффект на строительную площадку. Расчеты выполнялись с учетом параметров повторяемости землетрясений (A_{10} , γ) и величины сейсмического потенциала M_{max} , периодов повторения сотрясений с заданными значениями пиковых ускорений и выделением на их основе зон не превышения в течение 50-ти лет величин максимальных ускорений с вероятностью $P = 0,9$; $P = 0,95$; $P = 0,98$ и $P = 0,99$ [6-8].

Для определения категории и состава грунтовых условий проведены полевые инженерно-геологические, геофизические полевые исследования на территории распространения различных литологических типов грунтов. Использованы современный цифровой трехкомпонентный сейсмометр SMG-6TD производства Guralp (Великобритания) с частотной характеристикой, равномерной в диапазоне 0,03-50 Гц; сейморазведочная станция «MAE X610-S» (производства Италии) с применением горизонтальных и вертикальных сеймоприемников, частотой 4,5 Гц. Обработка и расчеты данных проведены с использованием программных средств «Reflexw», «Rayfract», «PcLab» (Италия).

Для оценки приращения сейсмической интенсивности площадки использован метод Накамуры (Y.Nakamura, 1989) [9], более известный как метод отношений спектров горизонтальной компоненты записи к вертикальной (the Horizontal to Vertical Spectrum Ratio – HVSR) и методы сейсмических жесткостей и инженерно-геологических аналогий.

Анализ и результаты. Объект исследования – г. Карши, расположенный в южной части Узбекистана. По своему структурному положению данная территория относится к области перехода от Тянь-Шаньского эпиплатформенного орогена к Туранской платформе. Сейсмичность территории напрямую связана с тектоникой данного региона и проявляется в основном в пределах крупных разломов земной коры, активизированных на современном этапе геологического развития. Области динамического влияния этих разломных зон выделены Р.Н.Ибрагимовым и др. (2002) [10] в сейсмогенерирующие зоны.

Инженерно-геологические данные позволяют классифицировать грунты с точки зрения сейсмического эффекта, проявляемого в рассматриваемом районе. Инженерно-геологической характеристикой пород оснований зданий и сооружений исследуемой территории служат отложения четвертичного периода: карнабского (QIIkr), шоркудукского (QIIsh), сукайтинского (QIIsk), амударьинского (QIVad) комплексов, а также современные антропогенные (antQIV). Четвертичные отложения представлены: карнабский – пролювиальными, шоркудукский –

пролювиальными, сукайтинский – аллювиальными и аллювиально-пролювиальными, амударьинский – аллювиальными, антропогенные образования – насыпными грунтами, а также глинистыми осадками ирригационных каналов.

Принципы и методика составления карты инженерно-геологического районирования городов освещены в работах Г.А. Мавлянова (1974), Ф.В.Котлова (1978), Г.С.Золотарева (1978), Г.А.Голодковской (1987), А.М.Худайбергенова и др. [11-14]. Районы подразделены на геолого-генетические комплексы пород и обозначены заглавными буквами. В пределах исследуемой территории по этому признаку выделены пять районов, которые на карте обозначены заглавными буквами А, Б, В, Г, Д. Район **А** занимает значительные площади в северо-западной части исследуемой территории и включает аллювиальную равнину р. Кашкадарьи. Район **Б** охватывает юго-западную часть исследуемой территории, небольшой участок. Это поверхность древних озер и встречается в пониженных местах сукайтинского комплекса (aQsk) с общим уклоном на юго-запад. Район **В** занимает северную часть территории в старой части города, а также в южной части и расположен в основном на IV-й надпойменной террасе р. Кашкадарьи. Район **Г** занимает северную и северо-восточную части исследуемой территории и расположен на третьей надпойменной террасе р. Кашкадарьи. Район **Д** охватывает центральную и юго-западную части исследуемой территории и составляет более 65% всей площади. Расположен на IV-й надпойменной террасе р. Кашкадарьи.

Все существующие методы сейсмического микрорайонирования имеют общую основу: из анализа инженерно-геологических и сейсмологических данных изучаемой площади необходимо выделить так называемый «эталонный грунт». Сейсмическая интенсивность I и III категорий грунтов оценивается увеличением или уменьшением (III категории) относительно ко II категории. Приращение сейсмической интенсивности одного грунта относительно другого с помощью физической характеристики грунта осуществлено С.В.Медведевым [15].

В инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях в настоящее время развиты геофизические изыскания методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW). Сейсморазведочные работы проводились в 100 точках.

По всем точкам были рассчитаны значения V_{s30} . Согласно полученным результатам, скорости V_{s30} для всей площадки находятся в диапазоне 248-378 м/с. Территорию исследуемой площади можно условно разделить на три участка, относительно средних значений скорости (280-340 м/с) (рис. 1).

В настоящее время в практике СМР используются скорости поперечных волн, значения которых не зависят от обводненности. По данным о скоростях распространения сейсмических (поперечных) волн, полученным при сейсморазведочных исследованиях плотности грунтов, рассчитаны приращения балльности ΔI по формуле [16]:

$$\Delta I = K \lg \frac{V_{эт} \cdot \rho_{эт}}{V_i \cdot \rho_i} \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности. Причем инструкция рекомендует принимать K равным 1,67.

При расчетах приращения интенсивности сейсмических воздействий по МСЖ в расчет принималась грунтовая толща мощностью 30 м. Приращения сейсмической интенсивности по МСЖ определялись на основании значений скоростей V_{s30} , полученных по результатам сейсморазведки методом MASW с учетом параметров выбранного эталонного грунта (рис. 2).

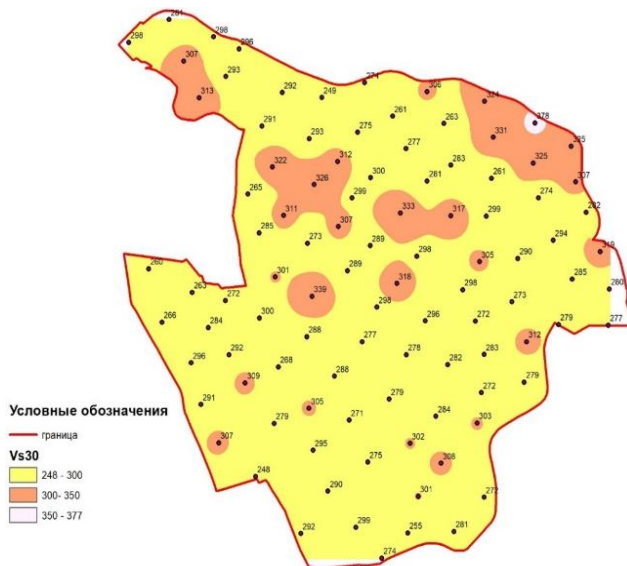


Рис. 1. Карта распределения V_{s30} .
Fig. 1. V_{s30} Distribution Map.

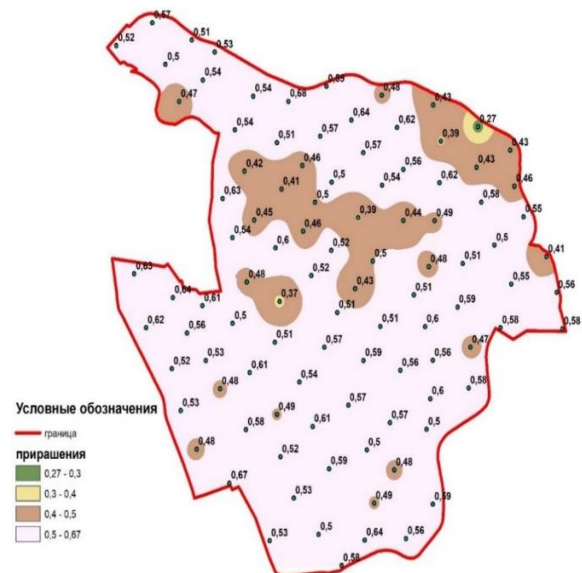


Рис. 2. Карта приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей в г. Карши.
Fig. 2. A map of seismic intensity increments using the Karshi seismic stiffness method.

Проведено определение сейсмических жесткостей грунтовых толщ в 100 точках на глубину 30 м, а в некоторых пунктах и более 30. Обобщенные результаты оценки показывают изменение приращения сейсмической интенсивности в пределах от +0,39 до +0,68 баллов.

Для расчета воздействий на свободную поверхность необходимо задать исходное колебание, совместимое с целевым спектром реакции на скальное основание. Следующим шагом является построение сейсмогеологических моделей грунтовой толщи площадки.

В таблице приведены значения максимальных ускорений колебаний грунта (PGA, g) для вероятностей $P = 0,9$, $P = 0,95$, $P = 0,98$ и $P = 0,99$ не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет на грунтах I, II и III категорий по сейсмическим свойствам.

Значения максимальных ускорений колебаний грунта (PGA, g) для различных вероятностей не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет на грунтах I, II и III категорий по сейсмическим свойствам

Категория грунта	Значения максимальных ускорений a_{max} , g			
	$P = 0,9$	$P = 0,95$	$P = 0,98$	$P = 0,99$
I	0,119	0,166	0,240	0,308
II	0,146	0,201	0,280	0,354
III	0,168	0,221	0,302	0,373

Так, были построены 100 моделей грунтовой толщи на основе обобщенной сейсмогеологической модели для проведения расчетов инженерно-геологических и сейсморазведочных данных (профили MASW). Для учета неопределенностей грунтовых моделей и входных акселерограмм использовался метод Монте-Карло, реализованный в программе Strata. В качестве входных акселерограмм использован набор из 6 штук. Каждая акселерограмма пропусклась через грунтовую толщу. Умножая на количество параметров грунтовой модели, получаем общее число 180 ветвей в расчетах программы Strata. Расчётные методы позволяют определить амплитудно-частотные характеристики слоистой грунтовой толщи и, соответственно, изменённые слоистой средой характеристики колебаний на свободной поверхности площадки или во внутренних точках среды.

Для проведения расчетов по этому методу необходимо определить исходное сейсмическое воздействие, заданное акселерограммой и спектром реакции, и построить сейсмогеологические модели грунтовой толщи. В качестве входных акселерограмм использованы синтезированные акселерограммы (рис. 3).

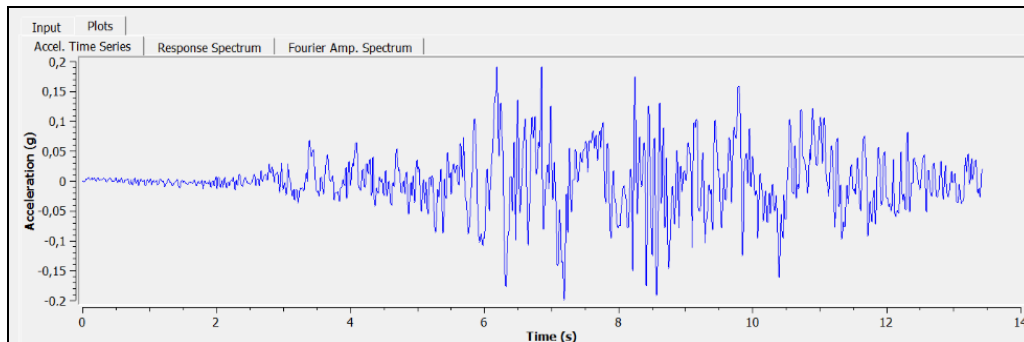


Рис. 3. Синтезированная акселерограмма для территории г. Карши, PGA – 0,166g.
Fig. 3. Synthesized accelerogram for the territory of Karshi, PGA – 0,166g.

Акселерограмма нормализована и приведена к значению ускорения, соответствующего ускорению грунтов первой категории, распространенных на территории г. Карши на глубине 100 м, представленной плотными конгломератами неогенового возраста. На основании подобного подхода разработаны 100 сейсмогеологических моделей, их расположение в плане приведено на карте точек расположения сейсмогеологических моделей. Здесь необходимо отметить, что при разработке сейсмогеологических моделей использованы результаты сейсморазведки, т. е. изменения V_{s30} в пространстве. Карта сейсмического микрорайонирования построена на основании медиан, полученных на поверхности Земли по программе Strata (рис. 4).

Таким образом, для проектирования высотных зданий динамическими методами разработана карта сейсмического микрорайонирования территории г. Карши по значениям пикового ускорения (PGA). На исследуемой территории по значениям максимального ускорения колебания грунтовых толщ выделены предельные значения – от 0,2 до 0,32 g. Интенсивность сотрясений на площади с учетом результатов сейсмического микрорайонирования – на уровне 7,22 баллов.

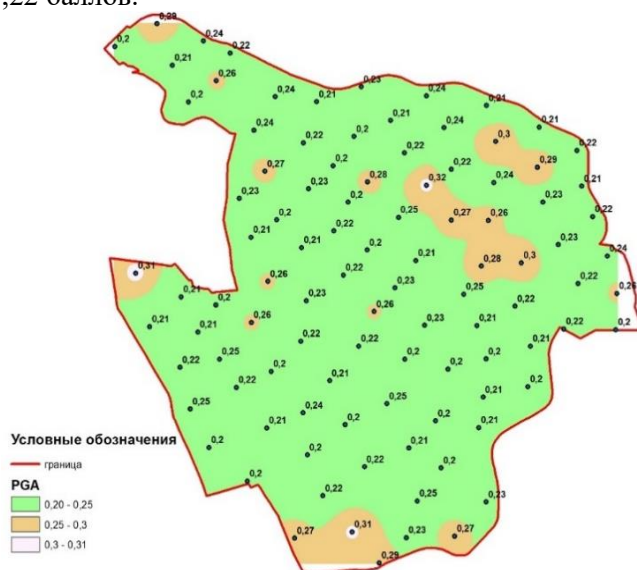


Рис. 4. Карта сейсмического микрорайонирования территории г. Карши по значениям пикового ускорения (PGA).
Fig. 4. A map of the seismic microdistricting of the territory of the city of Karshi by peak acceleration values (PGA).

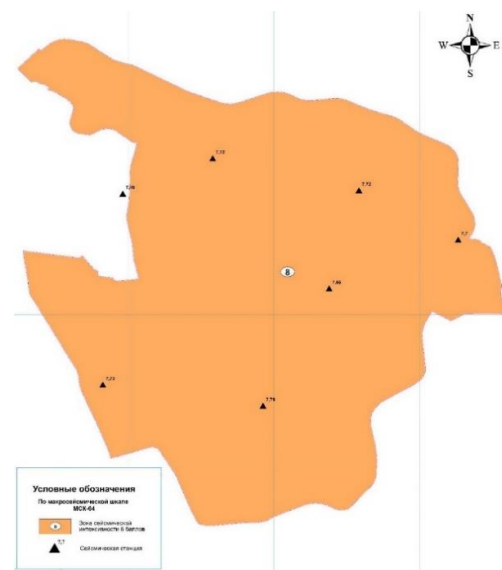


Рис. 5. Карта сейсмической интенсивности (в макросейсмических баллах).
Fig. 5. Seismic intensity map (in macroseismic points).

В составленной карте сейсмического микрорайонирования территории г. Карши в масштабе 1:25 000 выделена только 8-балльная зона (рис. 5).

Заключение. Таким образом, г. Карши относится к средней категории по сложности инженерно-геологических условий. В области исследований грунты третьей категории по сейсмическим свойствам. В рамках сейсмического микрорайонирования территории г. Карши проведены исследования (сейсморазведка) на 100 геофизических точках. Рассчитаны значения V_{s30} в каждой геофизической точке. На основании полученных результатов определены значения приращения сейсмической интенсивности – значения ΔI в пределах от + 0,39 до + 0,68. Общая сейсмическая интенсивность 8 баллов за счет того, что исходная сейсмичность г. Карши составила 7,22 балла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. - М.: Научный мир, 2017. - 302 с.
2. Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. Всероссийский научно-аналитический журнал. - М. - 2009. - № 9. - С. 28-40.
3. Rasulov H.Z., Rasulov R.H., Tashxodjayev A.U., Babajanov M.B. (2020). Vibration creep of loess soils. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614(1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012064>.
4. ГОСТ 34511-2018. Землетрясения. (Макросейсмическая шкала интенсивности). - М.: Стандартинформ, 2018. - 27 с.
5. 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. - 2016. - № 7(6). - P. 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.04.015>
6. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Complex of general seismic zoning maps OSR-2017 of Uzbekistan // Geodesy and Geodynamics. - 2020. - № 11(4). - P. 273-292. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.03.004>
7. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Models of the macroseismic field earthquakes and their influence on seismic hazard assessment values for Central Asia // Geodynamics & Tectonophysics. - 2020. - № 11(3). - P. 606-623. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0494>.
8. Atabekov I.U., Sadykov Y.M., Ibragimov R.S. (2022). The Modern Active Tectonics of the Fergana Depression (Uzbekistan) Based on the Results of Tectonophysical Reconstruction of Crustal Stresses and Mathematical Modeling of the Velocity Field // Geotectonics, 56(5), 631-637. <https://doi.org/10.1134/S001685212205003X>
9. Zhu C., Pilz M., Cotton F. Evaluation of a novel application of earthquake HVSR in site-specific amplification estimation // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. - 2020. - № 139. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106301>
10. 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.: ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2002. - С. 59-74.
11. Голодковская Г.А. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. - М.: Изд-во МГУ, 1987. - 271 с.
12. Золотарев Г.С. Изучение напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях. Метод. указания. - М.: Недра, 1978. - 136 с.
13. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. - М.: Недра, 1978. - 263 с.
14. Мавлянов Г.А., Пулатов К.П., Касымов С.М. и др. Инженерно-геологические условия Каршинской степи. - Т.: Фан, 1974. - 278 с.
15. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. - М., 1962. - 192 с.
16. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года. - Т.: Фан, 1971.

Shahar hududlarida seysmik mikrorayonlashtirish zarurligi masalasiga (Qarshi shahri misolida)

Yadigarov E.M., Khusomiddinov S.S., Khusomiddinov A.S., Islamov H.A., Bazarov J.Sh., Mamarozikov T.U.

Annotasiya. Maqolada qarshi shahri hududini seysmik mikrorayonlashtirish bo'yicha olib borilgan ishlar natijalari keltirilgan. Seysmik intensivlik nafaqat makroseysmik ballarda va tuproqning eng yuqori tezlashuvida baholangan. Seysmik qidiruv asosida grunt sharoitlarining seysmik intensivlik parametrlariga ta'siri, shuningdek seysmogruntdan foydalangan holda muhandislik-geologik usullar bilan baholandi. Qarshi shahar SMH muammolarini hal qilish uchun shahar bo'ylab 100 ta nuqtada seysmik qidiruv ishlari olib borildi. Olingan muhandislik-seysmologik natijalarni umumlashtirish asosida shahar hududini seysmik mikrorayonlashtirish xaritalari ikki ko'rsatkichda tuzilgan.

Kalit so'zlar: grunt sharoitlari, dastlabki seysmiklik, seysmik jadallikning oshishi, makroseysmik shkala, cho'qqi tezlanish, muhandislik-geologik rayonlashtirish.

On the issue of the need for seismic microdistricting in urban areas (using the example of Karshi)

Yadigarov E.M., Khusomiddinov S.S., Khusomiddinov A.S., Islamov H.A., Bazarov Zh.Sh., Mamarozikov T.U.

Abstarct. The article presents the results of the work carried out for seismic microdistricting of the territory of the city of Karshi. Seismic intensity is estimated not only in macroseismic scores and in peak ground accelerations. The influence of soil conditions on the parameters of seismic intensity is estimated on the basis of seismic surveys, as well as engineering and geological methods using seismic models. To solve the tasks of the SMR of the city of Karshi, seismic exploration was carried out at 100 points throughout the city. Based on the generalization of the obtained engineering and seismological results, maps of the seismic microdistricting of the city territory in two indicators have been compiled.

Key words: Ground conditions, initial seismicity, increment of seismic intensity, macroseismic scale, peak acceleration, geotechnical zoning.

ZILZILALARNI PROGNOZLASH

УДК 550.38 550343(375.1)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ

К.Н. Абдуллабеков, С.Х. Максудов, В.Р. Юсупов

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

Аннотация. Приведены результаты анализа многолетних научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений магнитометрическими и другими методами на геодинамических полигонах Узбекистана. Магнитометрические исследования проведены методами стационарных, повторных маршрутных и площадных съемок. Содержатся также данные анализа деформометрических и других исследований, полученных в Узбекистане и ряде зарубежных стран. Описано состояние научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений в Узбекистане и дальнейшие пути их развития.

Ключевые слова: предвестник землетрясения, магнитуда, магнитное поле, прогнозирование землетрясений.

Проблема прогнозирования землетрясений – исключительно трудная, многоплановая и серьезная работа. Над решением этой проблемы занимаются многочисленные исследователи разных стран в течение нескольких столетий. После каждого очередного землетрясения с многочисленными человеческими жертвами мы вновь и вновь возвращаемся к анализу состояния проблемы. В настоящее время в сейсмически активных регионах Земного шара проводятся специальные геолого-геофизические исследования по выявлению предвестников и прогнозированию землетрясений. Получены надежные результаты – некоторые землетрясения сопровождались локальными аномальными изменениями в геолого-геофизических параметрах (режим слабой сейсмичности, наклоны и деформации земной поверхности, изменение электрических, магнитных и электромагнитных полей, химического микрокомпонентного состава подземных вод).

Успешные прогнозы в Китае [1] и в Узбекистане [2] подпитывали оптимизм и возможности разработки методологии прогноза в ближайшее время. Однако выявлено, что иногда эти предвестниковые аномалии с трудом выделяются на фоне помех, мозаично проявляются на исследуемой территории, имеют разные морфологию и динамику развития перед конкретным землетрясением. Известны случаи, когда сильнейшие землетрясения не сопровождались аномальными изменениями (Китай, г. Тянь-Шань, июнь 1976 г.; Узбекистан, Газли, апрель 1976 г.; США, Калифорния, август 1979 г.; Армения, Спитак, декабрь 1988 г.; Япония, март 2011 г.; Турция, январь 2022 г.; Китай, февраль 2023 г. и др.) Различный характер проявления или отсутствие предвестников связаны, видимо, со сложностью геолого-тектонического строения земной коры и недостаточностью знаний о реальных сейсмогеодинамических процессах в литосфере. Следовательно, основными задачами исследований по проблеме прогнозирования землетрясений являются: изучение пространственно-временных изменений параметров геолого-геофизических полей в различных сейсмоактивных регионах; выделение площадей аномальных проявлений полей и определение трех параметров ожидаемых сильных землетрясений – места, силы и времени.

К настоящему времени по сейсмоактивным регионам Земного шара накоплен очень большой материал по исследованию пространственно-временных изменений геолого-геофизических параметров по выявлению предвестников землетрясений. В частности, в Узбекистане наибольшую эффективность для целей средне- и краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений показали результаты использования электромагнитных и гидрогеосейсмологических методов [3, 4]. Магнитометрический метод

является одним из перспективных в данном направлении. Считается, что накопление избыточных тектонических напряжений в массивах горных пород должно приводить к изменению локального геомагнитного поля. Основным условием в данном случае является наличие ферромагнитных минералов в составе горных пород, где происходит накопление тектонических напряжений. Воздействие тектонических напряжений на горную породу вызывает в ферромагнитных минералах изменение их намагниченности, что отражается в геомагнитном поле.

Развитие геомагнитных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений происходило с постепенным возрастанием объема полевых наблюдений в сейсмически активных регионах Земного шара [5]. Одновременно повышались точность измерений и внедрялись новые методические разработки. Высокоточные повторные съемки и стационарные непрерывные наблюдения составляют основу метода синхронных дифференциальных геомагнитных наблюдений. Используется разность модуля полного вектора геомагнитного поля [3]. К настоящему времени известны локальные вариации геомагнитного поля, связанные:

- с тектоническими процессами, современными движениями земной коры [6, 7];
- промышленными взрывами [8, 9];
- деятельностью техногенных объектов (подземные естественные газохранилища, эксплуатируемые нефтяные и газовые месторождения, крупные водохранилища) [10];
- сильными землетрясениями [2, 11];
- геодинамическими процессами на различных глубинах в земной коре и глубже [12];

Кроме этого, в ряде случаев произошедшие сильные землетрясения не сопровождались локальными аномальными изменениями геомагнитного поля (и не только в геофизических полях) [12].

Обусловленность локальных аномальных вариаций геомагнитного поля отмеченными выше факторами, отсутствие предвестников во время некоторых сильных землетрясений осложняет процесс уверенного выделения среди них тех, которые связаны непосредственно с процессами подготовки сильных землетрясений.

Следует отметить, что, как и многие аномалии (кроме аномалий, обусловленных деятельностью техногенных объектов), локальные аномалии предвестникового характера имеют различную форму, знак, продолжительность и интенсивность.

К отмеченным фактам добавляется фактор влияния такого свойства земной коры, как аномалия электропроводности. В общих чертах известна площадь распространения этой аномальной зоны на территории Узбекистана [13, 14]. Особенностью этой зоны является искажение амплитуды прохождения бухтообразных вариаций геомагнитного поля с временами 0,5-2,5 ч. При малой величине выявленных предвестников землетрясений (2-3 нТл) отмеченный факт может существенно повлиять на выявление краткосрочных предвестников землетрясений в геомагнитном поле.

Выделены многочисленные долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные предвестники. Найдены эмпирические зависимости между пространственно-временными параметрами предвестников с магнитудой землетрясений. Созданы десятки моделей процессов подготовки землетрясений [15, 16].

По проблеме прогнозирования землетрясений Институтом сейсмологии Академии наук Узбекистана проводятся комплексные геолого-геофизические исследования, начиная с 1968 г. Были надежно спрогнозированы несколько землетрясений [2, 17].

В настоящее время, несмотря на полученные результаты, на практике реальный прогноз места, времени и силы ожидаемых сейсмических событий все ещё остается на очень низком уровне.

Причиной такого низкого уровня является ряд организационно-методических упущений. Остановимся на некоторых из них. Главная причина, по нашему мнению, – методические упущения. При организации мониторинга комплексных прогностических наблюдений не учитываются пространственно-временные параметры ожидаемых

землетрясений.

При организации мониторинга комплексных прогностических наблюдений должны учитывать пространственно-временные параметры ожидаемых аномальных изменений исследуемых полей. Точный прогноз места, времени и силы землетрясений возможен только при регистрации пространственно-временной картины аномальных изменений исследуемых полей. Для этого аномальные изменения исследуемых полей – предвестники – должны быть зарегистрированы комплексом геолого-геофизических полей, задействованных на исследуемой территории.

Пространственно-временную картину предвестников можно получить при организации исследований комплексом геолого-геофизических методов на большой, потенциально сейсмически опасной территории. Исследования должны проводиться длительное время. Тогда будут охвачены периоды проявления долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных предвестников. К сожалению, организация подобных работ исключительно дорогая и трудоемкая. Поэтому длительные и площадные комплексные исследования предлагается организовать на территориях с очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы. Такие регионы на территории Узбекистана выделены по данным тектонических и сейсмологических исследований [18, 19].

В литературе много работ, посвященных исследованию только краткосрочных предвестников землетрясений. На наш взгляд, они не корректны и их связь с землетрясениями не всегда однозначна. Землетрясения могут готовиться в течение длительного времени, могут отражаться в виде долгосрочных, среднесрочных и только потом, в краткосрочных предвестниках. Например, анализ данных, приведенных в каталогах предвестников землетрясений, подтверждают наши высказывания [21-23]. Они, конечно, полезны – собрано и систематизировано огромное количество мировых данных. Многие из них не содержат информацию о полном цикле процесса подготовки землетрясений.

По изучению морфологии магнитного поля Земли выполнено огромное количество научных исследований. Выделены периодические и аperiodические типы вариаций, связанные с процессами, начиная от ядра мантии до процессов в земной коре. Выделены суточные, сезонные, годовые и т. д. вариации [23, 24]. Определены пространственно-временные особенности проявления вариаций от места к месту и т. д. Написаны учебники, методические пособия и другие нормативные документы [25, 26].

Рассмотрим состояние исследований вариаций магнитного поля Земли, связанных с землетрясениями и другими процессами эндогенного и экзогенного происхождения.

Как известно, аномальные вариации геомагнитного поля, связанные с землетрясениями (сейсмомагнитный эффект), исследуются, начиная с 18-го столетия [1]. Однако мощный импульс к этим исследованиям дала статья В.П.Орлова [27], посвященная обнаружению локального аномального изменения векового хода на территории Таджикистана. Вскоре исследования аномальных вариаций магнитного поля, связанных с землетрясениями и другими процессами в земной коре, были начаты и на Дальнем Востоке и Казахстане под руководством И.М.Пудовкина. Аналогичные исследования последовали на полигонах Карпат, Кавказа, Средней Азии и в ряде других регионов.

К настоящему времени наиболее перспективные методы выявления предвестников землетрясений – магнитометрические и геодезические способы. В Узбекистане мониторинг вариаций магнитного поля осуществляется с 1968 г. Созданы Ташкентский, Ферганский, Кызылкумский геодинимические полигоны. Организована обширная сеть стационарных магнитометрических наблюдений. В отдельные годы их количество доходило до 37. Получены уникальные результаты. В последние годы силами Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС и Института сейсмологии АН РУз сеть повторных маршрутных и стационарных наблюдений геомагнитного поля восстанавливается. Думается, в ближайшие годы они начнут давать реальные результаты.

К большому сожалению, один из самых надежных и перспективных методов прогнозирования землетрясений – геодезический метод мониторинга современных движений земной коры в Узбекистане не получил широкого развития (находится в исключительно низком состоянии).

Исходя из опыта японских исследователей по изучению современных движений земной коры и наших магнитометрических исследований методом повторных маршрутных съемок, крайне целесообразно организовать в республике космогеодезические работы методом повторных маршрутных съемок. Наиболее перспективно проведение повторных съемок в районах основных сейсмогенных зон, которые отмечены как территории с высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы. По нашему мнению, съемки нужно организовать в пределах Каржантауского, Северо-Ферганского, Южно-Ферганского и в продолжении Гиссаро-Коокшальского разлома, проходящего через эпицентры Каратагского 1907 г. и Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. с магнитудой $M=7,2$ и $7,3$. При этом желательно совмещать пункты магнитных и геодезических измерений методом повторных маршрутных съемок. Измерения на них необходимо будет проводить одновременно обоими методами и длительное время.

Расстояние между пунктами наблюдений должно составить в среднем 5-10 км. С помощью повторных магнитных и геодезических измерений можно выделить в выявленных изменениях долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные предвестники сильных землетрясений.

Выводы. Систематизированы и обобщены многолетние данные магнитометрических исследований на геодинамических полигонах Узбекистана методами стационарных, повторных маршрутных и площадных съемок. Выявлены различные по природе локальные аномальные изменения геомагнитного поля.

Анализировано современное состояние геомагнитных и геодезических исследований прогнозирования землетрясений, а также предложены пути улучшения исследований по проблеме прогнозирования сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kelin Wang, Qi-Fu Chen, Shihong, Shihong Sun, Andong Wang.* Predicting the 1975 Haicheng Earthquake // Bulletin of the Seismological Society of America, 2006. - Vol. 96. - N 3. - P. 757-795.
2. *Малянов Г.А., Уломов В.И., Абдуллабеков К.Н., Шапиро В.А. и др.* Аномальные вариации геомагнитного поля в Восточной Фергане – предвестник Алайского землетрясения 2 ноября 1978 года // ДАН СССР. - 1979. - Т. 246. - № 2. - С. 294-297.
3. *Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х.* Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. - Т.: Фан, 1975. - 128 с.
4. *Abdullabekov K.N.* Electromagnetic phenomena in the earth's Crust A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1991. -169 p.
5. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. - Т.: «Институт ГИДРОИНГЕО», 2002. - 132 с.
6. *Кузнецова В.Г.* Сравнение геомагнитных вариаций, зарегистрированных в ряде пунктов Закарпатья // Геомагнетизм и аэрономия. - 1972. - Т. 12. - № 5. - С. 956-957.
7. *Шапиро В.А.* Локальные аномалии векового хода геомагнитного поля и проблема предсказания землетрясений // Поиски предвестников землетрясений. - Т.: Фан, 1976. - С. 200-207.
8. *Барсуков О.М., Сквородкин Ю.П.* Магнитные наблюдения в районе взрыва в Медео // Физика Земли. - 1969. - № 5. - С. 68-69.
9. *Козлов А.Н., Пушков А.Н., Рахматулин Р.Ш., Сквородкин Ю.П.* Магнитные эффекты при взрывах в горных породах // Физика Земли. - 1974. - № 3. - С. 66-71.
10. *Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. и др.* Первые результаты геомагнитных исследований в районе газового месторождения Шуртан // Узб. геол. журн. - 1994. - № 2. - С. 16-18.
11. *Безуглая Л.С., Зубков С.И., Сквородкин Ю.П. и др.* Каталог геомагнитных предвестников землетрясений. - М.: Изд-во АН СССР. Институт физики Земли, 1983. - 140 с.

12. *Максудов С.Х.* Тектономагнетизм и вариации магнитного поля Земли на геодинамических полигонах Узбекистана: Автореф. дисс... докт. физ.-мат. наук. - Т., 1996. - 51 с.
13. *Бабаджанов Т.Л., Басов М.Ю., Гатина Р.М. и др.* Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности // Физика Земли. - 1986. - № 7. - С. 79-90.
14. *Муминов М.Ю., Шапиро В.А., Абдуллабеков К.Н.* Региональная аномалия электропроводности по материалам высокоточной магнитометрии в Узбекистане // Узб. геол. журн. - 1986. - № 4. - С. 20-24.
15. *Добровольский И.П.* Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 240 с.
16. *Абдуллабеков К.Н.* Геофизическая модель процессов подготовки землетрясений // ДАН РУз. - 2008. - № 2. - С. 49-52.
17. *Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И.* Наиважнейшие результаты длительного мониторинга электромагнитных предвестников землетрясений в Узбекистане // XI Казахстанско-Китайский междунар. симпоз. «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии» 26-28. IX. 2023. - Алматы. 2023. - С. 254-259.
18. *Ибрагимов Р.Н.* Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня. - Т.: Фан, 1978. - 144 с.
19. *Артиков Т.У., Фадина Р.П., Ибрагимов Р.С.* Сейсмический режим и проблемы сейсмического районирования // Проблемы инженерной геологии и оценки сейсмической опасности. - Т., 2000. - С. 153-164.
20. *Зубков С.И., Соловьева Р.П.* Каталог сейсмических предвестников землетрясений. - М.: Изд-во АН СССР, Институт физики Земли, 1986. - 269 с.
21. *Никифорова Н.А.* Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений. - М.: Институт физики Земли АН СССР, 1991. - 126 с.
22. *Алимова В.А., Зубков С.И.* Каталог предвестников землетрясений. Гидрогеодинамические предвестники. - М.: Институт физики Земли, 1983. - 140 с.
23. *Алимова В.А.* Каталог предвестников землетрясений: гравитационные предвестники. - М.: Наука, 1988. - 57 с.
24. *Maksudov S.Kh., Abdullabekov K.N., Tuichiev A.I., Yusupov V.R.* Geomagnetic Field Variations Caused by the Processes Occurring at Different Depths in the Earth's Crust and Upper Mantle // Izvestiya, physics of the solid earth. - 2021. - Vol. 57. - № 3. - P. 295-308.
25. *Головков В.П., Иванов Н.А., Пудовкин И.М. и др.* Инструкция по поискам и изучению аномалий векового хода геомагнитного поля. - М.: ИЗМИРАН, 1977. - 28 с.
26. *Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И.* Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом. - Т.: Изд-во АН РУз, 2019. - 16 с.
27. *Орлов В.П.* Магнитные аномалии векового хода в Средней Азии // Известия АН СССР. Сер. Геофиз. 1958. - № 10.

O'zbekistonda zilzilalarni oldindan aytish muammosi bo'yicha o'tkazilgan ko'p yillik ilmiy tadqiqotlarning tahlili va kelajakdagi istiqbollari

K.N. Abdullabekov, S.X. Maqsudov, V.R. Yusupov

Annotatsiya. Maqolada statsionar, takroriy marshrut va hududiy tadqiqotlar yordamida O'zbekistondagi geodinamik maydonlarda o'tkazilgan magnitometrik tadqiqotlarning uzoq muddatli ma'lumotlarini tahlil qilish va umumlashtirish natijalari keltirilgan. Unda O'zbekiston va bir qator xorijiy mamlakatlarda olingan deformometrik va boshqa tadqiqotlarning tahliliy ma'lumotlari ham mavjud. O'zbekistonda zilzilalarni prognoz qilish muammosi bo'yicha olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar holati va ularni rivojlantirishning keyingi yo'llari bayon etilgan.

Kalit so'zlar: zilzila darakchilari, magnituda, magnit maydon, zilzila prognozi.

Analysis of the results of long-term scientific research on the problem of earthquake forecasting in Uzbekistan and their prospects

K.N. Abdullabekov, S.Kh. Maksudov, V.R. Yusupov

Annotation. The article presents the results of analysis and generalization of long-term data from magnetometric studies at geodynamic sites in Uzbekistan using stationary, repeated route and area surveys. It also contains analysis data from deformometric and other studies obtained in Uzbekistan and a number of foreign countries. The state of scientific research on the problem of predicting earthquakes in Uzbekistan and further ways of their development are described.

Key words: earthquake precursor, magnitude, magnetic field, earthquake prediction.

УДК 550.34

О ВЫДЕЛЕНИИ ПОЛЕЗНОГО (ПРОГНОЗНОГО) СИГНАЛА В РЕЗУЛЬТАТАХ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ПОИСКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Т.Л. Ибрагимова

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

tam.anay@yahoo.com

Аннотация. На примере многолетних рядов изменения гидрогеохимических параметров подземных вод продемонстрирован формализованный подход к выделению аномальных фрагментов временного ряда и исследованию их взаимосвязи с сейсмичностью. Статистическая обработка включает в себя: восполнение пропусков временного ряда; разложение ряда на трендовую, сезонную и остаточную составляющие; отбор сейсмологического материала для последующего сопоставления аномальных фрагментов временного ряда с моментами землетрясений; оценка информативности выявляемых связей. Продемонстрировано использование предложенной методики для анализа нескольких временных рядов гидрогеохимических наблюдений на станциях Шурчи и Хаватаг.

Ключевые слова: гидрогеохимические предвестники, прогноз землетрясений, прогнозный сигнал, аномалия, доверительный интервал, информативность.

Введение. Исследованию особенностей проявления гидрогеохимических предвестников перед сильными землетрясениями, произошедшими в зонах активных структур земной коры, посвящен ряд работ [Гидрогеохимические особенности..., 1977; Азизов и др., 2004; Саломов, 2008; Ибрагимова, 2013; Гордеев, Рябинин, 2016; Семенов и др., 2020; Османова М.М., Алиева А.В., 2023; Pashayan et al., 2022 и др.]. В них, как правило, анализируются данные гидрогеохимического мониторинга, одновременно наблюдаемые как на одной скважине, так и в разных точках пространства. Визуальный анализ многомерных временных рядов встречает на своем пути ряд трудностей. Обычно выделяются только особенности низкочастотного и плавного поведения, причем в случае, если они не теряются на фоне помех. Формализовать визуальные особенности графиков также очень сложно, поскольку их восприятие весьма субъективно, и то, что для одного исследователя кажется аномалией, другим воспринимается как фон [Любушин, 2007]. Приведем показательный в этом смысле пример. Он касается поведения гидрогеохимических параметров перед Кайракумским землетрясением 1985 г. с магнитудой $M = 5,9$, возникшем в пределах Северо-Ферганской сейсмоактивной зоны. В работе [Султанходжаев и др., 1987] авторы, анализируя особенности проявления аномалий углекислого газа в подземных водах перед отдельными сильными землетрясениями (рис. 1), приходят к выводу, что «по скважинам Хаватаг, Чимион, Ходжаабад и Чартак за 5-6 месяцев до землетрясения начался рост концентрации углекислого газа, чего не наблюдается на скв. Луначарское», и далее: «очаг Кайракумского землетрясения расположен в блоке, ограниченном с юга зоной Южно-Ферганских глубинных разломов. Схожесть проявления формы аномалии углекислого газа в скважинах Хаватаг, Чимион, Ходжаабад и Чартак, видимо, объясняется приуроченностью их к вышеуказанным зонам. Сква. Луначарское расположена вне этих зон, поэтому вероятно, предвестник контрастно не обнаруживается».

Вместе с тем, детальный анализ поведения CO_2 на скважине Луначарское показывает, что непосредственно перед Кайракумским землетрясением наблюдалось повышение параметра CO_2 , качественно аналогичное тому, что было отмечено на других станциях. Аномалия может быть легко обнаружена, если иначе провести линию среднего, опираясь не на локальный фрагмент временного ряда непосредственно перед землетрясением, а за многолетний период наблюдений.

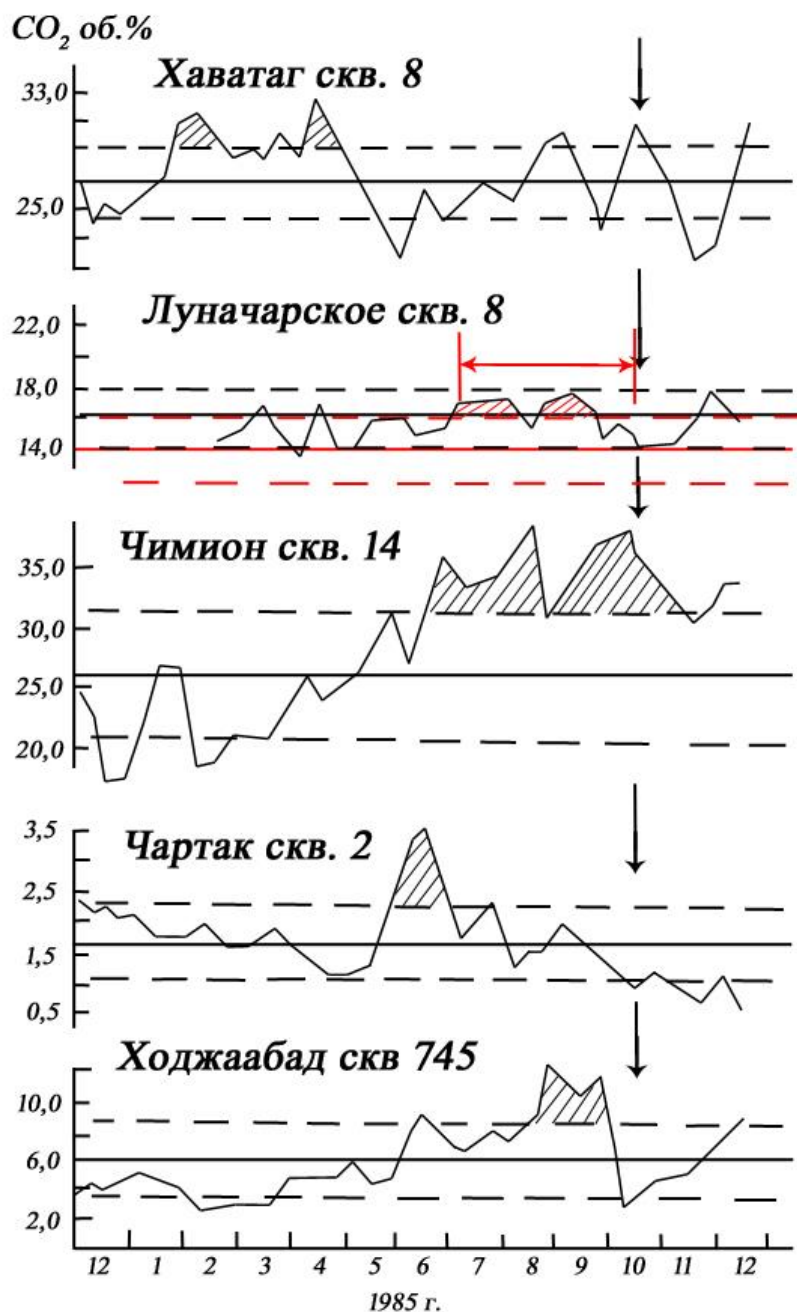


Рис. 1. Вариации значений углекислого газа перед Кайракумским землетрясением
[Султанходжаев и др., 1987] с дополнением автора.

Fig. 1. Variations in carbon dioxide values before the Kairakum earthquake
[Sultankhojaev et al., 1987] with the author's addition.

Еще один пример – газохимические эффекты Назарбекского землетрясения на скважине Луначарское (рис. 2) [Прогноз сейсмической..., 1994]. В тоже время в [Гидрогеосейсмологические предвестники..., 1983] для этой скважины приведены совершенно другие средние значения, которые, естественно, меняют всю картину. Так, среднее содержание Eh составляет 183 (мв); H_2 – 6 ($n \cdot 10^{-4}$ об.%); CO_2 – 13,9 (об.%); He – 0,66 (об.%) и, если ориентироваться на эти многолетние средние значения, то никаких аномальных изменений нет.

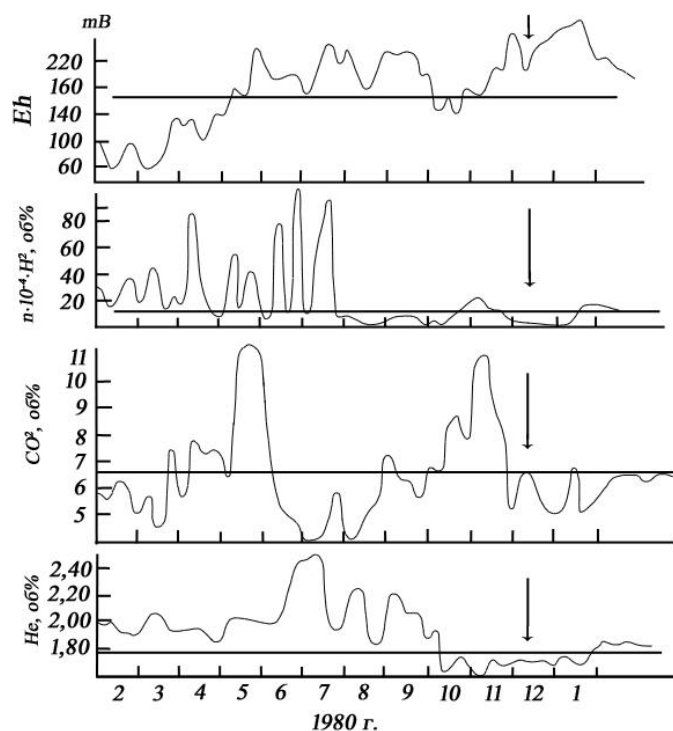


Рис. 2. Газохимические эффекты Назарбекского землетрясения на скважине Луначарское [Прогноз сейсмической..., 1994].
Fig.2. Gas-chemical effects of the Nazarbek earthquake at the Lunacharskoye well [Seismic forecast..., 1994].

Очень интересная попытка формализации, а именно морфологической типизации гидрогеохимических эффектов, была предпринята в [Рябинин, Хаткевич, 2009] по материалам Камчатки. Все многообразие гидрогеохимических эффектов, наблюдавшихся в режиме подземных вод перед наиболее сильными землетрясениями Камчатки, авторам удалось свести к ограниченному количеству морфологических типов. При этом наиболее надежными прогнозными признаками сильного сейсмического события являются либо медленное бухтообразное уменьшение, либо быстрое импульсное увеличение концентрации растворенного в воде вещества и газа. Однако, та последовательность, с которой проявляются гидрогеохимические эффекты разного морфологического типа, как в одной точке наблюдения, так и в разных пунктах, не обнаруживает никаких, по крайней мере, явных закономерностей с пространственно-энергетическими характеристиками землетрясений. К примеру, в воде одной и той же скважины, в одних случаях, перед землетрясениями может наблюдаться бухтообразное снижение концентрации гидрогеохимических показателей, в других случаях – ее импульсное или скачкообразное увеличение. В пространственно-разнесенных пунктах перед одним и тем же сейсмическим событием также могут наблюдаться гидрогеохимические эффекты разного морфологического типа. Такое «морфологическое непостоянство» достаточно трудно объяснить. Если принимать наиболее распространенную концепцию, согласно которой на стадии подготовки землетрясения происходит изменение напряженно-деформированного состояния горных пород, что, в свою очередь, может приводить к изменению условий смешивания контрастных по химическому и газовому составу подземных вод [Барсуков и др., 1985; Киссин, 1979; Копылова, 2006], то, вероятно, следует ожидать однонаправленных изменений, по крайней мере, в вариациях одних и тех же гидрогеохимических показателей. Такие эффекты действительно имеют место и идентифицируются как явление коллективного поведения гидрогеохимических показателей в пространственно-разнесенных пунктах наблюдения [Любушин и др., 1996; Любушин и др., 1997; Хаткевич, Рябинин, 2000]. Однако подобного рода явления отмечаются далеко не всегда и не на всех наблюдательных пунктах, о чем и свидетельствуют результаты морфологического анализа. Исходя из этого, авторы делают вывод, с которым нельзя не согласиться, что помимо общего

механизма, предполагающего изменение условий смешивания контрастных по химическому и газовому составу подземных вод, необходимо рассматривать другие механизмы, отвечающие за массоперенос в подземной гидросфере, имеющие более локальный пространственно-временной характер. Существует точка зрения, что новая «структура» всегда является результатом неустойчивости и возникает из флуктуаций [Пригожин, 1960; Николис, Пригожин, 1979]. В точке образования новой структуры флуктуации растут, тогда как в обычных условиях флуктуация вызывает реакцию системы, которая возвращает ее в невозмущенное состояние. Условие затухания внутренних флуктуаций становится условием устойчивости данного процесса. Увеличение радиуса корреляции флуктуаций в окрестности точки бифуркации (катастрофы) указывает на тенденцию к установлению согласованности во всем объеме системы, которая тем самым готовится к коллективному переходу в новое состояние [Николис, Пригожин, 1990]. Например, очаг землетрясения представляет генератор импульсов возрастающей частоты и периодичности. Наблюдательная геохимическая система является резонатором с устойчивым собственным спектром колебаний. Собственные колебания системы обусловлены автоколебательными процессами фазового перехода: вскипанием растворенных в воде газов, происходящим в стволе скважины при достижении раствором линии вскипания; колебательным механизмом процессов адсорбции-десорбции газов на стенках скважины и в ближайшем около скважинном пространстве. Механизм автоколебательных реакций может быть различным, но в его основе лежат закономерности образования упорядоченных структур в результате нелинейных кинетических реакций в открытых неравновесных системах [Барсуков и др., 1992]. Возникновение аномалии – прогнозного сигнала связано с эффектом резонанса между генератором и наблюдательной системой при прохождении генератором диапазона собственных частот последней. В принципе, задача состоит в необходимости описать развитие неустойчивостей геохимических процессов, обусловленных возникновением хаотических пульсаций, с их последующей стабилизацией за счет баланса между диссипативными расходами и поступлением энергии от источников неравновесности. Объект анализа – это многомерные временные ряды, скалярными компонентами которых являются результаты измерения физически разнородных гидрогеохимических величин в пространственно-разнесенных пунктах сети мониторинга, расположенных в зонах активных структур земной коры, с целью поиска предвестников сильных землетрясений.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ.

Предварительная статистическая обработка материала гидрогеохимических наблюдений

Проведенный ранее анализ СВАН-диаграмм гидрогеохимических параметров подземных вод Ташкентского геодинамического полигона [Гидрогеосейсмологические предвестники..., 1983] показал наибольшую эффективность осреднения данных с периодом от 30 дней и более. Поэтому предметом исследования стали среднемесячные значения гидрогеохимических параметров. Естественно, что многолетние временные ряды содержали пропуски. Считалось, что определение среднемесячного значения для данного месяца возможно, если в этом месяце было произведено не менее 14 измерений, в противном случае данному месяцу придавалось среднемесячное значение, определенное за все рассматриваемые годы. Наряду со средними значениями анализировались временные ряды их дисперсий. Привлечение к анализу вариаций дисперсий связано с тем, что последние характеризуют степень неравновесности гидротермальной системы и, как показывает опыт [Барсуков и др., 1992; Ибрагимов, Ибрагимова, 2014; Ибрагимова, 2015], являются весьма информативными.

Временной ряд среднемесячных значений каждого гидрогеохимического параметра раскладывался на три компоненты: тренд, сезонную волну и случайную составляющую, получаемую вычитанием из временного ряда первых двух компонент.

Трендовая компонента получалась путем линейной фильтрации рядов среднемесячных значений гидрогеохимического параметра низкочастотным фильтром. Сезонная волна находилась методом наложения эпох и последующим медианным осреднением ординат каждого месяца года. Прodelьвалась следующая процедура: собирались все наблюдаемые значения за конкретный месяц (например, январь) в разные годы, среди отобранных значений методом выборочной медианы находилось среднее, которое и полагали равным среднему долговременному значению. Аналогично рассчитывалось среднее долговременное значение дисперсии.

Для примера на рис. 3 такое схематичное разложение показано для временного ряда среднемесячных значений дисперсии параметра Eh на скважине Хаватаг.

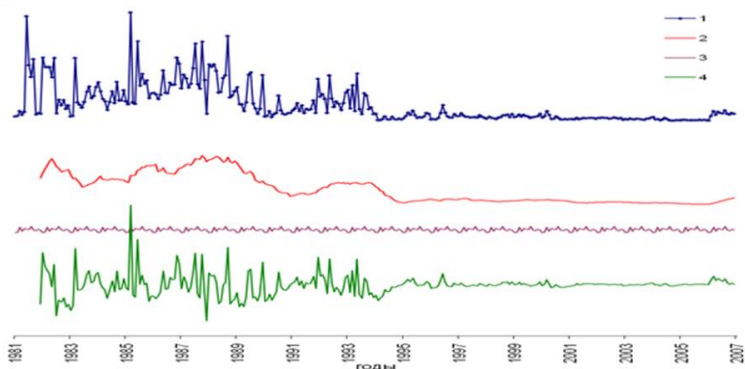


Рис. 3. Структура временного ряда среднемесячных значений дисперсии параметра Eh на скважине Хаватаг: 1 – исходный временной ряд; 2 – долговременный тренд; 3 – сезонная волна; 4 – остаточная кривая, после исключения тренда и сезонных вариаций.

Fig. 3. Structure of the time series of average monthly values of the parameter Eh the dispersion at the Khavatag well: 1 – initial time series; 2 – long-term trend; 3 – seasonal wave; 4 – residual curve, after eliminating the trend and seasonal variations.

Для большинства из рассматриваемых временных рядов амплитуда сезонной компоненты не превосходила 5-10% от годовых колебаний параметра, что связано с тем, что водозабор исследуемых скважин расположен на значительной глубине. Для менее глубоких скважин сезонные вариации были несколько большими.

Отбор сейсмологического материала

Вопрос соотношения интенсивности прогнозного сигнала с показателями последующей сейсмической активности – один из ключевых при сейсмическом прогнозе. В его основе должен лежать принцип инвариантности сейсмического воздействия. Такая инвариантность может относиться как к величине сейсмического эффекта в пункте наблюдения, который могут давать далекие землетрясения больших магнитуд и близкие к наблюдательному пункту землетрясения умеренной величины [Уломов, 1977; Барсуков и др., 1992], так и к принадлежности землетрясений с заданным порогом магнитуды к определенной тектонической структуре [Ибрагимова, 2012]. В нашем исследовании для сопоставления результатов гидрогеохимических наблюдений с сейсмичностью были отобраны землетрясения, условная энергетическая характеристика которых K^l (приведенный энергетический класс) в пункте наблюдения превосходила некоторый порог Π . Эта характеристика является решением обратной задачи для определения энергетического класса. Прямая задача решается для территории Средней Азии по номограмме Раутиан и состоит в определении амплитуды сейсмографа в эпицентре по известной амплитуде в пункте наблюдения и эпицентральному расстоянию. По найденной амплитуде рассчитывается энергетический класс. Обратная задача собственно состоит в оценке амплитуды в пункте наблюдения по известному классу и эпицентральному расстоянию. Согласно обратному решению номограммы Раутиан, приведенный класс $K^l = K - 2,5 \cdot \lg R$, где K – энергетический класс землетрясения, а R – его расстояние от пункта гидрогеохимических наблюдений [Барсуков и др., 1992]. Энергетический класс землетрясения связан с его магнитудой зависимостью $K = 1,8M + 4$ [Rautian et al., 2007].

Анализ остаточной кривой

Анализ остаточной кривой (см. рис. 3 (4)) состоял в выделении аномальных выбросов и построении на их основе функции тревог. Аномальным считался выход остаточной кривой за доверительный интервал, ширина которого в единицах среднеквадратичных изменений σ для различных параметров была различной и определялась, исходя из наилучшего соответствия остаточной кривой с сопоставляемой сейсмичностью. В этом случае, с месяца, следующего за тем, в котором обнаружен аномальный выброс, объявлялась тревога, длительность которой для различных изучаемых параметров была также разной [Ibragimov et al., 2001].

Полученная на основе аномальных выбросов функция тревог сопоставлялась с моментами сильных землетрясений региона [Ибрагимов, Ибрагимова, 2016]. Выбор таких землетрясений

осуществлялся, исходя из того, что в пункте наблюдения интенсивность сейсмического воздействия K^I от землетрясения с энергетическим классом K , удаленного от пункта гидрогеохимических наблюдений на расстояние R , превосходила заданный порог Π ($K^I \geq \Pi$) [Барсуков и др., 1992]. Величина порога для разных компонент и различных прогностических пунктов может быть различной. Значение порога $K^I \geq 7,5$ соответствует землетрясениям, отдаленным от пункта наблюдения на расстояния, не превышающие 20-ти кратных размеров длин их очагов [Уломов, 1977]. Карта эпицентров этих землетрясений для прогностического пункта Хаватаг приведена на рис. 4.

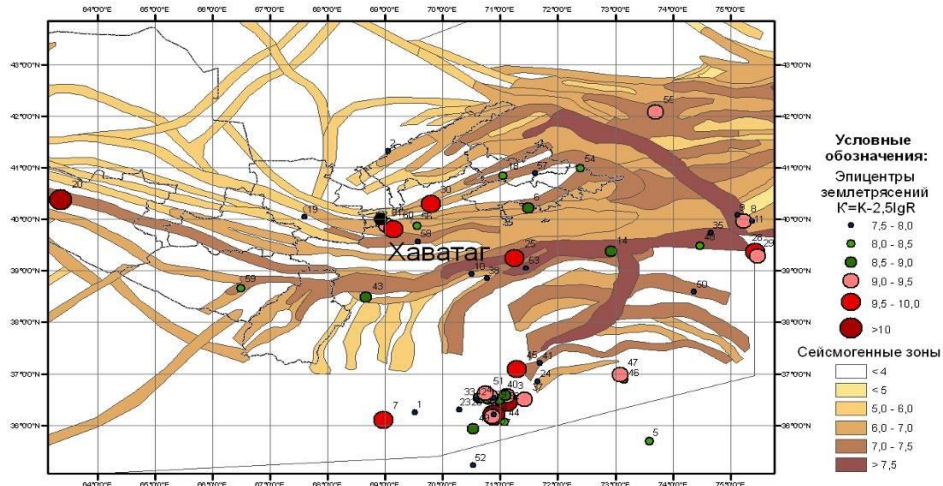


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений с $KI \geq 7,5$ для скважины Хаватаг.
 Fig. 4. Map of earthquake epicenters with $KI \geq 7,5$ for the Khavatag well.

На рис. 5, а показано сопоставление остаточной кривой дисперсии параметра Eh с моментами землетрясений с $K^I \geq 9,0$ всего региона. Как это видно из рисунка, в период сейсмической активизации 1981-1993 гг. вариации параметра Eh весьма большие, а в спокойный период – незначительные. Функция тревог остаточной кривой дисперсии параметра Eh приведена на рис. 5, б.

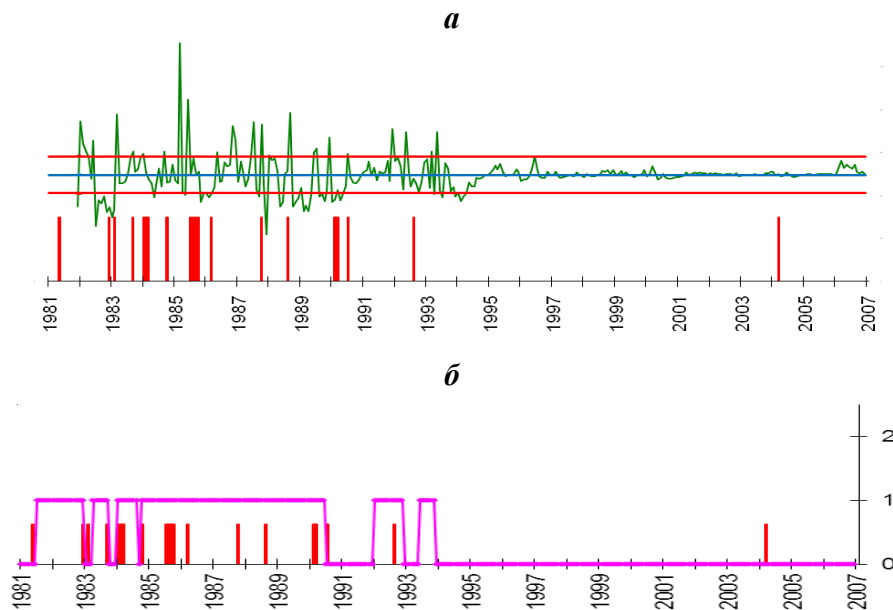


Рис. 5. Остаточная кривая дисперсии параметра Eh (а) и функция тревог (б) в сопоставлении с моментами землетрясений с $KI \geq 9$.
 Fig. 5. Residual dispersion curve of the parameter Eh (а) and alarm function (б) in comparison with the moments of earthquakes with $KI \geq 9$.

Важным вопросом в стратегии прогнозирования землетрясений является доказательство закономерности связи между объявляемыми тревогами и моментами прогнозируемых землетрясений. Предположим, что тревоги не связаны с землетрясениями и объявляются случайно, а сами землетрясения образуют Пуассоновский поток. В этом случае можно вычислить, какова вероятность предсказания m землетрясений при доле времени тревог τ . Воспользуемся известным свойством Пуассоновского потока: если на отрезке длиной T произошло n землетрясений, то моменты этих землетрясений статистически независимы.

Для оценки статистической значимости $\Phi(\xi)$ взаимосвязи между объявляемыми тревогами и моментами землетрясений и оценки информативности q исследуемого гидрогеохимического параметра использовалась методика В.Ф.Писаренко [Прогноз землетрясений, 1983-1984]. Мы сопоставляли два следующих параметра: m/n – отношение числа землетрясений, попадающих в интервалы тревог (m), к общему числу землетрясений (n) и τ/T – отношение времени тревог (τ) к общему периоду наблюдений (T). Параметр m/n показывает долю землетрясений, реально попавших в интервалы тревог, а параметр τ/T характеризует долю землетрясений при случайном попадании в выделенные интервалы. В случае, если доля времени тревог превышала долю землетрясений, попавших интервалы тревог ($\tau/T > m/n$), считалось, что связи нет, в случае же, если доля числа землетрясений, попавших в интервалы тревог, превосходила долю времени тревог ($m/n > \tau/T$), оценивалась статистическая значимость $\Phi(\xi)$ различия этих чисел и степень информативности q выявленных связей по формулам:

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-t^2/2} dt, \quad \text{где } \xi = \frac{m/n - \tau/T}{\left[\frac{1}{n} \tau/T(1 - \tau/T) \right]^{1/2}};$$

$$q = \frac{1}{4} \text{Ln} \left[\delta \frac{m/n(1 - \tau/T)}{\tau/T(1 - m/n)} \right], \quad \text{где } \delta = \frac{1 - \mu}{1 + 1/n}, \quad \mu = \frac{1 - m/n}{1/2 + \sqrt{1/4 + m(1 - m/n)}}.$$

Мы рассматривали три градации:

- $\Phi(\xi) < 0,7$ – связь отсутствует;
- $0,7 < \Phi(\xi) < 0,9$ – связь недостаточно значимая;
- $\Phi(\xi) > 0,9$ – связь значимая.

Оценка информативности выявленной связи производилась, исходя из следующих практических наблюдений [Прогноз землетрясений, 1983-1984]: при $q > 0,5$ – связь считается информативной; при $0,3 < q < 0,5$ – весьма полезной; при $0,1 < q < 0,3$ – полезной; при $q < 0,1$ – неинформативной.

Поскольку в зависимости от ширины доверительного интервала (в единицах σ), длительности единичной тревоги (τ) и минимального порогового уровня землетрясений (K^l), с которыми сопоставляются аномалии, оценки информативности сильно варьируют, решалась оптимизационная задача. Для каждого прогностического параметра осуществлялся подбор таких порогов, при которых значение функционала q , характеризующего качество прогностической информации, было бы наибольшим.

На рис. 6 показано, как для дисперсии параметра Eh на станции Хаватаг меняется информативность временного ряда при изменении порогов выделения аномалий: ширины доверительного интервала (от 1σ до 3σ), длительности единичной тревоги τ (от 1-го до 7-ми месяцев), минимального порогового уровня условной энергетической характеристики прогнозируемых землетрясений (от $K^l = 7$ до $K^l = 9$). На нем четко видно, что дисперсия параметра Eh наилучшим образом реагирует на землетрясения с $K^l = 9$, что соответствует землетрясениям, отстоящим от наблюдательного пункта на расстояния, не превышающие 10-ти кратных размеров длин их очагов. Длительность проявления аномалии, при которой информативность наибольшая, составляет 6-7 месяцев, а полезный сигнал должен выделяться на уровне $1,7-2\sigma$. Высокое значение предвестникового функционала q при такой стратегии позволяют использовать изучаемый параметр при практическом прогнозе.

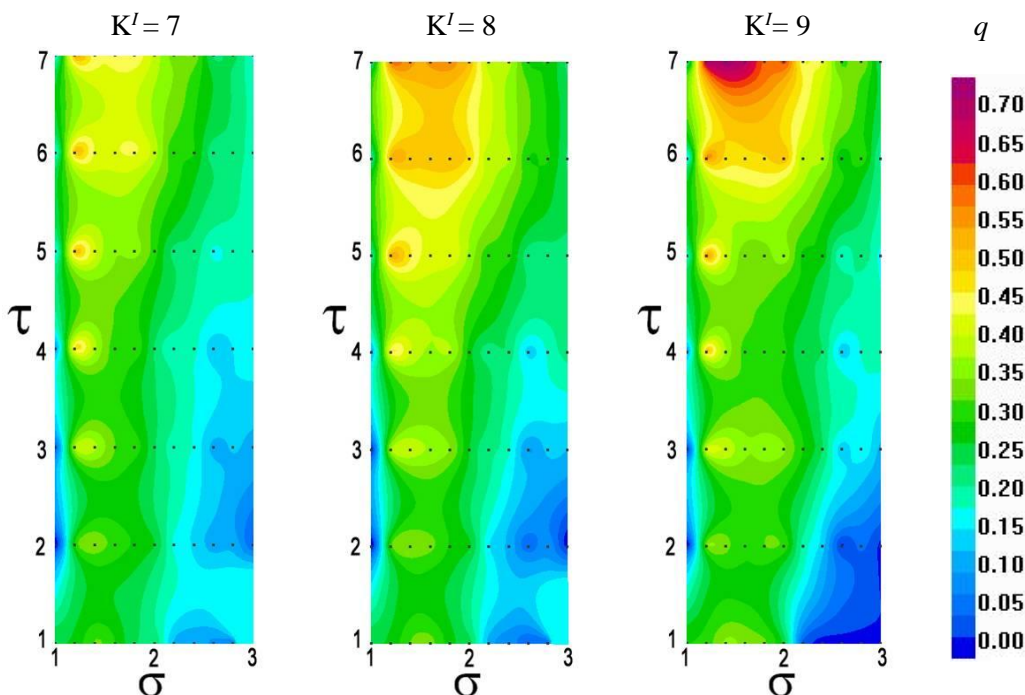


Рис. 6. Зависимость величины предвестникового функционала q от порога выделения полезного сигнала σ и от длительности единичной тревоги τ при различных пороговых значениях прогнозируемых землетрясений K' .

Fig. 6. Dependence of the precursor functional q value on the threshold for isolating the useful signal σ and on the duration of a single alarm τ for various threshold values of predicted earthquakes K' .

Сопоставляя долговременный тренд параметра E_h на станции Хаватаг (кривая 2 на рис. 3) с выделенной сейсмической энергией в пределах локального участка Северо-Ферганской сейсмоактивной зоны, на котором расположена скважина, можно отметить синфазность их временных вариаций. Это, на наш взгляд, также служит весомым доказательством связи вариаций гидрогеохимических параметров подземных вод с геодинамическими процессами (рис. 7).

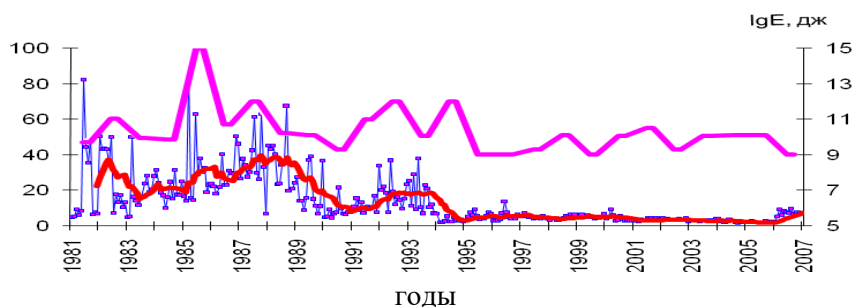


Рис. 7. Дисперсия параметра E_h (нижний график) на скважине Хаватаг и логарифм выделенной энергии lgE (верхний график) для западной части Северо-Ферганской зоны.

Fig. 7. Dispersion of the parameter E_h (lower graph) at the Khavatag well and the logarithm of the released energy lgE (upper graph) for the western part of the North Fergana zone.

Результаты и их обсуждение. В качестве примера приведем опыт изучения информативности гидрогеосейсмологических параметров на Шурчинской комплексной прогностической станции (КПС) (Юго-Западный Узбекистан) [Ибрагимова и др., 2010]. Для этой прогностической станции, наряду со средними значениями гидрогеохимических показателей подземных вод, анализировались их дисперсии. Кроме того, изучение информативности различных показателей проводилось с учетом глубин произошедших землетрясений (таблица).

Максимальные значения информативности для комплекса гидрогеосейсмологических параметров по Шурчинской КПС
Maximum information content values for a complex of hydrogeoseismological parameters for the Shurchi IFS

Параметр	Значение информативности в зависимости от выборки землетрясений			Характеристика информативности параметра в зависимости от выборки землетрясений		
	все	коровые	промежуточные	все	коровые	промежуточные
B_2O_3 (сред.)	0,070	0,030	0,250	Неинформативный	Неинформативный	Полезный
B_2O_3 (дисп.)	0,107	0,015	0,417	Полезный	Неинформативный	Весьма полезный
Eh (сред.)	0,184	0,166	0,010	Полезный	Полезный	Неинформативный
Eh (дисп.)	0,130	0,328	0,187	Полезный	Весьма полезный	Полезный
He (сред.)	0,347	0,105	0,569	Весьма полезный	Полезный	Информативный
He (дисп.)	0,352	0,593	0,280	Весьма полезный	Информативный	Полезный
Cl (сред.)	0,281	0,310	0,326	Полезный	Весьма полезный	Весьма полезный
Cl (дисп.)	0,301	0,230	0,112	Весьма полезный	Полезный	Полезный
pH (сред.)	0,021	0,284	0,134	Неинформативный	Полезный	Полезный
pH (дисп.)	0,424	0,278	0,333	Весьма полезный	Полезный	Весьма полезный
CO_2 (сред.)	0,367	0,010	0,365	Весьма полезный	Неинформативный	Весьма полезный
CO_2 (дисп.)	0,466	0,028	0,386	Весьма полезный	Неинформативный	Весьма полезный
CO_2 водор. (сред.)	0,274	0,103	0,369	Полезный	Полезный	Весьма полезный
CO_2 водор. (дисп.)	0,223	0,371	0,209	Полезный	Весьма полезный	Полезный

Как видно из таблицы, среди рассмотренного комплекса гидрогеохимических параметров на станции Шурчи удалось выявить ряд информативных, весьма полезных и полезных предвестников.

Анализ показал, что для всей выборки землетрясений без разделения их по глубинам весьма полезными оказались изменения среднего значения He и его дисперсии, среднего значения CO_2 и его дисперсии, а также дисперсии pH и Cl . На рис. 8 и 9 приведены вариации дисперсии параметра CO_2 и функция тревог данного параметра в сопоставлении с землетрясениями с $K^I \geq 9,0$. Здесь и далее в качестве доверительного интервала использовался доверительный интервал сезонных изменений.

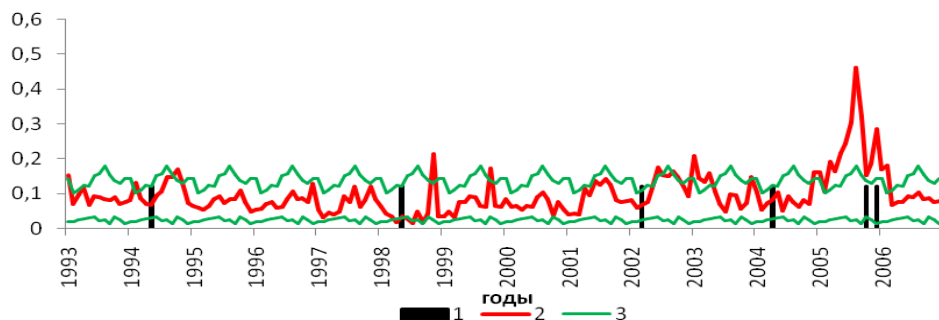
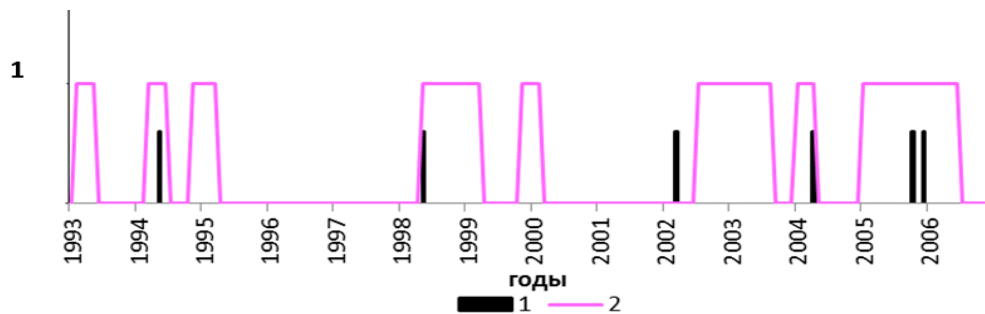


Рис. 8. Временные изменения дисперсии параметра CO_2 на скважине № 5 станции Шурчи в сопоставлении с моментами землетрясений с $K^I \geq 9,0$: 1 – моменты землетрясений с $K^I \geq 9,0$; 2 – временные изменения дисперсии параметра CO_2 ; 3 – доверительный интервал сезонных изменений дисперсии параметра CO_2 .

Fig. 8. Temporal changes in the dispersion of the CO₂ parameter at well No. 5 of the Shurchi station in comparison with the moments of earthquakes with $K^I \geq 9,0$: 1 – moments of earthquakes with $K^I \geq 9,0$; 2 – temporary changes in the dispersion of the CO₂ parameter; 3 – confidence interval of seasonal changes CO₂ parameter dispersion.



**Рис. 9. Функция тревог для дисперсии параметра CO₂ на скважине № 5 станции Шурчи (2) в сопоставлении с моментами землетрясений с $K^I \geq 9,0$ (1).
Fig. 9. Alarm function for the dispersion of the CO₂ parameter at well No. 5 of the Shurchi station (2) in comparison with the moments of earthquakes with $K^I \geq 9,0$ (1).**

Только для коровых землетрясений информативным признаком являются аномальные изменения во временном ходе среднего значения дисперсии *He*. Кроме того, весьма полезны изменения дисперсии *Eh* и водорастворимого CO₂, а также среднего значения *Cl* (рис. 10, 11).

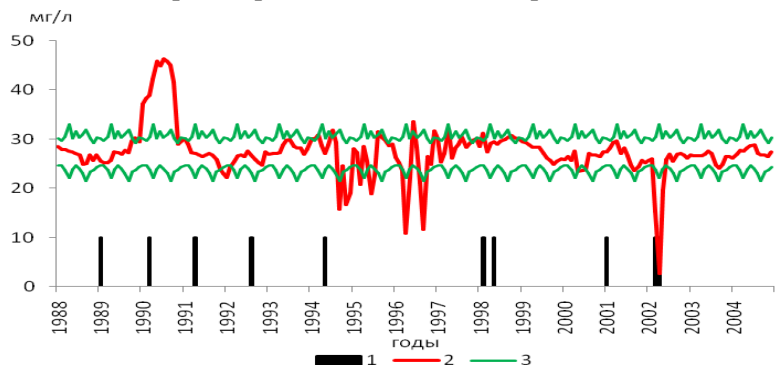


Рис. 10. Временные изменения параметра CI на скважине № 8 станции Шурчи в сопоставлении с моментами коровых землетрясений: 1 – моменты коровых землетрясений; 2 – временные изменения параметра CI; 3 – доверительный интервал сезонных изменений параметра CI.

Fig.10. Temporal changes in the CI parameter at well No. 8 of the Shurchi station in comparison with the moments of crustal earthquakes: 1 – moments of crustal earthquakes; 2 – time changes in the CI parameter; 3 – confidence interval of seasonal changes in CI parameter.

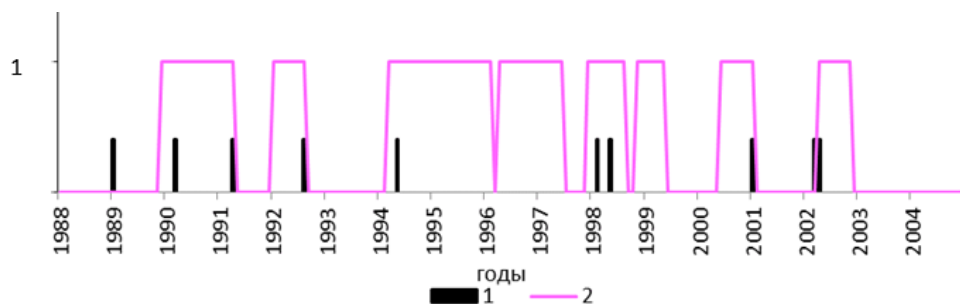


Рис. 11. Функция тревог для параметра CI на скважине № 8 станции Шурчи (2) в сопоставлении с моментами коровых землетрясений (1).

Fig. 11. Alarm function for the CI parameter at well No. 8 of the station Shurchi (2) in comparison with the moments of crustal earthquakes (1).

Для промежуточных землетрясений аномальные изменения во временном ходе среднего долговременного значения дисперсии B_2O_3 , pH , CO_2 – весьма полезный признак, также весьма полезны средние значения He , Cl , CO_2 и водорастворимого CO_2 . Для примера на рис. 12, 13 показаны вариации дисперсии B_2O_3 и функции тревог в сопоставлении с моментами землетрясений.

Следует также отметить, что для ряда гидрогеохимических параметров оказались более информативные не сами средние значения, а их дисперсия, что весьма характерно для неравновесных систем, каковой является исследуемая гидротермальная среда.

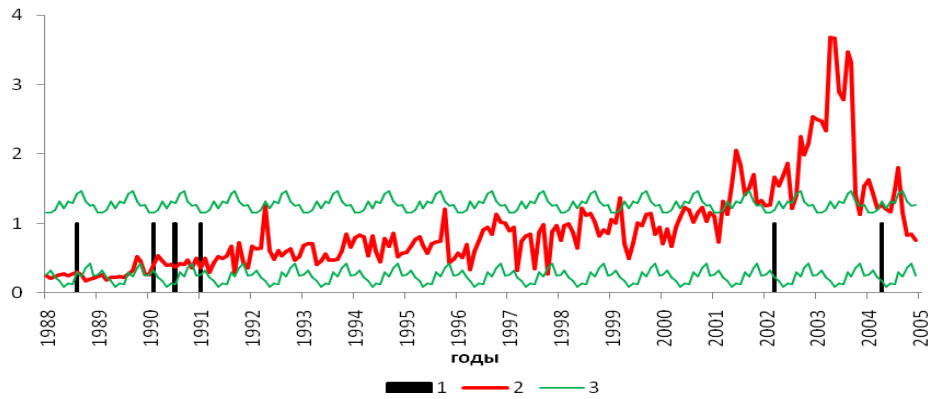


Рис. 12. Временные изменения дисперсии параметра B_2O_3 на скважине № 8 станции Шурчи в сопоставлении с моментами промежуточных землетрясений: 1 – моменты промежуточных землетрясений; 2 – временные изменения дисперсии параметра B_2O_3 ; 3 – доверительный интервал сезонных изменений дисперсии параметра B_2O_3 .

Fig. 12. Temporal changes in the dispersion of the B_2O_3 parameter at well No. 8 of the Shurchi station in comparison with the moments of intermediate earthquakes: 1 – moments of intermediate earthquakes; 2 – time changes in the dispersion of the B_2O_3 parameter; 3 – confidence interval of seasonal changes in the dispersion of the B_2O_3 parameter.

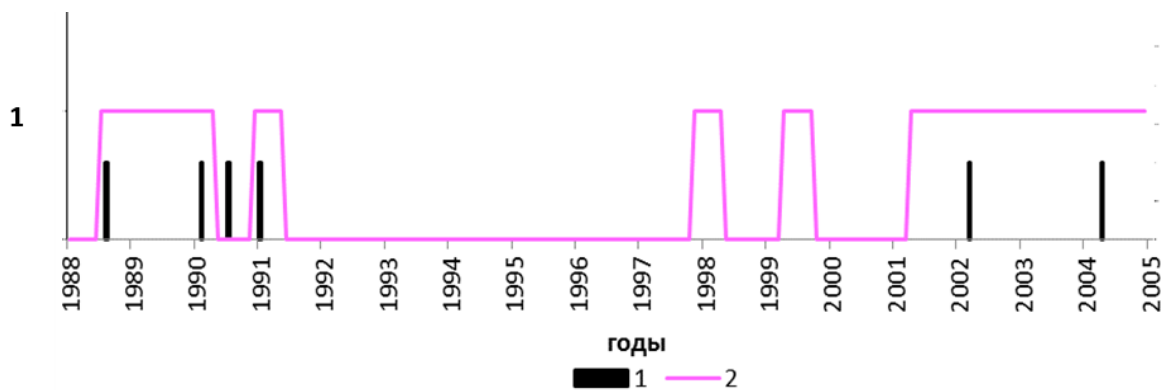


Рис. 13. Функция тревог для дисперсии параметра B_2O_3 на скважине № 8 станции Шурчи (2) в сопоставлении с моментами промежуточных землетрясений (1).
Fig. 13. Alarm function for the dispersion of the B_2O_3 parameter at well No. 8 of the Shurchi station (2) in comparison with the moments of intermediate earthquakes (1).

Несмотря на наличие пропусков целей и ложных тревог для параметров Cl и B_2O_3 соотношение между долей предсказанных землетрясений и их общим числом значительно превышает общую долю времени тревог.

Выводы

Корректный анализ многолетних рядов прогностических наблюдений с целью поиска предвестников землетрясений должен базироваться на статистической обработке временных рядов и включать в себя, по крайней мере, три следующих момента: выделение полезного сигнала на фоне помех экзогенного и техногенного характера, отбор сейсмологического материала, с которым впоследствии сопоставляются аномальные изменения исследуемого параметра, обоснование неслучайности связи между периодами аномальных изменений изучаемого параметра и моментами землетрясений. В статье изложен формализованный подход к выделению полезного (прогнозного) сигнала в гидрогеохимических рядах наблюдений с целью поиска среднесрочных предвестников землетрясений. Предложено решение оптимизационной задачи по поиску индивидуальных особенностей геохимических параметров в зависимости от местоположения наблюдательной геохимической системы в пространстве. Для станции Шурчи изучение информативности различных показателей проводилось с учетом глубин произошедших землетрясений. Анализ показал, что для всей выборки землетрясений без разделения их по глубинам наиболее информативны изменения средних значений Eh , параметра CO_2 и его дисперсии, а также дисперсии параметров pH и Cl . Только для коровых землетрясений информативным признаком являются аномальные изменения дисперсий параметров Eh , He и водорастворимого CO_2 . Для землетрясений с промежуточной глубиной очага весьма полезный признак – аномальные изменения среднего значения и дисперсии параметров B_2O_3 , а также средних значений He и Cl .

ЛИТЕРАТУРА

1. Азизов Г.Ю., Зиган Ф.Г., Закиров Т.З., Султанходжаев А.Н. Закономерности проявления гидрогеосейсмологических предвестников в различных структурно-геологических и сейсмодинамических условиях // Мат-лы междунар. науч. конф. «Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений». - Т.: Фан, 2004. - С. 318-325.
2. Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А., Изумнов В.А., Ибрагимова Т.Л. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений. - М.: Наука, 1992. - 213 с.
3. Барсуков В.Л., Варшал А.В., Гаранин Н.С. и др. Значение гидрогеохимических методов для краткосрочного прогноза землетрясений // Гидрогеохимические предвестники землетрясений. - М.: Наука, 1985. - С. 3-16.
4. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. - Т.: Фан, 1983. - 136 с.
5. Гидрогеохимические особенности некоторых сейсмоактивных зон Средней Азии. - Т.: Фан, 1977. - 168 с.
6. Гордеев Е.И., Рябинин Г.В. О возможности прогноза землетрясений на опыте гидрогеохимических наблюдений на Камчатке // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. - 2016. - № 1. - С. 48-58.
7. Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л. Методические аспекты изучения взаимосвязи вариаций газо-химического состава подземных вод с сейсмичностью // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - Т.: ИС АН Уз, 2014. - № 11. - С. 36-45.
8. Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л. Программа оценки сейсмической опасности территории Узбекистана // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 04041. 28.10.2016.
9. Ибрагимова Т.Л. Комплексная обработка гидрогеосейсмологической информации (на примере Ферганского геодинамического полигона) // Геология и минеральные ресурсы. - 2012. - № 1. - С. 39-44.
10. Ибрагимова Т.Л. Изученность влияния сейсмодинамических условий на особенности проявления гидрогеосейсмологических предвестников // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - 2013. - № 10. - С. 54-60.
11. Ибрагимова Т.Л. Вариации гидрогеосейсмологических параметров подземных вод, связанные с современной геодинамической активностью Северо-Ферганской сейсмоактивной зоны // Геология и минеральные ресурсы. - 2015. - № 5. - С. 52-59.
12. Ибрагимова Т.Л., Артиков М.Т., Азизов Г.Ю. Программа для определения зон сейсмической активизации // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01972. 21.06.2010.
13. Киссин И.Г. Актуальные вопросы гидрогеологических и геохимических исследований для прогноза землетрясений // Геохимия. - 1979. - № 3. - С. 338-344.
14. Копылова Г.Н. Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. - 2006. - Вып. 7. - № 1. - С. 50-66.
15. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. - М.: Наука, 2007. - 228 с.
16. Любушин А.А. (мл.), Копылова Г.Н., Хаткевич Ю.М. Применение многомерного анализа для обработки данных гидрогеологических наблюдений на Петропавловском полигоне (Камчатка) с целью поиска предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. - 1996. - № 1. - С. 79-97.
17. Любушин А.А. (мл.), Копылова Г.Н., Хаткевич Ю.М. Анализ спектральных матриц данных гидрогеосейсмологических наблюдений на Петропавловском геодинамическом полигоне, Камчатка, в сопоставлении с сейсмическим режимом // Физика земли. - 1997. - № 6. - С. 79-90.

18. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. - М.: Мир, 1979. - 512 с.

19. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. - М.: Мир, 1990. - 342 с.

20. Османова М.М., Алиева А.В. Исследование вариаций концентрации гелия в попутном газе самоизливающейся скважины в пункте наблюдения Караман // Тр. Института геологии Дагестанского научного центра РАН. - 2023. - № 4 (95). - С. 96-101. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-95-4-96-101

21. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. - М.: ИЛ, 1960. - 127 с.

22. Прогноз землетрясений / Под ред. М.А.Садовского. - Душанбе-Москва: Дониш, 1983-1984. - № 3. - 216 с.

23. Прогноз сейсмической опасности Узбекистана. Т. 2. // Проблемы прогнозирования землетрясений. - Т.: Фан, 1994. - 308 с.

24. Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М. Гидрогеохимические эффекты, предшествующие сильным землетрясениям Камчатки. Алгоритм идентификации и морфологический анализ // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. - 2009. - Вып. 13. - № 1. - С. 107-122.

25. Саломов Н.Г. О некоторых особенностях долгосрочных и краткосрочных проявлений гидрогеохимических предвестников землетрясений на территории Таджикистана // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. - 2008. - № 5. - С. 28-32.

26. Семенов Р.М., Лопатин М.Н., Чечельницкий В.В. Изучение концентраций растворенных гелия и радона в подземных водах Южного Прибайкалья в связи с

сейсмическими процессами // Геодинамика и тектонофизика. - 2020. - № 11(1). - С. 63-74.

27. Султанходжаев А.Н., Азизов Г.Ю., Арифбаев А.Х., Азимов У.А. Особенности проявления аномалий углекислого газа в подземных водах перед отдельными сильными ($M \geq 6$) землетрясениями // Узб. геол. журн. - 1987. - № 2. - С.14-18.

28. Уломов В.И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информационное сообщение № 186. - Т.: Фан, 1977. - 11 с.

29. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Особенности поведения отдельных показателей химического состава воды в режиме наблюдательных скважин, как индикатор изменения геодинамической обстановки // Мат-лы конф. «Проблемы сейсмичности Дальнего Востока». - Петропавловск-Камчатский, 2000. - С. 136-145.

30. Ibragimov R.S., Sultankhodjaev A.N., Artikov T.U., Bakiev M.Kh., Azizov G.U., Zigan F.G. Searching of optimal correlation of anomalies in prognostic fields // Inland Earthquake. - 2001. - Vol.15. - № 2. - P. 175-187.

31. Pashayan R.A., Karapetyan D.K., Arutyunyan L.V., Tovmasyan K.G., Karamyan R.A. Geophysical monitoring of the geodynamic regime of Central Armenia // Russian Journal of Seismology. - 2022. - 4(1). - P. 41-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.03>

32. Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D. Origins and methodology of the Russian energy K-class system and its relationship to magnitude scales // Seismological Research Letters. - 2007. - 78 (6). - P. 579-590.

On the identification of a useful (prediction) signal as a result of hydrogeochemical observations for the search of earthquake predictors

T.L. Ibragimova

Abstract. Using the example of long-term series of changes in hydrogeochemical parameters of groundwater, a formalized approach to identifying anomalous fragments of a time series and studying their relationship with seismicity is demonstrated. Statistical processing includes: filling in gaps in the time series; decomposition of the series into trend, seasonal and residual components; selection of seismological material for subsequent comparison of anomalous fragments of the time series with the moments of earthquakes; assessment of the information content of the identified connections. The use of the proposed methodology for the analysis of several time series of hydrogeochemical observations at the Shurchi and Khavatag stations is demonstrated.

Key words: hydrogeochemical precursors, earthquake forecast, forecast signal, anomaly, confidence interval, information content.

Zilzilani bashorat qiluvchilarni izlash uchun gidrogeoximiyoviy kuzatuvlar natijasida foydali (bashorlash) signalni anqlash haqida

T.L. Ibragimova

Annotasiya. Er osti suvlarining gidrogeokimyoviy ko'rsatkichlarining uzoq muddatli o'zgarishlar qatori misolida, vaqt seriyasining anomal bo'laklarini aniqlash va ularning seysmiklik bilan aloqasini o'rganishning rasmiylashtirilgan yondashuvi ko'rsatilgan. Statistik ishlov berish quyidagilarni o'z ichiga oladi: vaqt qatoridagi bo'shliqlarni to'ldirish; qatorlarni trend, mavsumiy va qoldiq komponentlarga ajratish; zilzilalar momentlari bilan vaqtli qatorning anomal qismlarini keyingi taqqoslash uchun seysmologik material tanlash; aniqlangan ulanishlarning axborot mazmunini baholash. Sho'rc'hi va Xavatog' stansiyalarida gidrogeokimyoviy kuzatishlarning bir necha vaqt qatorlarini tahlil qilish uchun taklif etilayotgan metodikadan foydalanish ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: gidrogeokimyoviy prekursorlar, zilzila prognozi, prognoz signali, anomalni, ishonch oralig'i, axborot mazmuni.

SEYSMOTЕКТОНІКА VA GEODINAMIKA

УДК 550.343.4

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ И УМЕРЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНОРАНГОВЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ УЗБЕКИСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

У.А. Нурматов, Ю.М. Садиқов, С.С. Хусомиддинов, У.А. Юсупджанова

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

Аннотация. Представлены результаты ранжирования геотектонических структур Восточного, Центрального и Южного Узбекистана. Изучено пространственное распределение сильных землетрясений в пределах разноранговых геодинамических блоков Центральной Азии. Оценена роль разломно-блочного строения земной коры в распределении очагов сильных землетрясений.

Ключевые слова: сейсмичность, геодинамика, блок земной коры, разломы земной коры, сейсмогенная зона, эпицентр землетрясения, тектоническая структура.

Введение. Согласно закону сеймотектоники и разработанной на ее основе концепции сейсмогенных зон, сильные землетрясения возникают не везде и беспорядочно, а в строгом соответствии с особенностями геологической среды и полей тектонических напряжений в зонах активных тектонических разломов в результате резкого смещения по ним геологических структур или блоков земной коры [Губин, 1986; Ибрагимов, 1970, 1978]. Разломы и зоны их динамического влияния – это места разрядки накопленных в блоках земной коры тектонических напряжений и вероятные места формирования и проявления очагов сильных землетрясений. На этой основе выделены основные сейсмогенные зоны, которые составляли геологическую основу карты сейсмического районирования Узбекистана [Абдуллабеков и др., 2002]. Результаты исследований показывают, что в природе пространственного распределения землетрясений одновременно существуют тенденция линейности и дискретности [Головков и др., 1990]. Если тенденция линейности объясняется приуроченности очагов землетрясений к зонам разломов, то дискретность связана с блочным строением земной коры. Установлено, что чем сильнее землетрясения, тем больше расстояния между их очагами [Ананьин, 1977]. Следовательно, сила возможного землетрясения определяется масштабностью как разломных зон, так и геотектонических блоков. Известно, что чем крупнее блок, тем крупнее ограничивающий его разлом, следовательно, выше энергетический потенциал разломной зоны (сейсмогенной зоны). Сеймотектонический анализ предполагает ранжирование сейсмогенных зон по (M_{max}). Поскольку каждый блок в зависимости от масштабного уровня и геодинамического состояния участвует в процессе подготовки и возникновении конкретного землетрясения, энергетические возможности разных отрезков разломных зон могут быть разными.

Цель настоящей статьи – изучение особенностей распределения сильных землетрясений в связи с разломно-блоковым строением земной коры территории Узбекистана.

Результаты исследований. Существуют различные подходы для оценки характерных размеров тектонических структур и их ранжирования [Садовский, 1979; Абдуллабеков, 1989]. Для оценки роли разломно-блокового строения земной коры в проявлении современной сейсмичности произведено ранжирование неотектонических структур с учетом очагов сильных и сильнейших землетрясений [Новый каталог..., 1978; Абдрахматов и др., 2008]. На основе наиболее цитируемых моделей геодинамики Средней Азии в ее пределах выделяются микроплиты, определяющие сеймотектоническую обстановку данного региона. Таковыми оказались Западно-Тянь-Шаньская (ЗТШМП), Восточно-Тянь-Шаньская (ВТШМП), Кызылкумская (ККМП), Казахская (КМП), Каракумо-Таджикская (КТМП), Памирская (ПМП), Таримская (ТМП) микроплиты (рис. 1). Согласно данной схеме, ЗТШМП, где располагается Восточный Узбекистан,

границит с ВТШМП, ККМП, ПМП и КТМП. Совместный анализ карты новейших тектонических движений и схемы активных разломов Восточного Узбекистана позволил выделить в пределах ЗТШМП, если принять данную микроплиту за структуру первого ранга, тектонические блоки 2-го ранга: Чаткало-Кураминский (А), Приташкентский (Б), Ферганский (В), Таласо-Ферганский (Г) и Южно-Тянь-Шаньский (Д).

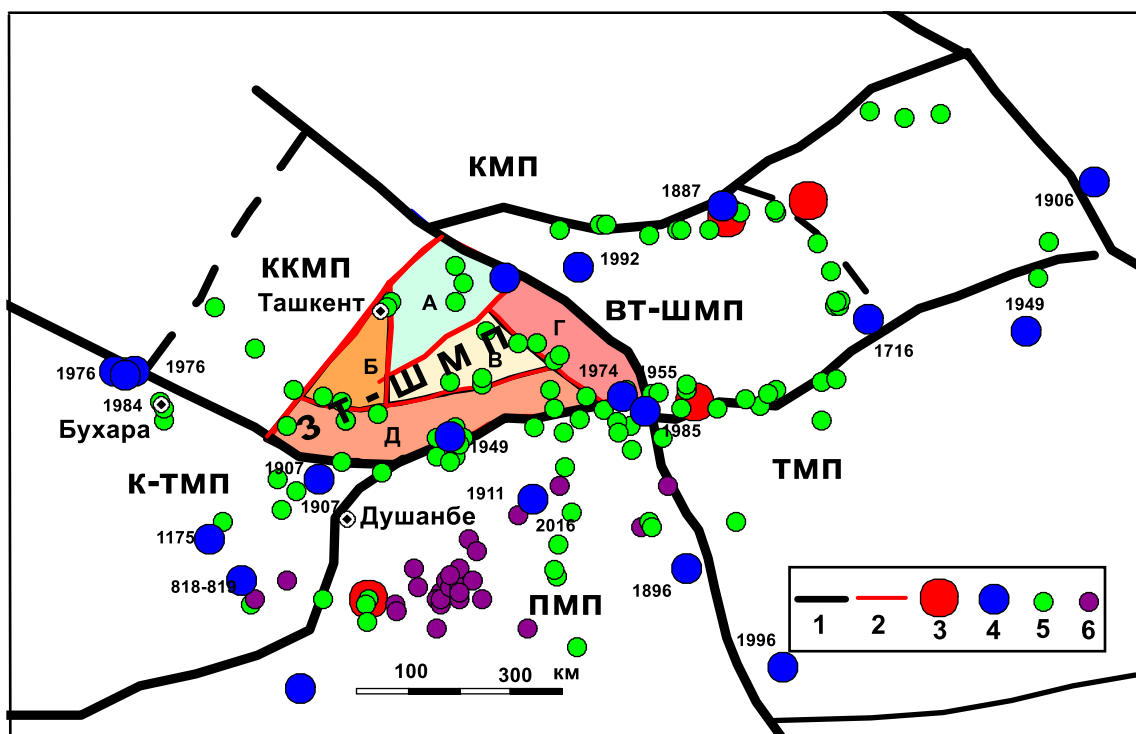


Рис. 1. Схема расположения микроплит, геодинамических блоков второго ранга и эпицентры сильных землетрясений Центральной Азии. 1 – границы литосферных микроплит (ЗТШМП – Западно-Тянь-Шаньская; ВТШМП – Восточно-Тянь-Шаньская; ККМП – Кызылкумская; КМП – Казахская; К-ТМП – Каракумо-Таджикская; ПМП – Памирская; ТМП – Таримская); 2 – границы блоков второго ранга: А – Чаткало-Кураминский; Б – Приташкентский; В – Ферганский; Г – Таласо-Ферганский; Д – Южно-Тянь-Шаньский). Эпицентры землетрясений с магнитудой: 3 – $M \geq 8,0$; 4 – $M \geq 7,0$; 5 – $M \geq 6,0$; 6 – эпицентры глубокофокусных землетрясений.

Fig. 1. Layout of microplates, geodynamic blocks of the second rank and epicenters of strong earthquakes in Central Asia. 1 – boundaries of lithospheric microplates (ZT-SHMP – Western Tien Shan; VT-SHMP – East Tien Shan; KKMP – Kizylkum; KMP – Kazakh; K-TMP – Karakum-Tajik; PMP – Pamir; TMP – Tarim); 2 – boundaries of blocks of the second rank: A – Chatkal-Kuraminsky; B – Pritashkent; V – Fergana; G – Thalaso-Fergana; D – South Tien Shan). Earthquake epicenters with: 3 – $M \geq 8,0$; 4 – $M \geq 7,0$; 5 – $M \geq 6,0$; 6 – epicenters of deep-focus earthquakes.

Следующий этап исследований посвящен анализу особенностей проявления землетрясений в масштабе выделенных разноранговых тектонических блоков. Анализ показал, что в пределах ЗТШМП и ВТШМП эпицентры землетрясений с $M \geq 7,0$ расположены вдоль активных разломов – границ микроплит. В ЗТШМП землетрясения с $M \geq 6,0$, в большинстве случаев, приурочены к границам тектонических блоков 2-го ранга. Это может свидетельствовать о повышенной активности внутренних разломов ЗТШМП, одновременно выполняющих функции границ блоков.

Анализ межэпицентральных расстояний землетрясений показал, что из 20 землетрясений с $M \geq 7,0$ в четырех случаях наблюдалась повторная активизация одного и того же очага. Это районы Газлийских 1976 и 1984 гг, Каратагских 1907 г., Улугчатского 1955 и 1985 гг. и Сарезского 1911, 2016 и 2023 гг. землетрясений. Установлено, что в четырех случаях расстояния между эпицентрами изменялись в пределах 120-150 км, в среднем 135 ± 5 км, в пяти случаях – в пределах 220-280 км, в среднем 260 ± 5 км. Получается, что преимущественное межэпицентрально расстояние для землетрясений Центральной Азии с $M \geq 7,0$ равняется 260 ± 5 . Расстояние 135 ± 5 км намного меньше, чем указано в работе [Уломов, 2007]. В принципе, это расстояние соизмеримо с

половиной межэпицентрального расстояния, оцененного В.И.Уломовым [2007]. По всей видимости, межэпицентральное расстояние 260 ± 5 км отражает реальные размеры блоков земной коры 2-го ранга, которые соответствуют землетрясениям с $M \geq 7,0$. А при возникновении землетрясений с межэпицентральным расстоянием 135 ± 5 км в определенной степени влияют блоки земной коры следующего – третьего ранга, характерные размеры которых соизмеримы с этим расстоянием.

В распределении землетрясений с $M \geq 6,0$ в ВТШМП из 28 землетрясений, возникших на границе плиты, 11 произошли на расстоянии менее 20 км друг от друга. В пределах 7 очаговой зоны 12 событий имели межэпицентральное расстояние 60 ± 10 км и 4 – 90 ± 10 км. Только лишь в одном случае межэпицентральное расстояние равнялось 140 км, т. е. удвоенное 60 ± 10 км.

Близкие значения получены и для Западно-Тянь-Шаньской микроплиты. В зоне динамического влияния Южно-Ферганского и Южно-Тянь-Шаньского разломов, являющихся границами между блоками второго ранга (Д) и (Б, В), за анализируемый период возникли 32 землетрясения с $M \geq 6,0$. Из них 13 – в пределах трех очаговых зон. Остальные эпицентры произошли на расстоянии 40-70 км (18 землетрясений), 80-130 км (8 землетрясений) и ≥ 140 км (4 землетрясения). Таким образом, установлено, что средние межэпицентральные расстояния землетрясений с $M \geq 6,0$ на границах микроплит и блоков земной коры второго ранга соответствуют между собой. На основании полученных результатов сделано предположение о том, что в проявлении сильных землетрясений (с $M \geq 6,0$) определяющую роль играют геодинамические блоки второго и третьего рангов. Блоки таких размеров накапливают энергию, способную генерировать землетрясения с энергетическим показателем не более $M = 6,9$. Это подтверждается результатами наблюдений за сейсмичностью территории с исторических времен по настоящее время.

Несколько иная сеймотектоническая обстановка складывается в пределах Западного Узбекистана. Многочисленными геолого-геофизическими исследованиями установлено, что земная кора Центрального и Южного Узбекистана имеет сложную слоисто-блоковую структуру [Бабаев и др.; 1976, Зуннунов, 1985; Ибрагимов и др., 2002]. На анализируемой территории выделяются четыре тектонические структуры второго ранга – Амударьинская (А) и Нуратинская (Б) в пределах Кызылкумской микроплиты, Южно-Тянь-Шаньская в пределах Западно-Тянь-Шаньской микроплиты (В) и блок Юго-Западного отрога Гиссара (Г) в пределах Каракумо-Таджикской микроплиты (рис. 2).

В пределах исследуемой территории располагается лишь восточная часть **Амударьинского блока (А)** (см. рис. 2), представленная Бухарской и Чарджууской тектоническими ступенями, которые ограничены Амударьинской, Учбаш-Каршинской, Караиль-Лянгарской флексурно-разрывными зонами (ФРЗ) и Южно-Тянь-Шаньским разломом. С Южно-Тянь-Шаньским разломом связаны Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. с магнитудой $M \geq 7,0$. Отмеченные ФРЗ представляют уступы в рельефе фундамента и обеспечивают ступенчато-наступательное развитие восточного блока на восток. С Учбаш-Каршинской ФРЗ связывают исторические Бухарские землетрясения 1390 и 1821 гг. с магнитудой $M \geq 6,0$.

В пределах **Нуратинского блока (Б)** с севера на юг выделяются Северо-Нуратинское, Южно-Нуратинское, Зирабулакское, Каратепинское поднятия и разделяющие их активные разломы земной коры, межгорные впадины и прогибы: Рават-Галляаральский прогиб, Санзарский прогиб, Каттакурганская впадина, Самаркандская впадина и Пянджикентский прогиб.

Южно-Тянь-Шаньский блок (В) Западно-Тянь-Шаньской микроплиты образуют Туркестанское, Зарафшанское и Гиссарское поднятия субширотного простирания. Это орогенные структуры, современная активность которых подтверждается множеством произошедших землетрясений с интенсивностью 8-9 баллов.

Каракумо-Таджикская микроплита на анализируемой территории представлена неотектоническими структурами **Юго-Западных отрогов Гиссара (Г)**, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской впадинами. Кашкадарьинская впадина вытянута с юго-запада на северо-восток и ограничена от Юго-Западных отрогов Гиссара Караиль-Лянгарской ФРЗ [Зуннунов, 1985]. Юго-Западные отроги Гиссара образованы виргацией и погружением палеозойских структур Гиссара под мощные отложения мезо-кайнозоя. Сетью разломов северо-восточного простирания фундамент разбит на сравнительно узкие зоны. Сурхандарьинская впадина образована системой узких линейных антиклинальных зон с широкими и плоскими прогибами [Бутовская и др., 1974]. Впадина на востоке граничит с Бабатагским поднятием через разрывные нарушения, на западе – с

Кугитанг-Каратагской ФРЗ. Структуры мезозой-кайнозойских отложений и фундамента имеют отчетливое северо-восточное простирание и большие глубины залегания на всем протяжении (8-12 км).

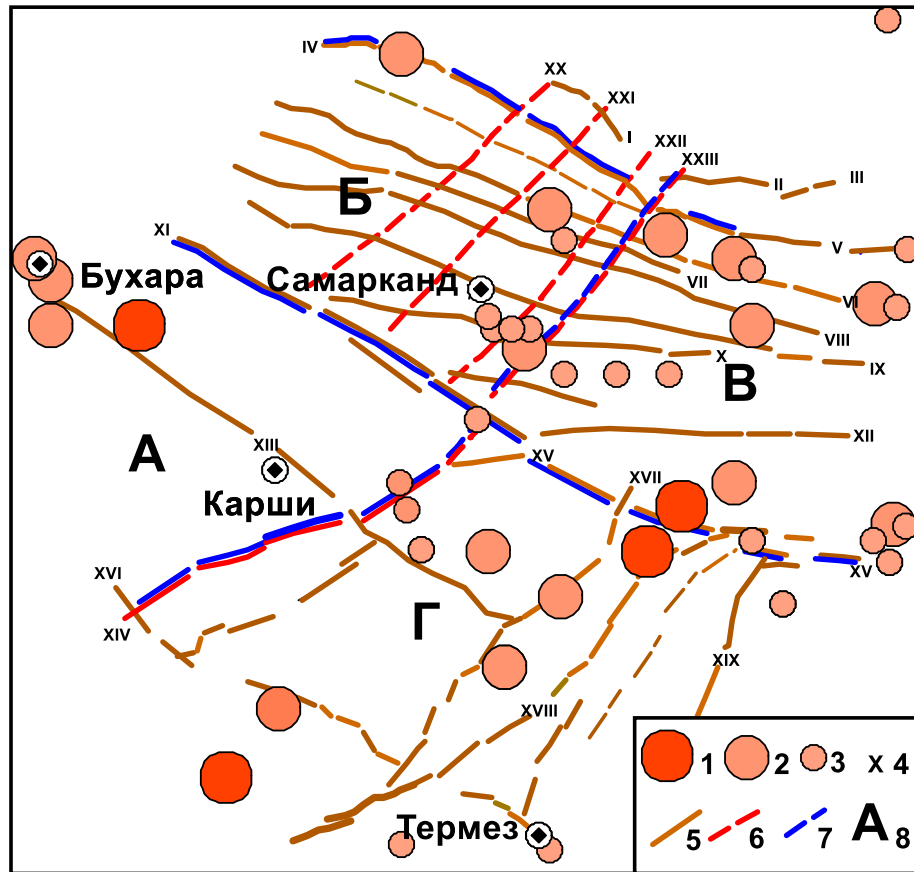


Рис. 2. Активные разломы Центрального и Южного Узбекистана и эпицентры сильных (с $M \geq 5,0$) землетрясений. Эпицентры землетрясений: 1 – с $M \geq 7,0$; 2 – с $M \geq 6,0$; 3 – с $M \geq 5,0$; 4 – номер разлома; 5 – разломы северо-западного простирания (I – Писталитауский, II – Северо-Мехнаткашский; IV – Северо-Нуратинский; V – Южно-Ферганский; VI – Нуратау-Катранский; VII – Северо-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Молгузарский; VIII – Южно-Актау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанский; IX – Южно-Каратау-Южно-Туркестанский; X – Северо-Зерабулак-Северо-Зарафшанский; XI – Южно-Тянь-Шаньский; XII – Главный Гиссарский); 6 – разломы северо-восточного простирания (III – Северо-Ферганский; XIII – Учбаш-Каршинский; XIV – Лянгар-Караильская ФРЗ; XV – Гиссаро-Кокшаальский; XVI – Амударьинский; XVII – Байсун-Кугитангская система разломов; XVIII – Сурхантау-Шерабад-Келифский; XIX – Бабатагский; XX – Санганак-Ханбандытауский; XXI – Западно-Каратепа-Койташ-Писталитауский; XXII-XXIII – система Поперечно-Западно-Тянь-Шаньских разломов); 7 – границы геодинамических блоков; 8 – геодинамические блоки: А – Амударьинский; Б – Нуратинский; В – Южно-Тянь-Шаньский; Г – ЗЮго-Западные отроги Гиссара.

Fig. 2. Active faults of Central and Southern Uzbekistan and epicenters of strong (with $M \geq 5,0$) earthquakes. Earthquake epicenters: 1 – with $M \geq 7,0$; 2 – with $M \geq 6,0$; 3 – with $M \geq 5,0$; 4 – fault number; 5 – faults of northwestern strike (I – Pistalitausky; II – North-Mekhnatkashsky; IV – North-Nurata; V – South-Fergana; VI – Nuratau-Katransky; VII – North-Aktau-South-Karachatau-North-Gobduntau-South-Molguzar; VIII – South-Aktau-South-Gobduntau-North-Turkestan; IX – South-Karatau-South-Turkestan; X – North-Zerabulak-North-Zarafshan; XI – South Tien Shan; XII – Chief Gissarsky); 6 – faults of north-eastern strike (III – North Fergana; XIII – Uchbash-Karshi; XIV – Lyangar-Karayil FRF; XV – Gissar-Kokshaalsky; XVI – Amu Darya; XVII – Baisun-Kugitang fault system; XVIII – Surkhantau-Sherabad-Kelifsky; XIX – Babatagsky; XX – Sanganak-Khanbandytausky; XXI – West-Koratepe-Koitash-Pistalitausky; XXII-XXIII – system of the Transverse-Western Tien Shan faults); 7 – boundaries of geodynamic blocks; 8 – geodynamic blocks: A – Amu Darya; B – Nurata; V – South Tien Shan; G – Southwestern spurs of Gissar;

Помимо геодинамических блоков, на рис. 2 приведена схема активных разломов земной коры территории Центрального и Южного Узбекистана. Эти разломы установлены на основе

проведенной ранее геологической съемки, комплексом геофизических и сейсмологических работ [Бабаев и др., 1972; Зуннунов, 1985; Резвой, 1973; Таль-Вирский, 1982; Якубов и др., 1976]. Как видно из рис. 2, в пределах изучаемой территории выделяются разломы трех направлений: северо-западного, северо-восточного и субширотного.

Северо-западная система разломов морфологически выражена и уверенно трассируется на материалах топографической и аэрокосмической съемок. Сочленение положительных и отрицательных структур, в большинстве случаев, происходит в зоне разломов северо-восточной ориентации. Смещения неотектонических структур относительно друг друга, резкое погружение шарниров положительных структур в их периклинальных частях также происходит в зоне этих разломов. Сеймотектонический анализ показал, что эти факты, хотя и косвенно, могут свидетельствовать о значении их при проявлении современной сейсмичности анализируемой территории. Современная активность системы разломов северо-западной ориентации подтверждается морфологической выраженностью и уверенным трассированием на материалах топографической и аэрокосмической съемок, а также эпицентрами землетрясений, тяготеющих к разломным зонам. Здесь необходимо отметить, что выделенные в Нуратау-Зирабулакской зоне поднятий и прогибов разломы служат природными границами положительно и отрицательно развивающихся неотектонических структур. Практически все разломы северо-западного простирания, расположенные на исследуемой территории, являются прямым продолжением краевых и внутренних разломов Южного Тянь-Шаня, который включает Туркестанское, Зарафшанское и Гиссарское поднятия более высокого ранга. Этот регион рассматривается как область устойчивых новейших и современных поднятий, сейсмический потенциал которых подтвержден современными сильными землетрясениями и деформациями горного рельефа в результате сильнейших доисторических землетрясений (см. рис. 2).

Субширотная система разломов развита на Южно-Тянь-Шаньском блоке Западно-Тянь-Шаньской микроплиты. Это наиболее протяженные и сейсмически активные разломы. В их пределах отмечен ряд сильных (с $M \geq 6,0$) землетрясений, большая часть из которых возникла в зоне Южно-Ферганского разлома.

Существование **разломов северо-восточного** простирания подтверждается результатом исследования М.А.Ахмеджанова с соавторами [1967]. Наличие тектонических структур северо-восточного простирания, западнее приведенных на рис. 3 поперечных разломов, приводится и в работах Т.Л.Бабаджанова и О.П.Мордвинцева [2013]. По результатам исследований авторов, эти разломы имеют древнее заложение. Осевые линии этих структур приведены на рис. 3. Сопоставительный анализ пространственного положения осевых линий поперечных разломов с плотностью мегатрещин (мелких опережающих разломов) изучаемой территории показывает, что зона повышенной плотности мегатрещин северо-восточного простирания хорошо трассируется с Теджен-Газли-Бетпакдалинской ФРЗ [Бабаджанов и др., 2013]. В современном этапе эти поперечные структуры в сочетании с разломами северо-западного простирания формируют блоковое строение земной коры изучаемой территории. Тектоническая активность зоны крупных структур северо-восточного простирания наглядно подтверждается по результатам сейсмичности. На рис. 3, кроме плотности разрывов и активных разломов, приведены также эпицентры землетрясений с $M \geq 5,0$, возникшие с исторических времен по настоящее время, эпицентры землетрясений с $M \geq 2,0$, возникшие за период 2016-2019 гг., и пространственное положение всех выделенных сейсмогенных зон территории. Как видно из рис. 3, все сильные землетрясения (Бухарские 942 и 1392 гг. с $M \geq 7,0$, Тамдынское 1932 г. с $M = 6,2$, Кызылкумские 1968 г. с $M = 5,1$, Газлийские 1976 и 1984 гг.) возникли в пределах выделенных областей активных разломов северо-западного простирания. На рис. 3 явно прослеживается тенденция о приуроченности очаговых зон этих землетрясений к местам пересечения разломов северо-западной ориентации с зонами разломов Газли-Теджен-Тамдинского, Навои-Туркестанского и Поперечно-Тянь-Шаньского разломов. Характерно то, что к зонам этих разломов приурочена основная масса относительно слабых землетрясений, возникших за последние годы. Судя по приведенной картинке, зоны Газли-Теджен-Тамдинского и Поперечно-Тянь-Шаньского разломов являются границами более крупных геодинамических блоков Западного Узбекистана. Навои-Туркестанский и Мары – Бухара-Бетпакдалинские разломы северо-восточного простирания по отношению к ним относятся к блокам земной коры меньшего масштабного уровня, следовательно, уровень сейсмичности ее также намного ниже, чем у других. Среди разломов северо-восточного простирания самый активный Поперечно-Тянь-Шаньский. Следует отметить, что Поперечно-

Тянь-Шаньский разлом, или Северный краевой разлом Тянь-Шаня, по Б.Б.Таль-Вирскому [1982], по результатам исследований ведущих геологов страны является границей между орогеном и платформой Центральной Азии и играет определяющую роль в современной динамике блоков земной коры. Наиболее активные участки сейсмогенных зон северо-западного простирания приурочены именно к местам пересечения их с зоной Поперечно-Тянь-Шаньского разлома. Эта зона отличается значимой сейсмической активизацией и в последнее время. Об этом свидетельствуют возникшие в 2016 г. Китабское с $M = 5,0$ и в 2017 г. Бахмальское с $M = 5,1$ землетрясения.

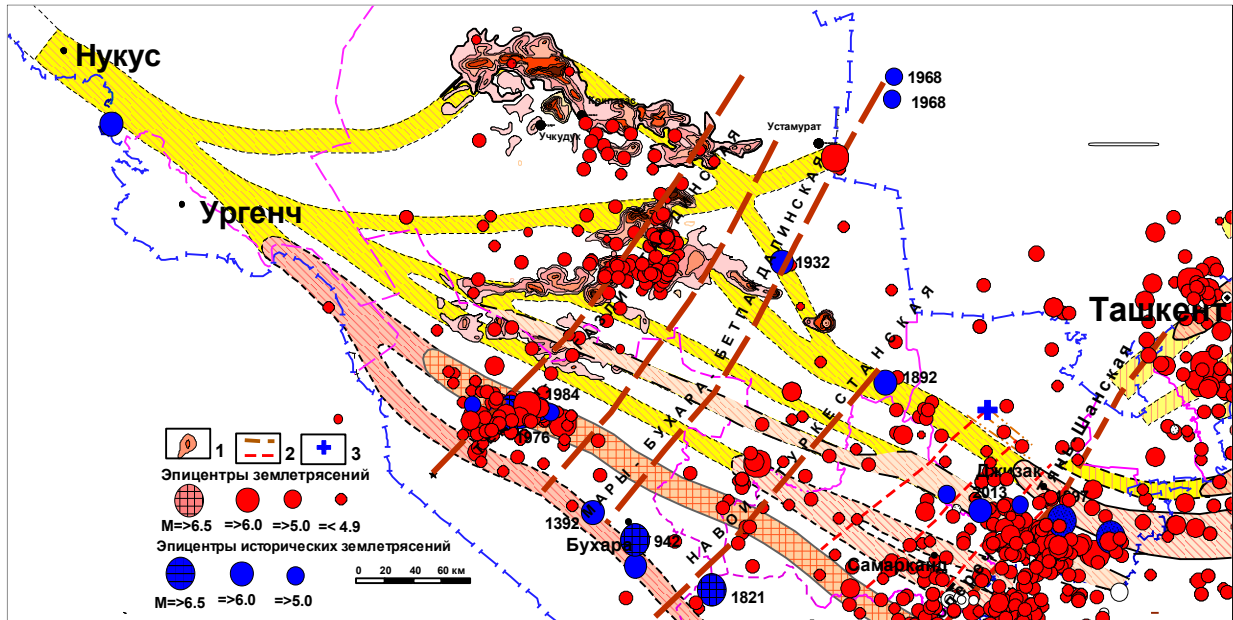


Рис. 3. Схема сопоставления карты плотности разрывов (мегатрещин), осевых линий флексурно-разрывных зон северо-восточного простирания, выделенные (по Бабаджанову, Мордвинцеву, 2013) геофизическими методами с эпицентрами землетрясений и сейсмогенными зонами. 1 – значения плотности мегатрещин; 2 – поперечные разломы земной коры. Эпицентры землетрясений по [Новый каталог..., 1976, Сводные каталоги..., 2010-2018].

Fig.3. Scheme of comparison of the density map of ruptures (megafractures), axial lines of flexure-fracture zones of northeastern strike, identified (according to Babajanov, Mordvintsev, 2013) by geophysical methods with earthquake epicenters and seismogenic zones. 1 – megacrack density values; 2 – transverse faults of the earth's crust. Earthquake epicenters according to [New catalog..., 1976, Consolidated catalogues..., 2010-2018].

Обращает на себя внимание пространственное распределение эпицентров происшедших с исторических времен по настоящее время землетрясений. С одной стороны, видно, что основная масса землетрясений происходила в пределах сейсмогенных зон, хотя наблюдается некоторое отклонение эпицентров слабых землетрясений от них. Все сильные землетрясения (с $M \geq 5,0$) происходили в сейсмогенных зонах. С другой стороны, наблюдается тенденция группирования эпицентров в пределах определенных участков сейсмогенных зон. Эта тенденция особенно ярко проявляется в районе г. Ургут в пределах Зарафшанской сейсмогенной зоны, вблизи г. Китаб и г. Шахрисабз в Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны и в районе г. Камашы в Гиссаро-Кокшаальской сейсмогенной зоны. Как видно из рис. 4, эти участки высокой концентрации эпицентров как сильных, так и слабых и умеренных землетрясений соответствуют области пересечения сейсмогенных зон с поперечным Западно-Тянь-Шаньским разломом. Эта ситуация свидетельствует о том, что, хотя поперечный Западно-Тянь-Шаньский разлом не является прямым генератором источников сейсмичности, но активно участвует в процессе формирования будущих очагов землетрясений. Об этом свидетельствует сейсмическая активизация таких участков в течение длительного времени, что является неслучайным совпадением. Например, первое землетрясение в районе г. Ургут Зарафшанской сейсмогенной зоны произошло в 1490 г. с $M = 5,8$. Следующее сильное землетрясение произошло в 1799 г. с $M = 6,0$. Последнее время на этом участке сильные землетрясения не происходили. Зона находится в состоянии длительного

сейсмического покоя. Количество слабых и умеренных землетрясений не велико. Обращает на себя внимание участок пересечения Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны с Поперечным Западно-Тянь-Шаньским разломом, в пределах которого расположен г. Шахрисабз. Здесь в 1928 г. произошло сильное землетрясение с $M = 5,3$. Следующее землетрясение с $M = 5,1$ произошло в 2016 г. в районе г. Китаб. Землетрясение вызвало незначительные разрушения в г. Китаб. В течение последнего 20-летнего периода наблюдается значимая активизация этого участка сейсмогенной зоны в виде высокой плотности эпицентров слабых землетрясений. Хотя длительность афтершоковой активности Китабского землетрясения на этом участке произошла в 1815 г. с $M = 5,3$.

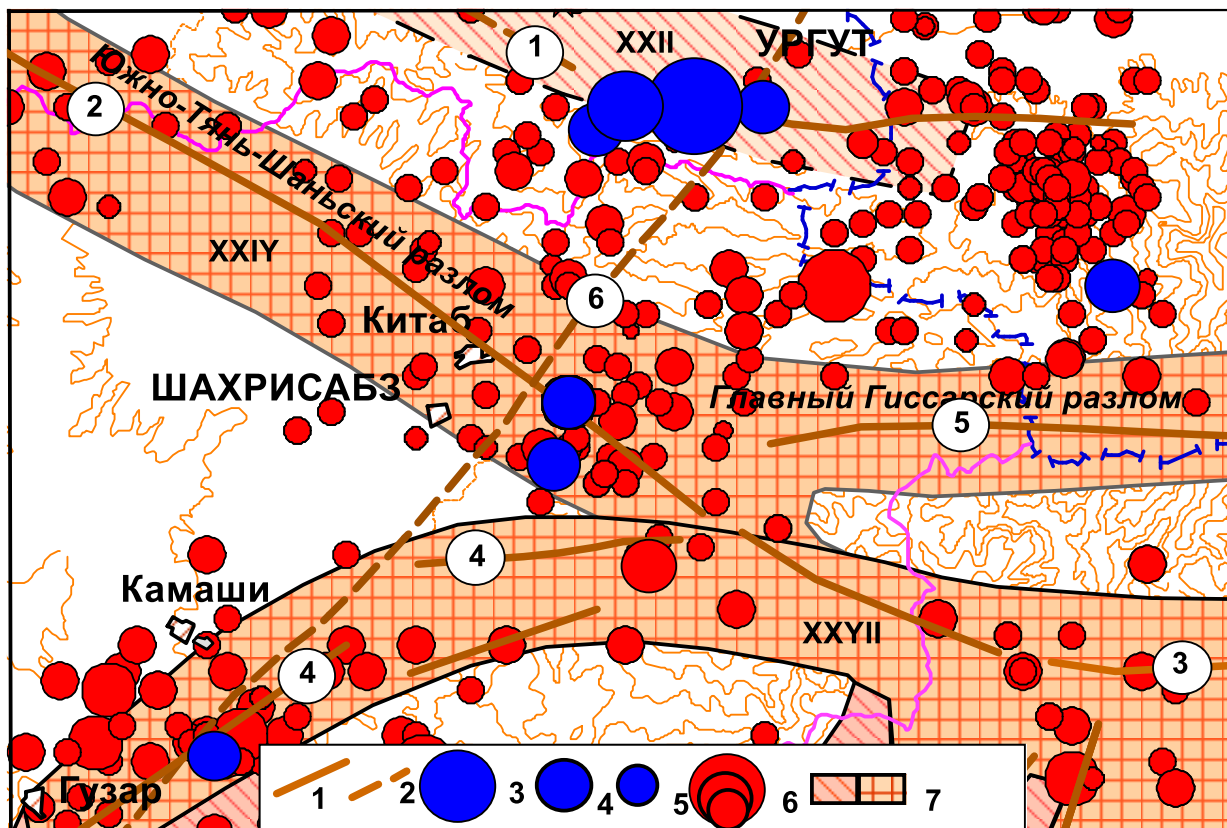


Рис. 4. Сейсмогенные зоны Южного Узбекистана и эпицентры землетрясений, возникшие с древнейших времен по настоящее время.

1 – разломы земной коры (1 – Южно-Кульджуқтау-Зарафшанская; 2 – Южно-Тянь-Шаньская; 3 – Гиссаро-Кокшаальская; 4 – Караиль-Лянгарская ФРЗ; 5 – Главный Гиссарский; 6 – система Поперечного Западно-Тянь-Шаньского разлома); 2 – разломы, установленные недостоверно. Эпицентры сильных землетрясений с: 3 – $M \geq 6,0$; 4 – $M \geq 5,5$; 5 – $M \leq 5,4$ [Новый каталог..., 1976], эпицентры землетрясений за 2000-2021 гг. с $4,0 \leq M \leq 4,5$; $M \geq 2,8$; $M \leq 2,8$ (по фондовым данным материалов ИС АН РУз и РЦСМ МЧС). Сейсмогенные зоны: XXII – Зарафшанская; XXIV – Южно-Тянь-Шаньская; XXVII – Гиссаро-Кокшаальская.

Fig. 4. Seismogenic zones of Southern Uzbekistan and earthquake epicenters that have arisen from ancient times to the present.

1 – faults of the earth's crust (1 – South Kuljuktau-Zarafshan; 2 – South Tien Shan; 3 – Gissar-Kokshaal; 4 – Karail-Lyangar FZ; 5 – Glany Gissar; 6 – system of Transverse Western Tien Shan faults); 2 – faults identified unreliably. Epicenters of strong earthquakes with: 3 – $M \geq 6,0$; 4 – $M \geq 5,5$; 5 – $M \leq 5,4$ [New catalog..., 1976], earthquake epicenters for 2000-2021 from $4,0 \leq M \leq 4,5$; $M \geq 2,8$; $M \leq 2,8$ (according to stock data from the materials of the IS Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Republican Center for Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations); Seismogenic zones:

XXII – Zarafshan; XXIV – South Tien Shan; XXVII – Gissaro-Kokshaalskaya.

Землетрясения 2016 г. давно завершились, тем не менее, в пределах очаговой области наблюдается повышенная активность слабых землетрясений. Это свидетельствует о повышенной

чувствительности данного участка сейсмогенной зоны к изменению напряженного состояния территории, что еще раз подтверждает значимость влияния поперечных тектонических структур в проявлении современной сейсмичности территории.

На продолжении Поперечного Западно-Тянь-Шаньского разлома к юго-западу, в пределах Гиссаро-Кокшальской сейсмогенной зоны в 1999 и 2000 гг. возникли Камашинские землетрясения с $M \geq 5,0$.

Обсуждение результатов и заключение. Повышенная плотность эпицентров землетрясений с $M \geq 7,0$ и с $M \geq 6,0$ в пределах Западно-Тянь-Шаньской микроплиты и расположение их вокруг Восточно-Тянь-Шаньской микроплиты, по всей видимости, объясняется геодинамическим положением микроплит. В процессе коллизии Евразийской и Индостанской тектонических плит и движения микроплит по Таласо-Ферганскому разлому против часовой стрелки привели к повышенному напряженному состоянию внутренней части Западно-Тянь-Шаньской микроплиты, что способствовало образованию внутренних тектонических структур более мелкого масштабного уровня, способных создавать условия для возникновения землетрясений с $M \leq 6,9$ [Садыков и др., 2021]. Что касается Восточно-Тянь-Шаньской микроплиты то, по всей видимости, на процесс внешнего воздействия она реагирует как единое целое и поэтому основная масса сильных землетрясений возникает на граничащих с ней разломных зонах.

В пределах Западно-Тянь-Шаньской микроплиты основные разломы имеют северо-восточное простирание [Садыков и др., 2015]. Роль поперечных разломов ярко не проявляется. Тем не менее, разломы северо-западного простирания, которые играют определяющую роль в формировании блочного строения земной коры, вносят определенный вклад в процесс концентрации напряжений в узловых участках сейсмогенных зон.

Территория Западного Узбекистана характеризуется весьма сложным тектоническим строением, сформированным на различных этапах геологического развития. Наиболее активны в Западном Узбекистане разломы северо-западного простирания. Они характеризуются унаследованностью движений от более ранних эпох, сложным внутренним строением и длительной историей развития. К ним часто приурочены приразломные прогибы и высокие значения амплитуд неотектонических движений. Практически все неотектонические структуры, как положительные, так и отрицательные, единообразно сплющены, длинная ось которых имеет северо-западную ориентацию. Можно предположить, что наиболее вероятным направлением стрессовых напряжений, сформировавших неотектонические структуры, является северо-восточное. Для субширотных неотектонических структур Южно-Тянь-Шаньского постплатформенного орогена стрессовые напряжения имеют субмеридиональное направление. Вновь возникшие разломы оказались ориентированными в северо-восточном направлении и усложняли строение крупных региональных структур. В пределах Центрального Узбекистана эти разломы имели второстепенное значение при формировании современной деформационной структуры земной коры рассматриваемого региона. В пределах же Южного Узбекистана разломы этого направления являются основными структуроконтролирующими и ответственными за современную сейсмичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллабеков К.Н. и др. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. - Т.: Фан, 2002. - 132 с.
2. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. - М.: Наука, 1977. - 145 с.
3. Ахмеджанов М.А., Борисов О.М., Фузайлов И.А. Строение и состав палеозойского фундамента Узбекистана. - Т.: Фан, 1967. - 162 с.
4. Абдрахматов К.Е., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н., Усманова М.Т. и др. Сейсмологическая база данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. - Бишкек: НС РАН, 2008. - С. 25-43.
5. Бабаджанов Т.Л., Мордвинцев О.П. Особенности строения земной коры Узбекистана по геофизическим данным // Вестник НУУз. - Т., 2013. - С. 18-25.
6. Бабаев А.Г., Надыршин Р.И. Мезокайнозойский этап // Геология СССР, том XX111, Узбекская ССР. Кн. 2. - М., 1972. - С. 325-346.
7. Бабаев А.М., Мирзобоев К.М. Сейсмогенные зоны Таджикистана // Сеймотектоника некоторых районов юга СССР. - М.: Наука, 1976. - С. 105-118.

8. Бутовская Е.М., Фленова М.Г. и др. Региональные сейсмологические исследования // Земная кора Узбекистана. - Т.: Фан, 1974. - С. 21-37.
9. Зуннунов Ф.Х. Литосфера Средней Азии по сейсмическим данным. - Т.: Фан, 1985. - 106 с.
10. Головкин В.П., Нурматов У.А. Современные движения и сейсмичность. - Т.: Фан, 1990. - 179 с.
11. Ибрагимов Р.Н. Сейсмоструктура Ферганской впадины. - Т.: Фан, 1970. - 148 с.
12. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня. - Т.: Фан, 1978. - 144 с.
13. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1974 г. / Под ред. Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина. - М.: Наука, 1977. - 536 с.
14. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмоструктурный метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. - Т.: ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2002. - С. 59-74.
15. Ибрагимов Р.Н., Садыков Ю.М., Ходжаев А.К., Нурматов У.А. Карта «Сейсмогенные зоны Узбекистана и прилегающих территорий. М 1:600000» с угловой врезкой карта «Сейсмического районирования Узбекистана. М 1:5000000». - Т.: Государственное научно-производственное предприятие «Картография». Госкомземкадастр, 2011, 1 лист.
16. Резвой Д.П., Алексеенко А.В. Развитие глубинных разломов в течение мезозоя-палеогена и неогена-антропогена // Глубинные разломы Южного Тянь-Шаня. - Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1973. - С. 78-90.
17. Сводные каталоги землетрясений на территории Узбекистана за 2010-2018 г. Комплексной экспедиции Института сейсмологии АН РУз и Республиканского Центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз. - Т.: ИС АН РУз.
18. Садовский М.А. О кусковатости горных пород // ДАН СССР, 1979. - Т. 247. - № 4. - С. 829-831.
19. Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У.А. Сейсмоструктурная модель Центральной части Узбекистана // Проблемы сейсмологии. - 2020. - Т. 2. - № 1. - С. 32-41.
20. Садыков Ю.М., Атабеков И.У., Нурматов У.А. Кинематика блоков верхней части земной коры Западного Тянь-Шаня по результатам математического моделирования // Проблемы сейсмологии. - 2021. - Т. 3. - № 1. - С. 38-44.
21. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. - М.: Недра, 1982. - 271 с.
22. Трифонов В.Г., Востриков Г.А., Трифонов Р.В., Соболева О.В. Активные разломы Евразии: Геодинамический аспект // Тектонические и геодинамические феномены. - М.: Наука, 1997. - С. 174-195.
23. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965-2005 гг. // Доклады Академии наук. Геофизика. - 2007. - Т. 414. - С. 398-401.
24. Якубов Д.Х., Ахмеджанов М.А., Борисов О.М. Региональные разломы Среднего Южного Тянь-Шаня. - Т.: Фан, 1976. - 146 с.

O‘zbekiston va unga yondosh xududlardagi turli rangdagi tektonik strukturalarda kuchli va o‘rta kuchdagi zilzilalarni nomoyon bo‘lishining regional xususiyatlari

U.A. Nurmatov, Yu.M. Sadikov, S.S. Khusomiddinov, U.A., Yusupdjanova

Annotatsiya. Sharqiy, Markaziy va Janubiy O‘zbekiston xududi geotektonik strukturalarni turli ranglarga tabaqalash natijalari keltirilgan. Turli rangdagi geodinamik bloklar doirasida kuchli zilzilalarning tarqalish xususiyatlari o‘rganilgan. Yer qobig‘ining yoriqli va blokli tuzilishining zilzilalarni nomoyon bo‘lishidagi o‘rni baxolangan.

Kalit so‘zlar: seysmiklik, geodinamika, yer qobig‘i bloklari, yer yoriqlari, seysmogen zona, zilzila epitsentri, tektonik struktura.

Regional features of strong and moderate earthquakes in different rank tectonic structures of Uzbekistan and adjacent territories

U.A. Nurmatov, Yu.M. Sadikov, S.S. Khusomiddinov, U.A. Yusupjanova

Abstract. The results of ranking the geotectonic structures of Eastern, Central and Southern Uzbekistan are presented. The spatial distribution of strong earthquakes within the microplates of Central Asia has been studied. The role of the fault-block structure of the earth's crust in the distribution of sources of strong earthquakes is assessed.

Key words: seismicity, geodynamics, block of the earth's crust, faults of the earth's crust, seismogenic zone, earthquake epicenter, tectonic structure.

УДК 550.34

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ «КОРА-3» И «КОРА-4» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (на примере Ферганской впадины)*И.У. Атабеков, Р.А. Лутфуллаев, Ж.К. Мамарахимов**Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан**e-mail: atabekovi@mail.ru*

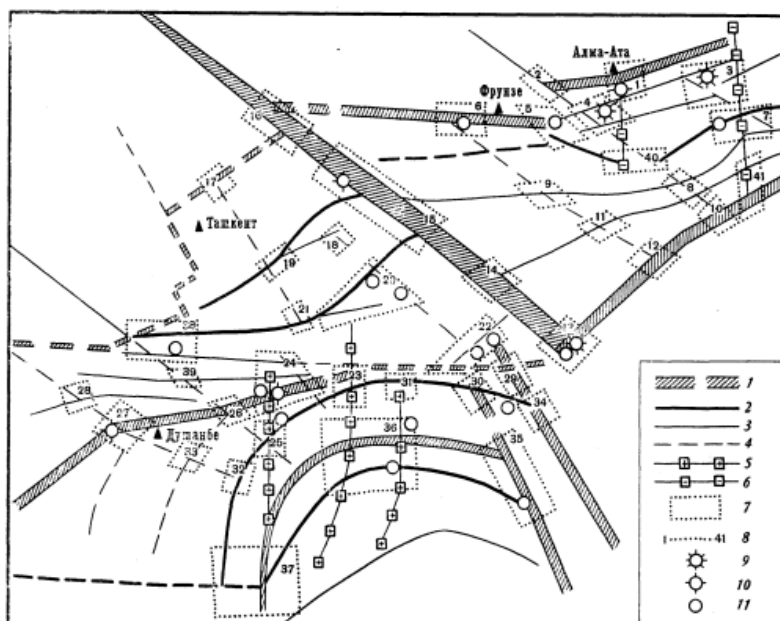
Аннотация. Решение проблемы прогнозирования землетрясений сталкивается с трудностями как теоретического, так и практического характера. Причина в том, что возникновение землетрясений зависит от множества факторов, порождающих различные аномалии, которые используются в качестве предвестников землетрясений. В связи со сложностью процесса землетрясения, а также из-за недоступности большого количества информации о детальном строении земной коры, актуальной задачей является выявление небольшого количества параметров, которые могли бы точно указывать на будущие сейсмические события. Результаты применения машинного обучения дают надежду на возможность получения более точной информации о будущих сильных землетрясениях, если объединить разрозненные факторы воедино. Для определения наиболее важных признаков землетрясений и определения пространственного расположения сильных землетрясений на конкретной сейсмоактивной территории Узбекистана, а именно в Ферганской впадине, предложен метод прогнозирования, объединяющий геодинамическое моделирование и распознавание образов на основе алгоритма «Кора-3» и «Кора-4».

Ключевые слова: Ферганская впадина, землетрясение, геодинамическое моделирование, напряжение, распознавание образов, алгоритм «Кора».

Введение

Места возможных сильных землетрясений в Средней Азии впервые определены учеными института Физики Земли [1] на основе простейшего алгоритма распознавание образов [2]. В дальнейшем ученые Института Физики Земли РАН и Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН усовершенствовали алгоритмов определения мест возникновения сильных землетрясений и успешно применили для многих территорий мира. Обстоятельный обзор исследований и их применения приведены в работах [3-5].

Основными признаками, благоприятствующими землетрясениям, приняты морфометрические данные, особенно узлы пересечения разломов. В их работе на территории Ферганской впадины выбраны всего 7 (№ 18-24) дизъюнктивных узлов и 4 эпицентра сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6,5$ (рис. 1).

**Рис. 1. Репродукция из [1].****Fig. 1. Reproduction from [1].**

Морфоструктурная схема востока Средней Азии. 1-6 – зоны глубинных разломов с активными новейшими движениями;

1-3 – зоны, продольные относительно осей главных хребтов и котловин и непрерывно выраженные поверхностными разломами: 1 – границы горных стран и морфоструктурных областей; 2 – границы «мегаблоков»; 3 – границы «блоков». Зоны, поперечные относительно осей главных хребтов и котловин; разграничивают «блоки»: 4 – зоны, частично выраженные поверхностными разрывами (перерыв знаков 1-4 означает, что границы определены неточно). 5, 6 – зоны, прослеживаемые главным образом по колебаниям абсолютных высот: 5 – по их повышению, 6 – по их снижению; 7 – границы дизъюнктивных узлов; 8 – номера дизъюнктивных узлов; 9-11 – эпицентры сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6,5$.

В результате расчета найдено, что в узле № 23 Ферганской впадины возможно сильное землетрясение. По сейсмологической базе данных, на территории Ферганской впадины произошли 7 сильных землетрясений (на рис. 2 местоположения выделены как зоны): 1) 1896 г. ($M = 6,9$ в 5 зоне), 2) 1902 г. ($M = 6,6$ в 10 зоне), 3) 1923 г. ($M = 6,6$ в 9 зоне), 4) 1924 г. ($M = 6,6$ в 9 зоне), 5) 1937 г. ($M = 6,7$ в 6 зоне), 6) 1946 г. ($M = 7,9$ в 7 зоне), 7) 1977 г. ($M = 6,6$ в 11 зоне).

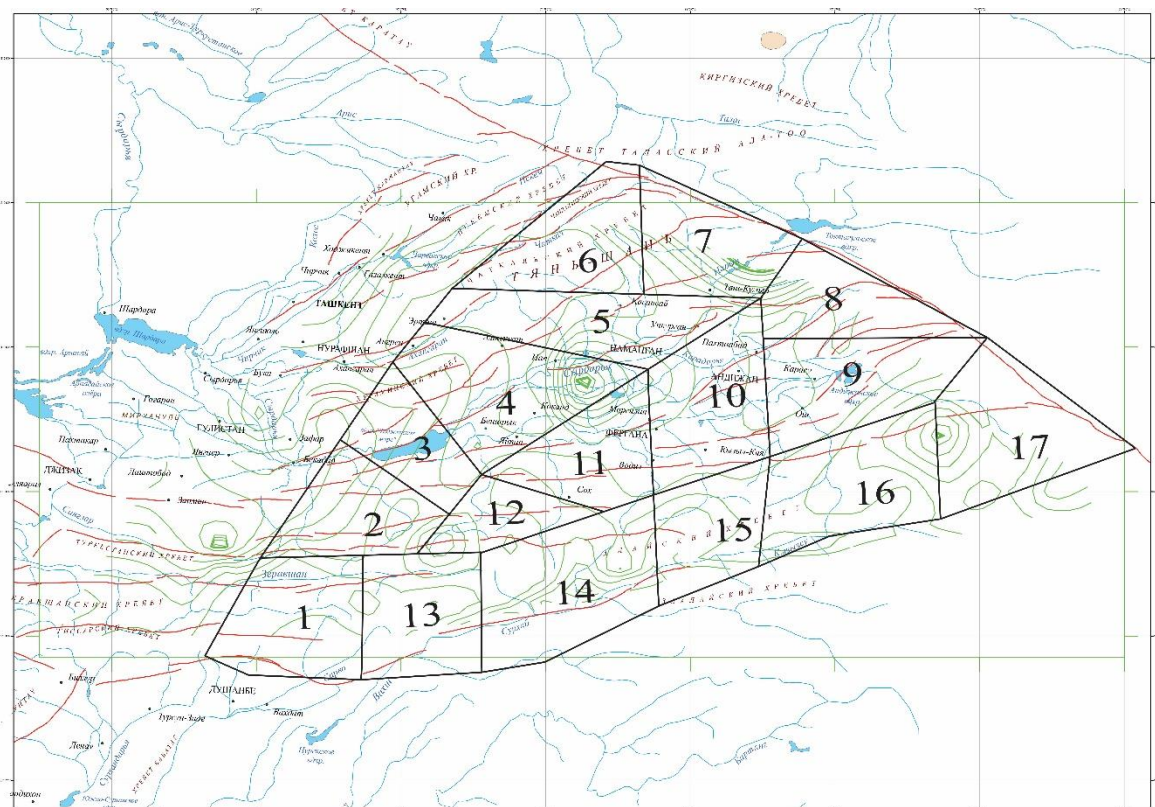


Рис. 2. Разделение Ферганской впадины на зоны.

Fig. 2. The division of the Fergana basin into zones.

Однако, на сегодняшний день на указанном узле № 23, входящим в зону 14, не зафиксировано землетрясения с $M \geq 6,5$. Нам кажется, что для выявления возможных землетрясений одних морфометрических признаков явно недостаточно. Морфометрические признаки характеризуют только деформацию земной коры. Но, как можно наблюдать, например, в случае разницы, большие деформации еще не означают разлом, что характерно землетрясению. Как отмечал еще М.В.Гзовский, сейсмический процесс большей частью определяется максимальным касательным напряжением и максимальными градиентами скоростей движения [6]. При этом он отметил, что всестороннее сжатие препятствует возникновению землетрясения. В этом плане морфологические признаки отражают степени вовлеченности земной коры в деформационный процесс. Оценка энергии готовящегося землетрясения, или же признак близости касательного напряжения к предельной локальной прочности земной коры является основным признаком будущего землетрясения. Однако, в ряде примеров он показал частичную противоречивость геоморфологических признаков четвертичного периода, положенных в основу

работ для определения сильных землетрясений распознаванием образов. Он объяснял, что геоморфологические признаки опираются на средние градиенты скоростей движения за большие времена и не дают возможности выявлять динамику этих движений. Поскольку напряженное состояние за сейсмический процесс, происходящий в настоящее время, и напряженное состояние, в которое время формировались разломы земной коры, могут сильно различаться, он предлагал в качестве критерия принять активность разломов. Сведения о тектонической активности можно получить методами сейсмотектоники, геодезии и сейсмическими методами. Ю.Ризниченко настаивал оценить возможности землетрясений, анализируя сейсмотектоническое течение горных масс, которые можно восполнить количественно методами математического моделирования [7]. Мы решили использовать полученные нами результаты математического моделирования напряженного состояния земной коры Ферганской впадины на глубинах 15-20 км [8-10] в качестве признаков для определения мест сильных землетрясений по алгоритму «Кора-3». По сейсмологическим базам данных, 8 землетрясений с $M \geq 6,5$ произошли в точности на глубинах 20 км (табл. 1).

Таблица 1

Землетрясения с $M \geq 6,5$ с исторических времен в Ферганской депрессии

Год	Месяц	День	С. ш.	В. д.	Глубина	Магнитуда	Зона
1896	0	0	41,5	70,9	20	6,9	5
1902	0	0	40,8	72,3	20	6,6	10
1923	0	0	39,59	69,19	20	6,6	2
1924	0	0	40,5	73,1	20	6,6	9
1924	0	0	40,59	73,19	20	6,7	9
1937	0	0	42,1	70,9	20	6,7	6
1946	0	0	41,9	72	20	7,9	7
1977	1	31	40,11	70,79	20	6,6	11

Методы решения

Центральной идеей алгоритма является составление набора данных с прогностическими признаками, характеризующими землетрясения. Для создания таких наборов рассматриваемый регион разделили на 17 зон (см. рис. 2). В каждой зоне определили следующие признаки: если да, то признак 1, иначе 0 (табл. 2): 1) расстояние до ближайшей горной страны $R \leq 30$ км; 2) $30 < R \leq 70$; 3) $R > 70$; 4) морфологические сочетания: горы с горными и предгорными возвышенностями; 5) горы с подгорными равнинами; 6) горы с горами; 7) предгорные возвышенности с подгорными равнинами; 8) высота рельефа $h \leq 1$ км; 9) $1 < h \leq 2$ км; 10) $h > 2$ км; 11) перепад высот $dh \leq 1,5$ км; 12) $1,5 < dh \leq 2,5$; 13) $dh > 2,5$ км; 14) число разломов $1 \leq n \leq 2$; 15) $n > 2$; 16) пересечение разломов; 17) длина основного разлома $L \leq 300$ км; 18) $300 < L \leq 700$ км; 19) $L > 700$ км; 20) относительное тангенциальное напряжение по сравнению с мгновенной прочностью на сдвиг $\tau > 0,9$; 21) современные движения: вертикальные скорости вверх; 22) современные движения: вертикальные скорости вниз; 23) характер напряженного состояния: региональное сжатие; 24) региональное растяжение; 25) характер землетрясения: сброс; 26) взброс; 27) сдвиг; 28) разность коэффициента Рихтера–Гуттенберга от среднего значения всей территории Ферганской впадины $\Delta b \geq 0$; 29) разница относительной активности землетрясений от среднего значения всей территории $\Delta A_{10} \geq 0$; 30) наличие землетрясений с магнитудой $M \geq 6,5$.

Таблица 2

30 признаков, соответствующих сильным землетрясениям (объяснение в тексте)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
3	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0

4	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0						
5	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	
8	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
9	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
10	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	
11	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	
12	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
13	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
14	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	
15	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
16	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	
17	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0

Для определения признаков 1-13 использовали онлайн топографическую карту (рис. 3) (<https://ru-ru.topographic-map.com/map-pkkfmt/%D0%A3%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D0%BA%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD>).

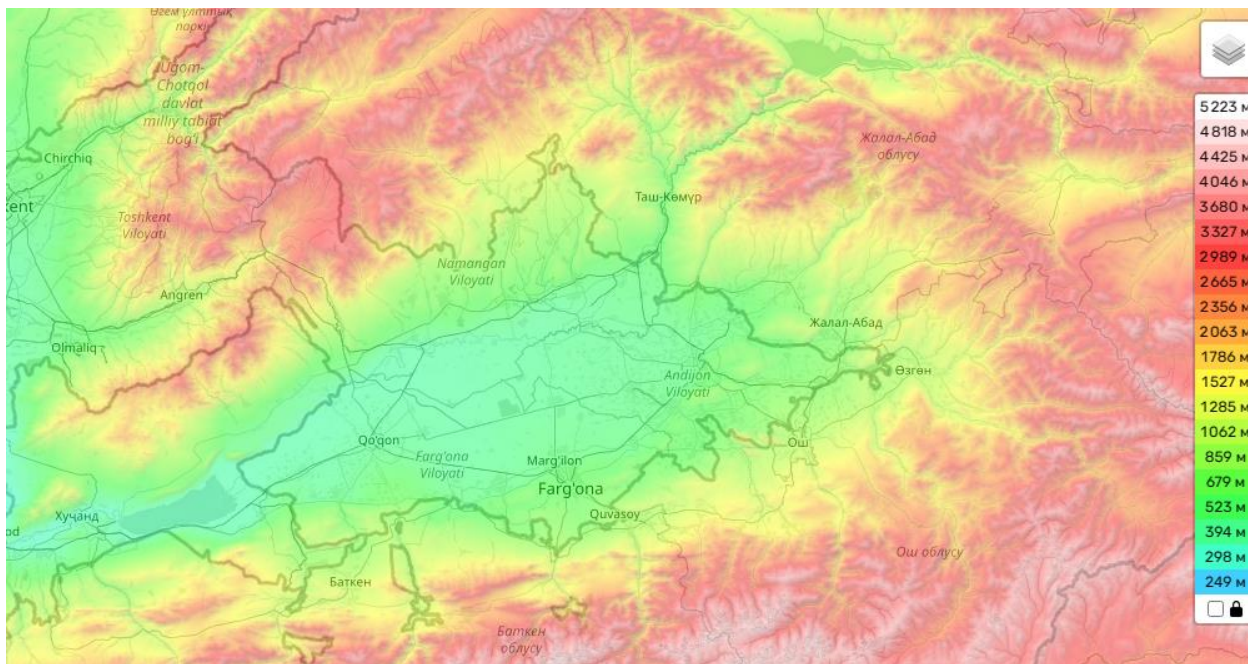


Рис. 3. Часть топографической карты Узбекистана.

Fig. 3. Part of the topographic map of Uzbekistan.

В настоящее время современных карт разломов Ферганской межгорной впадины, которые бы удовлетворяли всех исследователей, не существует. Напрямую с помощью геофизических методов они практически не выделяются и во многом зависят от тектонических представлений автора. На рис. 4, а - 4, в приведены разные версии, которые, кроме глубинных разломов, отражают разломы высокого ранга и линейменты.

Расположение и число разломов (признаки 14-19) мы определяли по результатам работы О.М.Борисова, дополненные О.Д. Мордвинцевым (рис. 4, а), хотя другие представленные картины (см. рис. 4, б, 4, в) также имеют место.

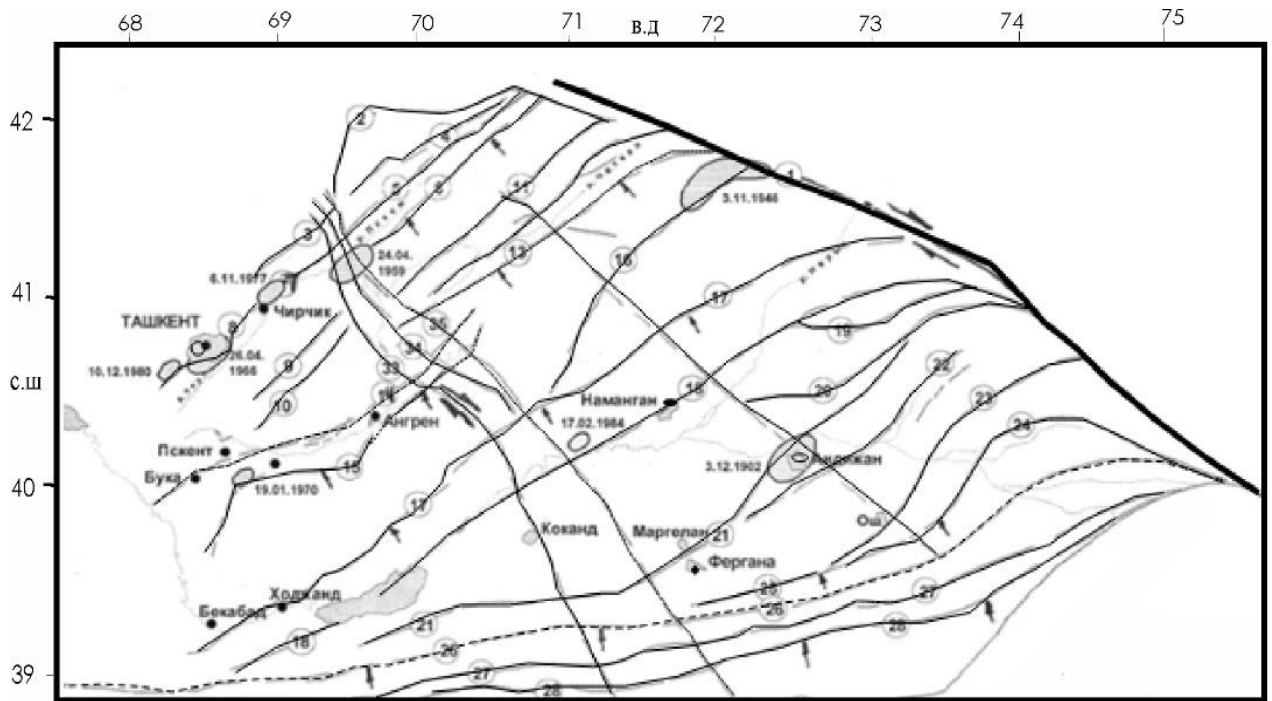


Рис. 4, а. Разломы Ферганской впадины, по Д.Х. Якубову, М.А. Ахмеджанову, О.М. Борисову, дополненные Ю.М. Садыковым и У.А. Нурматовым, по результатам нео- и сеймотектонического анализа.

Fig. 4, a. Faults of the Ferghana trench according to D.H. Yakubov, M.A. Akhmedzhanov, O.M. Borisov, supplemented by Yu.M. Sadykov and U.A. Nurmatov, based on the results of neo- and seismotectonic analysis.

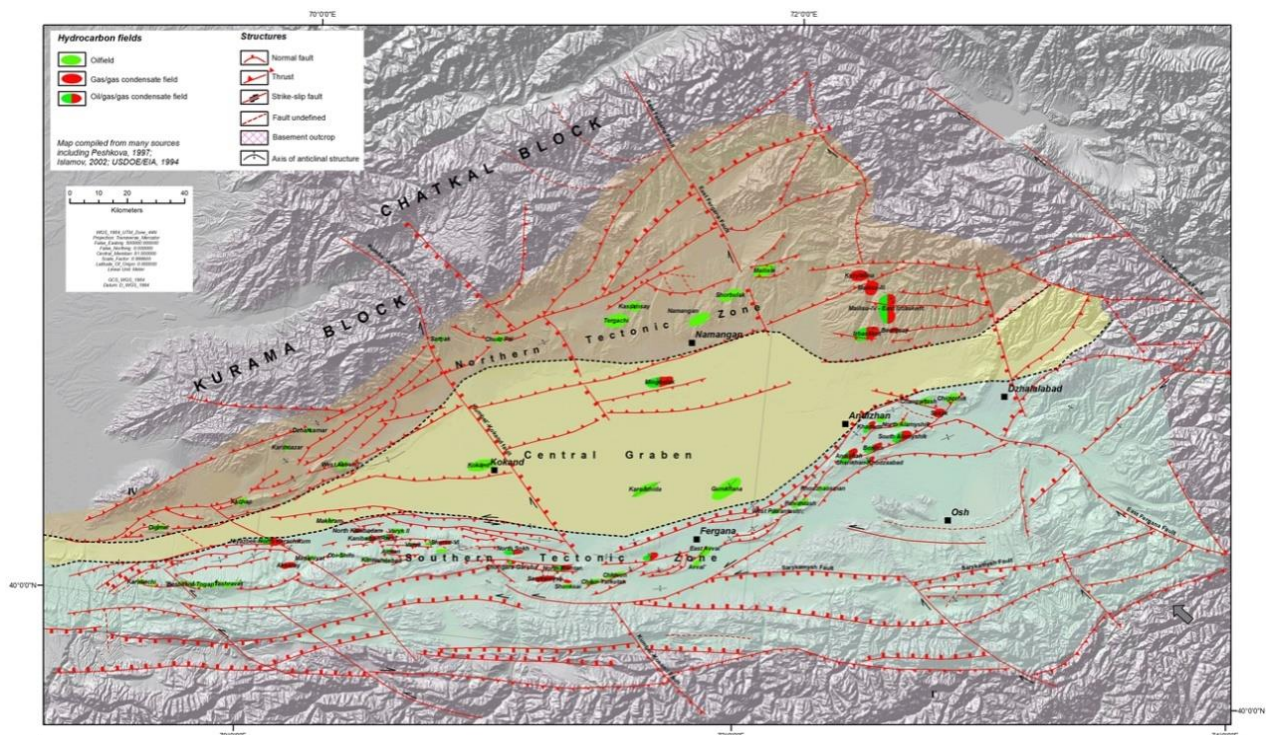


Рис. 4, б. Разломы Ферганской впадины, по <https://iv-g.livejournal.com/459335.html>

Fig. 4, b. Faults of the Ferghana trench by <https://iv-g.livejournal.com/459335.html>

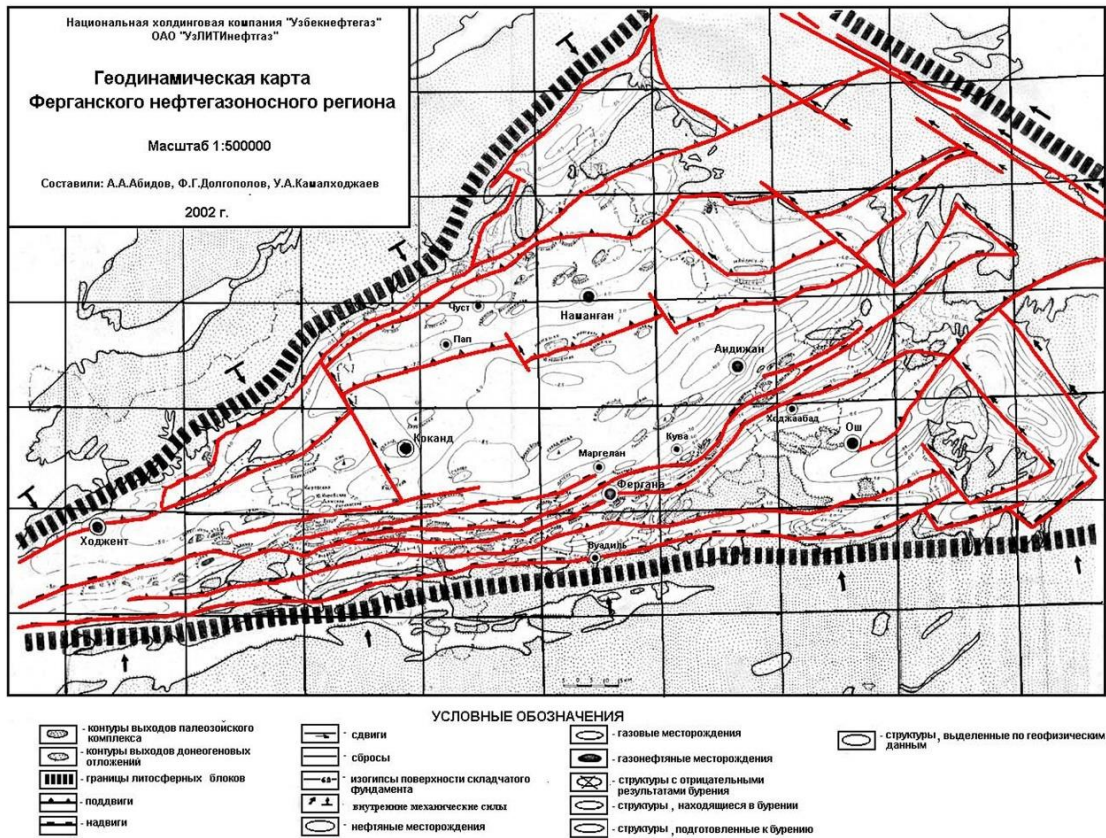


Рис. 4, в. Геодинамическая карта Ферганского региона (составители: Абидов А.А., Долгополов Ф.Г., Камалходжаев У.А., 2002 г.).

Fig. 4, v. Geodynamic map of the Ferghana region (compiled by: Abidov A.A., Dolgopolov F.G., Kamalkhodzhaev U.A., 2002).

Современные движения (признаки 21-22), напряжения и геодинамическое состояние (признаки 23-27) определялись по результатам моделирования [8-10] (рис. 5-7).

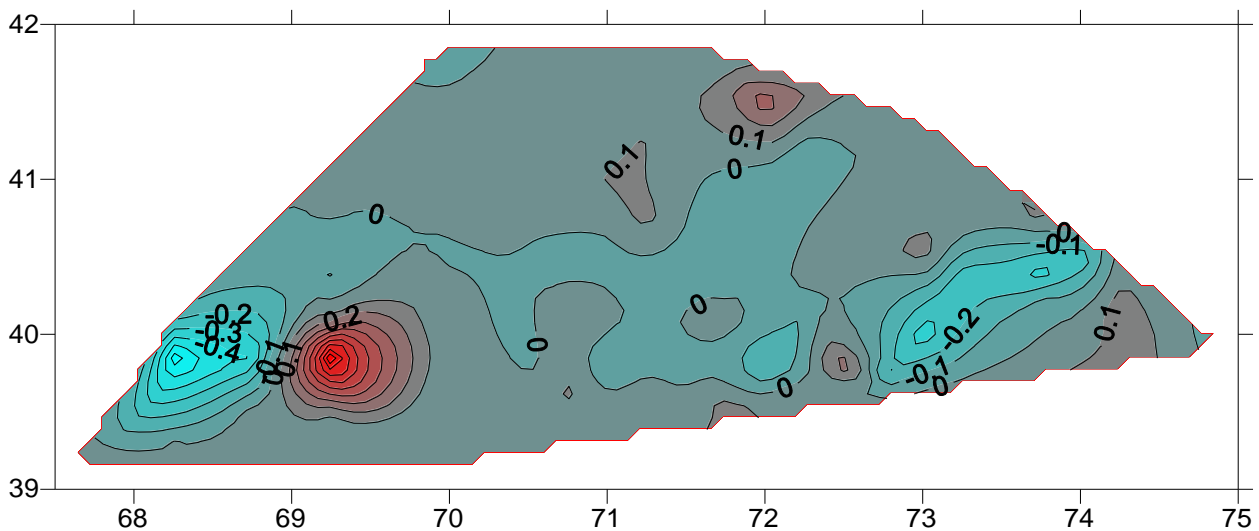


Рис. 5. Вертикальные скорости земной коры Ферганской впадины.

Fig. 5. Vertical velocities of the Earth's crust of the Ferghana trench.

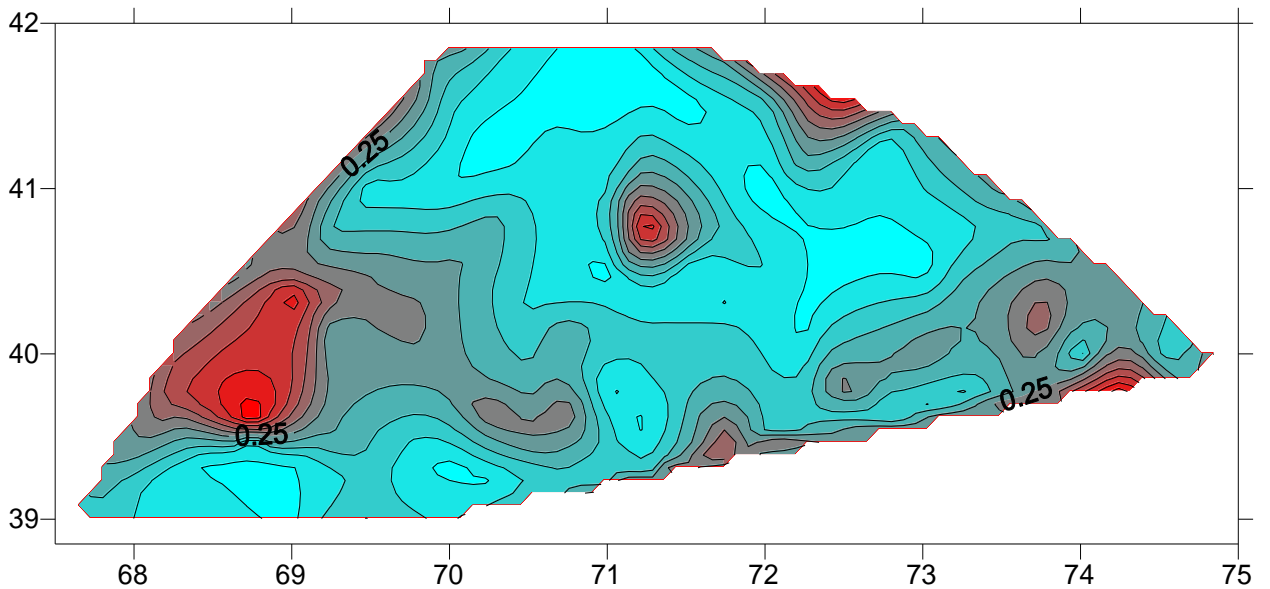


Рис. 6. Тангенциальные напряжения земной коры Ферганской впадины.

Fig. 6. Tangential stresses of the Earth's crust of the Ferghana trench.

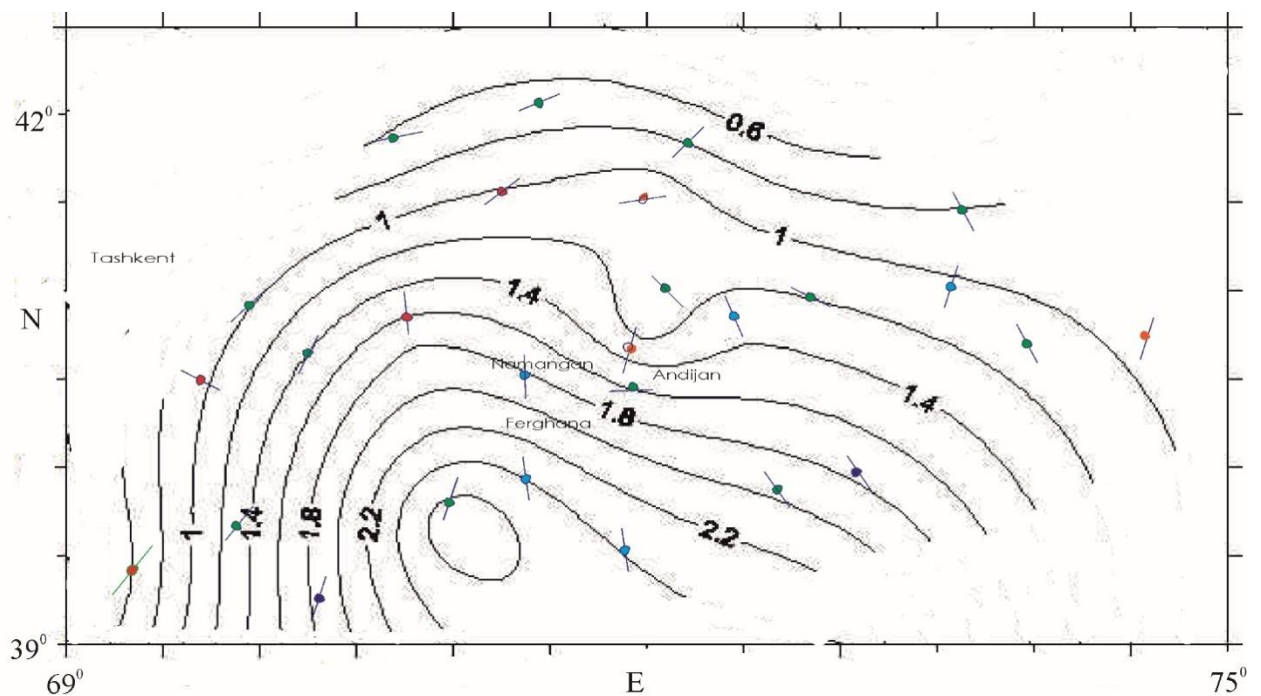


Рис. 7. Наибольшее горизонтальное напряжение (сжатие) σ_1 (в 1:102 МПа) для глубин 15-20 км. По горизонтали – восточная долгота, по вертикали – северная широта. Ориентация стрелок указывает направление σ_1 . По классификации геодинамического состояния, по Андерсону, в случае землетрясения, указана возможность осуществления взброса (красные), сброса (синие), и сдвига (зеленые).

Fig. 7. The highest horizontal stress (compression) σ_1 (in 1:102 MPa) for depths of 15-20 km. Horizontally, the eastern longitude, vertically, the northern latitude. The orientation of the arrows indicates the direction σ_1 . According to the classification of the geodynamic state according to Anderson in the event of an earthquake, it indicates the possibility of a rise (red), a reset (blue), and a shift (green).

Один из важных признаков в реализованном алгоритме «Кора-3» [1] – пересечение разломов. В то же время, трудно определить достоверную схему разломов, поскольку у разных авторов картины значительно отличаются. Особенно это касается поперечных разломов (см., например, рис. 4, а и 4, б).

Для решения задачи прогнозирования землетрясений в соответствии с алгоритмом «Кора 3» формируется таблица обучения, строками которой являются описания сейсмических зон $A = \{a_{ij} \ (i = 1...n, j = 1...m)\}$. Все зоны разделены на два класса, характеризующиеся наличием или отсутствием прогнозируемых сейсмических проявлений – землетрясений магнитудой $M \geq M_0$. Для каждого класса находятся характеристические множества наборов признаков. В качестве таких наборов признаков в алгоритме рассматриваются всевозможные наборы из 3 признаков из числа заданных n признаков. Характеристическое множество класса состоит из всех наборов значений признаков, которые встречаются только в данном классе и не встречаются в другом классе.

Таким образом, определенные множества наборов значений признаков $\{a_r, a_u, a_v\}$ называются характеристиками класса K_1 . Аналогично определяются характеристики $\{a_r, a_u, a_v\}$ класса K_2 . На этапе распознавания заданного объекта $S = (a_1, a_2, \dots, a_n)$. его наборы значений признаков сравниваются с характеристиками соответствующих троек для классов K_1 и K_2 . Обозначим $\Gamma(S, K_i)$ – меру близости объекта S к классу K_i – количество наборов значений признаков S , которые совпадают с характеристиками класса K_i , $i = 1, 2$. Если $\Gamma(S, K_1) > \Gamma(S, K_2) + \Delta$, где $\Delta > 0$, то объект S относят к классу K_1 , иначе – к классу K_2 . Качество алгоритма распознавания определяется долей правильно распознанных объектов.

Результаты моделирования

В табл. 3 приводятся результаты распознавания. Землетрясение 0 и 1 указывают значение 30 столбца табл. 1. Прогноз 0 или 1 означает соответствие распознавания. Числитель и знаменатель оценки указывает долю $\Gamma(S, K_1) / \Gamma(S, K_2)$ в классе K_1 и K_2 . Корректный или ошибочный прогноз сейсмичности отмечается метками TRUE или FALSE. В данном случае из 17 событий правильно определены 16, т. е. точность распознавания 94,1%. При этом алгоритм показывает, что в зоне 12 возможно сильное землетрясение с $M \geq 6,5$ с долей 169,7 против 66,78.

Таблица 3

Результаты распознавания сильных землетрясений с $M \geq 6,5$ с помощью алгоритма «Кора-3»

Зоны	Результаты классификации
1	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 98,00/45,14
3	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 69,44/68,71
4	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 82,00/53,43
8	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 60,11/53,43
12	Землетрясение 0, прогноз 1, оценки: 66,78/169,7
13	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 132,56/8,14
14	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 126,56/45,29
15	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 119,44/3,00
16	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 110,89/1,14
17	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 102,56/33,86
2	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 73,70/133,67
5	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 50,80/94,83
6	землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 37,20/65,17
7	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 71,90/117,33
9	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 55,00/118,00
10	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 32,10/125,17
11	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 39,80/133,50
	Точность = 94,1

Очевидно, что различные признаки не равнозначны. Знания значимости признаков могут быть полезны для понимания механизмов проявления сейсмических явлений и формирования модели сейсмических явлений. Такая оценка поможет выбрать наиболее значимые показатели и отбросить наименее важные для построения модели.

Полученные веса в результате реализации алгоритма показаны на рис. 8. Как интуитивно предполагалось, близость максимального касательного напряжения к пределу мгновенной прочности возглавляет этот ряд. Затем идут признаки пересечения активных разломов и современных движений (вертикальные скорости), перепад высот, если они небольшие, и горы с предгорными возвышенностями. Региональное сжатие и растяжение имеют приблизительные веса, равные другим морфологическим признакам. Удивительно, что флуктуации коэффициента Рихтера-Гуттенберга и активности землетрясений имеют небольшие веса. А различные виды характера землетрясений тоже особо не различаются.

Из 17 зон алгоритм «Кора-3» смог точно определить принадлежность своему классу в 16 зонах, т. е. точность распознавания 94,1%. Результат алгоритма показывает (см. табл. 3), что в зоне 12 возможно землетрясение с $M \geq 6,5$ (землетрясение 0, прогноз 1 с голосом 169 против 66).

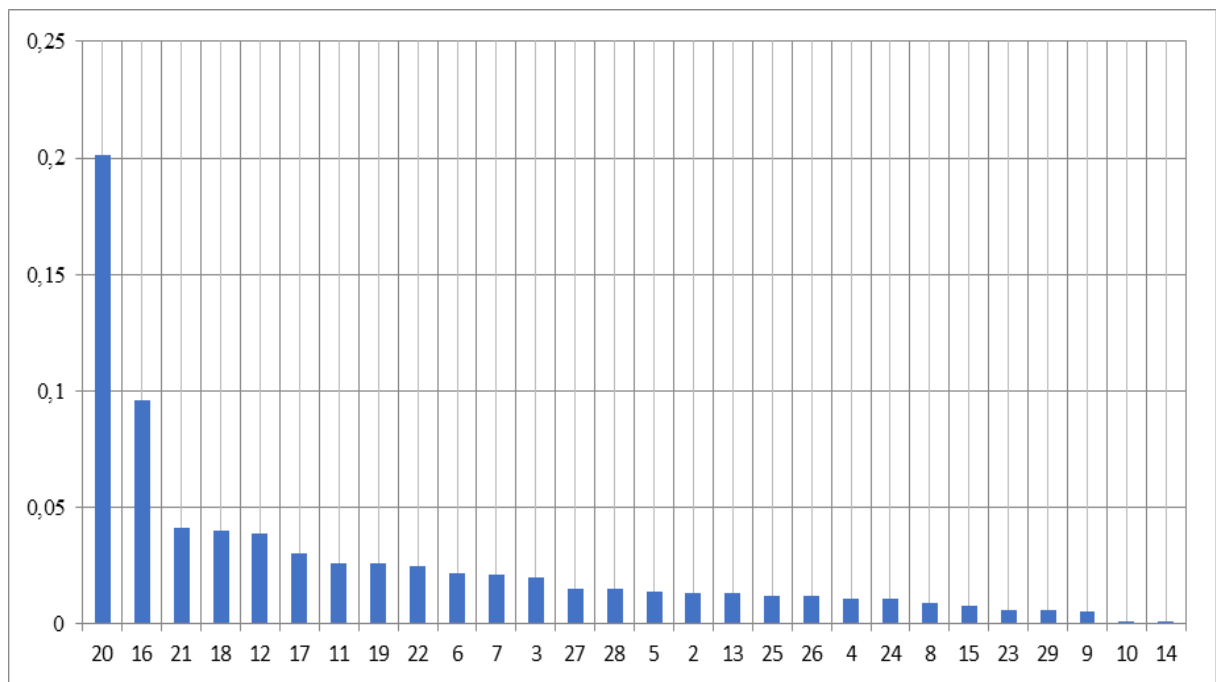


Рис. 8. Веса признаков, приведенные в табл. 2, в результате реализации алгоритма.

Fig. 8. The weights of the features shown in Table 2 as a result of the implementation of the algorithm.

Для проверки достоверности метода решили данную задачу с помощью четырех комбинаций (алгоритм «Кора-4»), вместо трех (табл. 4). Результат алгоритма также подтверждает возможность землетрясений в зоне 12 с $M \geq 6,5$ (землетрясение 0, прогноз 1 с голосом 884 против 406). Тектонически эта зона находится как бы в тисках Северного Тянь-Шаня, который перемещается в сторону юго-запада и Южного Тянь-Шаня с продвижением на запад. И вполне правдоподобно, что здесь в будущем могут быть достаточно большие напряжения, для возникновения сильных землетрясений.

Таблица 4

Результаты распознавания сильных землетрясений с $M \geq 6,5$ с помощью алгоритма «Кора-4»

Зоны	Результаты классификации
1	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 734,78 122,00
3	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 584,89 347,86
4	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 738,22 229,43

8	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 567,33 343,43
12	Землетрясение 0, прогноз 1, оценки: 406,22 884,71
13	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 1217,00 6,29
14	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 1039,11 189
15	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 1164,22 7,29
16	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 1071,44 2,43
17	Землетрясение 0, прогноз 0, оценки: 860,67 124,14
2	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 433,10 541,17
5	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 388,10 474,83
6	Землетрясение 1, прогноз 0, оценки: 432,70 322,33
7	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 376,50 496,17
9	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 451,50 545,33
10	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 319,30 671,17
11	Землетрясение 1, прогноз 1, оценки: 303,10 701,67
	Точность = 88,2

Результаты показали, что с помощью алгоритма «Кора» можно выделить наиболее важные признаки для мониторинга сильных землетрясений и места возможных сильных землетрясений на будущее. Следующим этапом работы должно быть расширение географической территории прогноза землетрясений. Полученные результаты могут найти применение при оценке сейсмической опасности и планировании сейсмостойкого строительства.

Заключение

Реализованы алгоритмы «Кора-3» и «Кора-4» для нахождения мест возможных сильных землетрясений.

Определены наиболее важные геодинамические признаки, сопутствующие сильным землетрясениям.

По алгоритмам «Кора» в зоне 12 (рис. 2) в Ферганской впадине возможно сильное землетрясение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.Л., Кейлис-Борок В.И., Раницман Е.Я. О критериях высокой сейсмичности // Докл. АН СССР. - 1972. - Т. 202. - № 6. - С. 1317-1320.
2. Бонгард М.М., Вайнцвайг М.Н., Губерман Ш.А., Извекова М.Л., Смирнов М.С. Использование обучающей программы для выявления нефтеносных пластов // Геология и геофизика. - 1966. - № 6. - С. 96-105.
3. Гишиани А.Д., Соловьев А.А., Дзедобоев Б.А. Проблема распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений: актуальный обзор // Физика Земли. - 2020. - № 1. - С. 5-29. DOI: 10.31857/S0002333720010044
4. Кособоков В.Г., Щепалина П.Д. Времена повышенной вероятности возникновения сильнейших землетрясений мира: 30 лет проверки гипотезы в реальном времени // Физика Земли. - 2020. - № 1. - С. 43-52. DOI: 10.31857/S0002333720010068
5. Шебалин П.Н. Увеличение радиуса корреляции и цепочки землетрясений перед сильнейшими сейсмическими событиями // Физика Земли. - 2020. - № 1. - С. 30-42. DOI: 10.31857/S0002333720010135
6. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. - М.: Наука, 1964. - 536 с.
7. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. - М.: Наука, 1985. - 405 с.
8. 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
9. Садыков Ю.М., Атабеков И.У., Ибрагимов Р.С. Сеймотектонический анализ и развитие математической модели напряженно-деформированного состояния земной коры в зоне коллизии Западного Тянь-Шаня с Памирской дугой // Геотектоника. - 2023. - № 3. - С. 67-77. DOI: 10.31857/S0016853X23030062

Kuchli zilzilalar joyini aniqlash uchun «Kora-3» va «Kora-4» algoritmlarini qo'llash tajribasi (Farg'ona tushgani misabi asosida)

I.U. Atabekov, R.A. Lutfullaev, J.K. Mamarahimov

Annotatsiya. Zilzilalarni bashorat qilish muammosini hal qilish nazariy va amaliy xarakterdagi qiyinchiliklarga duch keladi. Sababi, zilzilaning paydo bo'lishi ko'plab omillarga bog'liq bo'lib, ular prekursor sifatida ishlatiladigan turli xil anomalialarni keltirib chiqaradi. Ammo zilzila jarayonining murakkabligi va Yer qobig'ining batafsil tuzilishi haqida ko'p ma'lumotlarning mavjud emasligi sababli, ularning oz qismi kelajakdagi seysmik hodisalarni aniq ko'rsatishi mumkin. Kompyuterni o'rgatishni qo'llash natijalari, agar turli omillar birgalikda birlashtirilgan bo'lsa, kelajakda kuchli zilzilalar haqida aniqroq ma'lumot olish imkoniyatiga imkon beradi. Zilzilaning eng muhim belgilarini aniqlash va O'zbekistonning muayyan seysmik faol hududida, ya'ni Farg'ona chuqurligida kuchli zilzilalarning fazoviy joylashuvini aniqlash uchun «Qora-3» algoritmi amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: Farg'ona depressiyasi, zilzila, geodynamic model, stress, obrazlarni aniqlash, «Qora-3».

Experience of application of «Cora-3» and «Cora-4» algorithms for identification of strong earthquakes (on the example of the Fergana depression)

I.U. Atabekov, R.A. Lutfullaev, J.K. Mamarahimov

Abstract. Solving the problem of predicting earthquakes faces difficulties of both theoretical and practical nature. The reason is that the occurrence of earthquakes depends on many factors, which give rise to various anomalies that are used as precursors. But because of the complexity of the earthquake process, and the unavailability of much information about the detailed structure of the Earth's crust, a small number of them can accurately indicate future seismic events. The results of the application of machine learning give hope for the possibility of obtaining more accurate information about future strong earthquakes if disparate factors are combined together. To determine the most important signs of an earthquake and determine the spatial location of strong earthquakes in a specific seismically active territory of Uzbekistan, namely in the Fergana depression, the «Cora-3» algorithm was implemented.

Key words: Fergana depression, earthquake, geodynamical modeling, stress, pattern recognition, «Cora-3».

MUHANDISLIK SEYSMOLOGIYASI

УДК 550.8.024

РАЗРАБОТКА СТАНЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОТРЕМОРА НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНОГО МИКРОКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI

*И.Р. Янбухтин¹, Т.У. Мамарозиков², А.Ш. Закиров¹, А.В. Ли¹, У.Т. Мусаев¹,
Н.К. Орипов¹, И.М. Алимухамедов¹, Г.Ю. Абдурахманов¹*

¹ *Центр Передовых технологий при Министерстве высшего образования,
науки и инноваций, г. Ташкент*

² *Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан*

Аннотация. Рассматривается весьма актуальный вопрос сейсмической защиты, разработка эффективных методов оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, а также сейсмического мониторинга. Цель исследований, проводимых в рамках проекта ПЛ-5221091401, – создание аппаратно-программного комплекса для оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений. В рамках проекта будет создан и впервые применен в Узбекистане аппаратно-программный комплекс с использованием RASPBERRY PI для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, состоящий из станции с датчиками движения и установленным программным обеспечением для их работы.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, сейсмостойкость, оценка, тестирование, дефицит, здание, микроконтроллер, Raspberry Pi.

Введение.

Строительство – это один из драйверов роста национальной экономики. В последние годы в нашей стране отмечается строительный бум. Расширение строительства связано с такими факторами как рост населения, увеличение благосостояния и покупательской способности граждан. В свою очередь, рост строительства способствует созданию новых архитектурных решений и улучшению инфраструктуры.

В нашей республике существует определенный пробел в системе обслуживания и сейсмического мониторинга крупных народно-хозяйственных объектов. Для устранения таких пробелов государство стало уделять большое внимание и финансовую поддержку по обеспечению безопасности стратегических объектов и, в первую очередь, населения. В целях внедрения системы непрерывного инструментального сейсмологического мониторинга на водоемах, расположенных в сейсмоактивной зоне страны, и обеспечения выполнения Указа Президента от 30 июля 2020 г. № ПП-4794 «О мерах по коренному улучшению системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» Кабинет Министров Республики Узбекистан подписал постановление «О внедрении системы непрерывных инструментальных сейсмологических наблюдений за водными объектами, расположенными в сейсмоактивных зонах республики» 17 декабря 2020 г.

В связи с этим для нашей страны весьма актуальным становится вопрос сейсмической защиты, разработка эффективных методов оценки сейсмостойкости зданий, а также сейсмического мониторинга.

Целью исследований, проводимых в рамках проекта ПЛ-5221091401, является создание аппаратно-программного комплекса для оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений. В рамках проекта впервые будет создан и применен в Узбекистане аппаратно-программный комплекс с использованием RASPBERRY PI для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, состоящий из станции с датчиками движения и установленным программным обеспечением для их работы.

Методы. Успехи в исследованиях, связанных с характеристикой недр или сейсмической опасности, часто ограничиваются чрезмерной стоимостью необходимой аппаратуры. Этот факт, наряду с растущим развитием микроконтроллеров и электронных платформ с открытым исходным кодом, привел к разработке некоторыми исследователями сейсмических одно-, трех- и многоканальных регистраторов [Soler-Llorens, 2019].

Так, в работе Sarao и др. для образовательных целей был разработан недорогой сейсмометр на базе Arduino. Однако вариации частоты дискретизации и амплитуды делают его ненадежным для исследовательских целей. В работах Picozzi и др. и Fischer и др. для систем раннего оповещения о землетрясениях были разработаны различные беспроводные сейсмические регистраторы. Однако в этих работах не раскрывается синхронизация между станциями, необходимая для измерений массива сейсмических данных [Soler-Llorens, 2019a].

Среди имеющегося набора геофизических и, в первую очередь, сейсмических методов в последние годы в мировой практике стал широко применяться метод Накамуры (EuroCode8), который позволяет с использованием трехкомпонентной регистрации микросейсмического природного фона исследовать сооружения с целью получения АЧХ постройки и оценивать его основные параметры, необходимые для экспресс-оценки сейсмической устойчивости зданий и прогноза их поведения при землетрясениях. Применяя ресурсы программы ARTEMIS MODAL, имеется возможность получения результатов модального анализа на заданную строительную конструкцию и проведение оценок её сейсмической устойчивости [Ventura et al., 2001; Andersen et al., 2008; Benedettini et al., 2011].

Для получения АЧХ постройки зачастую применяются акселерометры или велосиметры имеющие в своем конструктивном исполнении трехосевой велосиметр или акселерометр, GPS, аналого-цифровой преобразователь, карта памяти и модуль управления. В рамках решения задачи по разработке аппаратно-программного комплекса для оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений разработана модель прибора, основанного на одноплатном микрокомпьютере Raspberry Pi (рис. 1) с модулями АЦП ADS1256, акселерометра ADXL355, GPS NEO6MV2, энергонезависимыми часами внутреннего времени RTC 3132, велосиметрами GD-2, GD-2H, аккумулятор.

Для стабильной работы комплекса требуется минимум 2 Гб оперативной памяти и 2-ядерный процессор с тактовой частотой 1,5 ГГц. Также требуются интерфейсы для подключения датчика, LED-индикаторов и элементов управления.

Одноплатный компьютер Raspberry Pi 4B соответствует данным требованиям, а также имеет дополнительные преимущества, такие как большое сообщество пользователей и разработчиков, что позволяет выбирать более оптимальные программные модули, библиотеки и решения.

В качестве языка разработки и среды выполнения программной части был выбран Python версии 3, так как для данного языка программирования существует обширная база решений для математических расчетов и, что не менее важно, для сейсмологических задач. Краткий перечень подобных решений:

- NumPy – математические функции и процедуры;
- SciPy – библиотека для научных вычислений;
- ObSPi – библиотека для решения сейсмологических задач.

Программная часть комплекса для оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений состоит из нескольких важных частей:

- основное приложение – для выполнения считывания данных об ускорениях с датчика, предварительной обработки и сохранения в виде текстовых файлов;
- специальные настройки Raspberry Pi OS (основанная на Debian операционная система для Raspberry Pi) – для обслуживания основного приложения, для обработки кнопочного интерфейса, для активации работы GPS приемника.

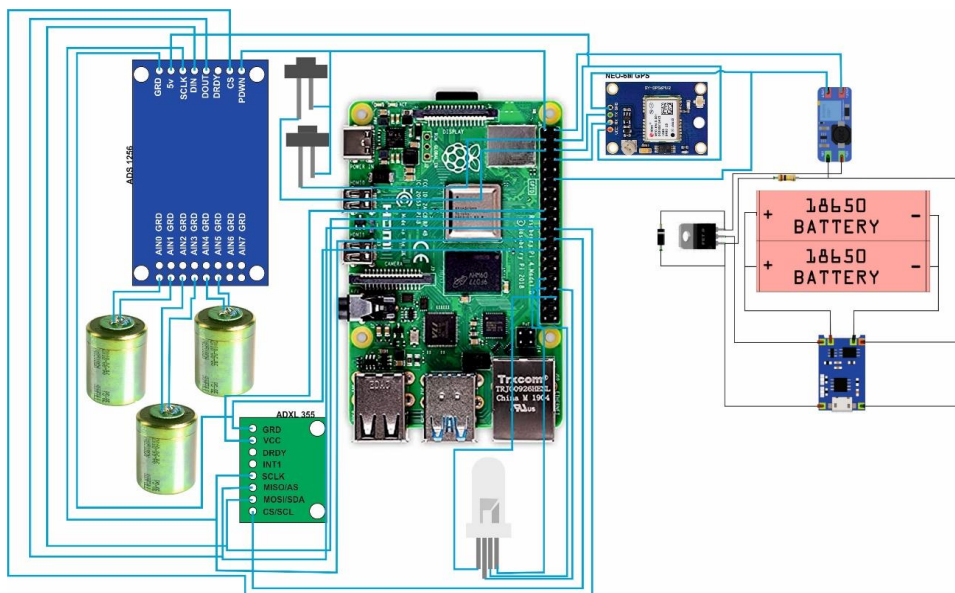


Рис. 1. Схема подключения модулей.
Fig. 1. Module connection diagram.

Результаты

С целью определения работоспособности и пригодности к работе устройства тестирование аппаратно-программного комплекса проводилось в несколько этапов:

- 1) испытание коммутации отдельных элементов с использованием различных методов их подключения;
- 2) испытание всех элементов аппаратно-программного комплекса в совокупности на макетной плате;
- 3) испытание собранного аппаратно-программного комплекса в разработанном корпусе (рис. 2).

Каждый этап включал стресс-тестирование, при котором имитировались различные условия работы: нестабильное питание, неправильная установка комплекса для замеров, ошибки эксплуатации комплекса.

Финальное тестирование включало длительный сбор данных и последующую обработку для анализа результатов. При финальном тестировании проводилось испытание с синхронной записью двух приборов на базе Raspberry Pi 4 + ADXL355 и сопоставлялись результаты с записью коммерческого прибора Tromino (Италия) (рис. 3).

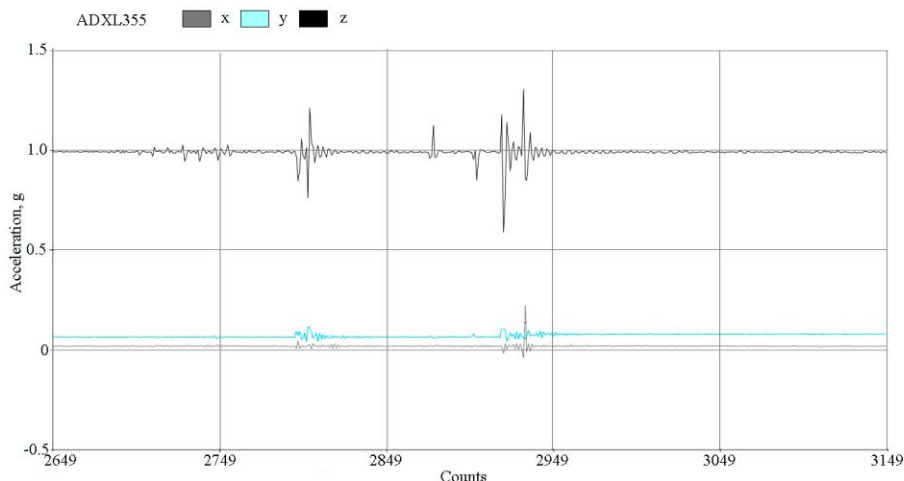


Рис. 2. Проверка работы модулей и наличия входного сигнала с ADXL355.
Fig. 2. Checking the operation of the modules and the presence of an input signal from ADXL355.

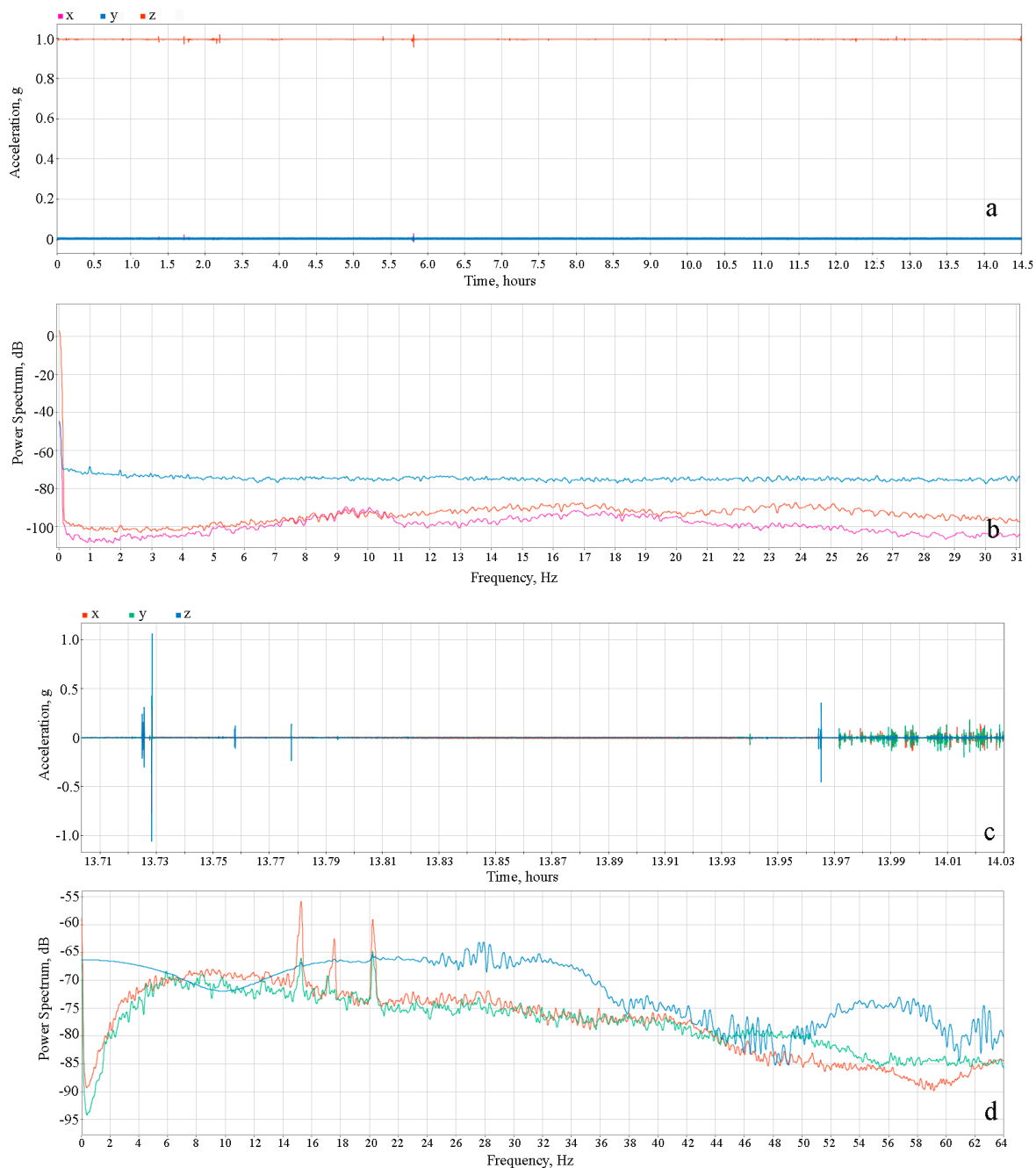


Рис. 3. Записи колебаний с использованием разрабатываемого устройства (a) и Tromino (c) с изображением спектров записей (b, d).

Fig. 3. Recordings of vibrations using the device under development (a) and Tromino (c) with images of recording spectra (b, d).

Обсуждение. Полученные результаты (см. рис. 3) показывают, что разработанная система имеет аналогичные характеристики в записи. Различие в данных по амплитуде вызвано наличием программно-регулируемого усиления в программном обеспечении Tromino.

В спектральной области записи приборов имеют также аналогичный характер, различие проявляется лишь в частотном диапазоне ниже 2,5 Гц. Это вызвано наличием программно-регулируемого усиления на Tromino, который производит усиления и нормировку по низкочастотному спектру.

Испытания показали что собранный опытный образец аппаратно-программного комплекса позволяет получить идентичные записи колебаний. Дальнейшие работы направлены на доработку программной части для решения задач сбора, передачи и обработки данных.

Выводы. В ходе исследования разработана концептуальная модель аппаратно-программного комплекса для оценки дефицита сейсмостойкости на основе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi. Тестирование разработанной модели с имеющимся аналогом Tromino позволило выявить дополнительные направления для дальнейших работ.

Исследование проведено в рамках прикладного гранта IL-5221091401, финансируемого Министерством высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen P., Brincker R., Ventura C., Cantieni R. (2008) Mode Estimation of Civil Structures Subject to Ambient and Harmonic Excitation Proceedings of the 26th International Modal Analysis Conference (IMAC) Orlando, Florida USA.
2. Benedettini F., Morassi A. (2011) Dynamic testing, structural identification and damage detection on Dogna's bridge. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2011, Leuven, Belgium.
3. Soler-Llorens, Juan Luis & Galiana-Merino, Juan & Benabdeloued, Boualem Youcef Nassim & Rosa-Cintas, Sergio & Zamora, Javier & Giner-Caturla, Jose. (2019). Design and Implementation of an Arduino-Based Plug-and-Play Acquisition System for Seismic Noise Measurements. Electronics. 8. 1035. 10.3390/electronics8091035.
4. Soler-Llorens, Juan Luis & Galiana-Merino, Juan & Giner-Caturla, José & Rosa-Cintas, Sergio & Benabdeloued, Boualem Youcef Nassim. (2019a). Geophonino-W: A Wireless Multichannel Seismic Noise Recorder System for Array Measurements. Sensors. 19. 4087. 10.3390/s19194087.
5. Ventura C.E., Brincker R., Dascotte E., Andersen P. (2001) FEM Updating of the Heritage Court Building Structure Proceedings of the 19th International Modal Analysis Conference (IMAC), Kissimmee, Florida, P. 324-330.

Raspberry pi bitta platatali mikrokompyuter asosida mikrotremorni o'lchash stantsiyasini ishlab chiqish
I.R. Yanbukhtin, T.U. Mamarozikov, A.Sh. Zakirov, A.V. Li, U.T. Musayev, N.K. Oripov, I.M. Alimuhamedov, G'.Yo'. Abdurahmonov

Аннотасија. Ushbu maqolada seysmik himoyaning juda dolzarb muammosi, shuningdek, bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholash va seysmik monitoringning samarali usullarini ishlab chiqish muhokama qilinadi. IL-5221091401 loyihasi doirasida olib borilayotgan tadqiqotning maqsadi bino va inshootlarning seysmik chidamliligi tanqisligini baholash uchun apparat-dasturiy kompleks yaratishdan iborat. Loyiha doirasida O'zbekistonda birinchi marta bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholash uchun RASPBERRY PI dan foydalangan holda sensorlar ulanadigan stantsiyadan va ularning ishlashi uchun yaratilgan dasturiy ta'minotdan iborat apparat-dasturiy kompleks yaratiladi va qo'llaniladi.

Kalit so'zlar: apparat va dasturiy ta'minot to'plami, zilzilaga chidamlilik, baholash, sinov, tanqislik, bino, mikrokontroller, Raspberry Pi.

Development of a station for measuring microtremor based on a single-board raspberry pi microcomputer
I.R. Yanbukhtin, T.U. Mamarozikov, A.Sh. Zakirov, A.V. Lee, U.T. Musaev, N.K. Oripov, I.M. Alimukhamedov, G.Yu. Abdurakhmanov

Annotation. This article discusses the very pressing issue of seismic protection, as well as the development of effective methods for assessing the seismic resistance of buildings and structures and seismic monitoring. The goal of the research carried out within the framework of the project IL-5221091401 is to create a hardware and software complex for assessing the deficiency of seismic resistance of buildings and structures. Within the project, a hardware-software complex using RASPBERRY PI will be created and applied for the first time in Uzbekistan to assess the seismic resistance of buildings and structures, which will consist of a station to which sensors will be connected, as well as software for their operation.

Key words: hardware and software complex, seismic resistance, assessment, testing, shortage, building, microcontroller, Raspberry Pi.

УДК 550.34.06.013.3

ПРИМЕНЕНИЕ ФК АНАЛИЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Б.Г. Алимов, Т.С. Курбанов*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан
bahadirka84@gmail.com ; timamail1978@gmail.com*

Аннотация. В этой статье мы руководствовались одним из методов формирования луча – ФК-анализа, который составляет основу суммирования сигналов и анализа частотно-волновых чисел.

Ключевые слова: ФК анализ, землетрясение, азимут, сейсмограмма, сейсмические группы.

Введение. С момента появления в 1960-х годах сейсмические группы дали новый толчок в развитии сейсмологии. Близко расположенные между собой сейсмометры дают возможность для детального изучения мелкомасштабной структуры Земли, а также сейсмические группы могут давать с точностью направление на азимут приходящих сейсмических сигналов. Большинство методов с использованием сейсмических групп позволяет измерять векторную скорость фронта падающей волны. Эту информацию можно использовать для обнаружения различных сейсмических фаз, а также для дискриминации сейсмических событий.

Методика исследования. Сейсмическая группа – это система связанных сейсмометров, расположенных по правильной геометрической схеме (крест, круг, прямоугольник и т. д.) для повышения чувствительности к обнаружению землетрясений. Сейсмическая группа отличается от локальной сети сейсмических станций главным образом методами анализа данных [1]. Данные сейсмической группы получаются с использованием специальных методов цифровой обработки сигналов, таких как формирование диаграммы направленности, которые подавляют шумы и тем самым улучшают отношение сигнал/шум-(SNR).

При использовании отношения сигнал/шум-(SNR) сейсмический сигнал можно улучшить путем суммирования когерентных сигналов с отдельных участков группы. Самым важным моментом в процессе формирования луча является поиск наилучшего времени задержки, при котором отдельные трассы должны быть сдвинуты перед суммированием (рис. 1), чтобы получить наибольшие амплитуды за счет интерференции сигналов [1].

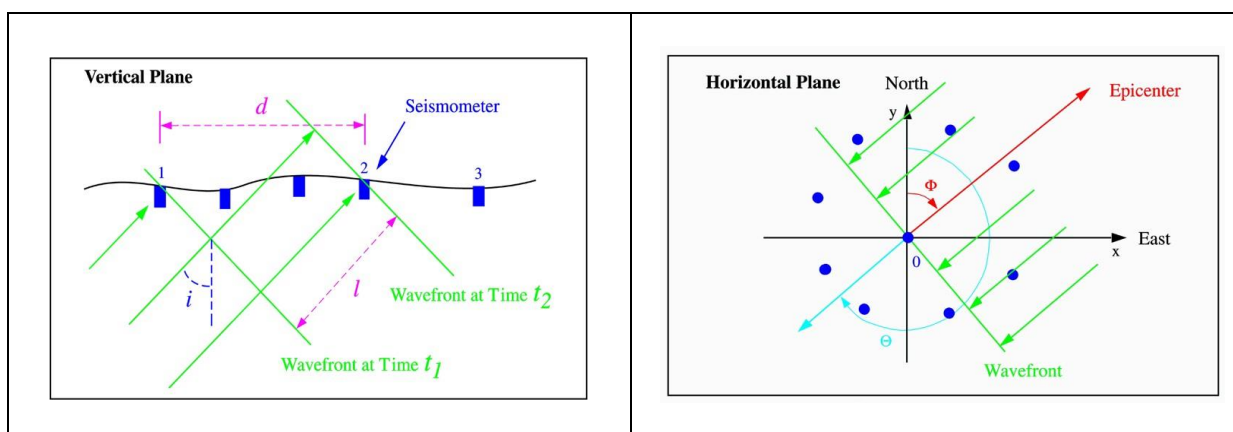


Рис. 1. Вертикальная и горизонтальная составляющие волнового фронта.

Fig. 1. Vertical and horizontal components of the wave front.

Направление прихода и распространение волнового фронта, проецируемого на горизонтальную плоскость, определяются углами Φ и θ .

Φ – угол прихода волнового фронта, измеряемый по часовой стрелке от севера к направлению к эпицентру в градусах.

θ – направление распространения волнового фронта, измеряемое в градусах от севера, с $\theta = \Phi \pm 180^\circ$.

D_j – горизонтальные расстояния между сейсмической группой j и центральной частью, км.

S – вектор медленности с абсолютным значением $s = 1/v_{app}$.

v_{app} – вектор кажущейся скорости с абсолютным значением $v_{app} = 1/s$.

$v_{app} = (v_{app,x}, v_{app,y}, v_{app,z})$.

$v_{app,h}$ – абсолютное значение горизонтальной составляющей кажущейся скорости.

$$v_{app,h} = \sqrt{v_{app,x}^2 + v_{app,y}^2} [1].$$

Угол в вертикальной плоскости, измеренный между направлением выхода и вертикалью, называется углом наклона i , где $i \leq 90^\circ$. Сейсмическая скорость под группой в самой верхней части земной коры и угол наклона определяют кажущуюся скорость распространения волнового фронта, пересекающего группу.

$$v_{app,h} = \frac{d}{(t_2 - t_1)} = \frac{v_c}{\sin i} [1],$$

$$v_{app,z} = \frac{v_c}{\cos i} [1].$$

Прямая волна, распространяющаяся в направлении зеленой стрелки со скоростью v_c , достигает поверхности Земли. Разложение этой скорости на вертикальную ($v_{app,z}$) и горизонтальную составляющие ($v_{app,h}$) кажущейся скорости зависит от угла падения i . Горизонтальная составляющая скорости равна скорости распространения v_c только для волн, распространяющихся параллельно поверхности; во всех остальных случаях v_{app} выше, чем v_c (рис. 2).

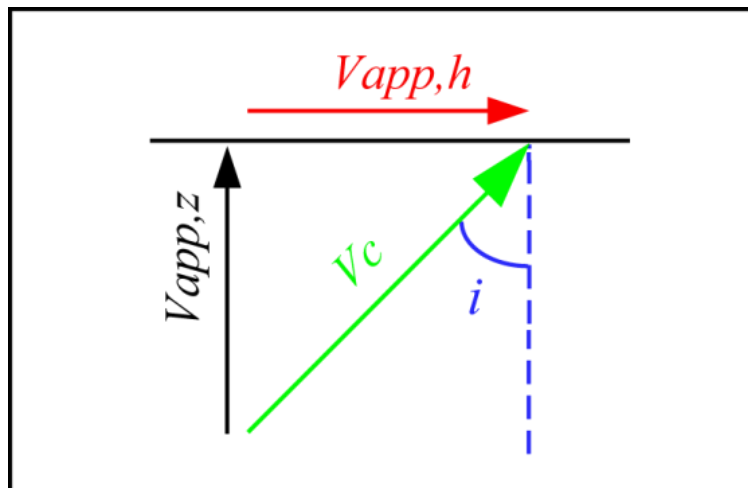


Рис. 2. Направление распространения скорости прямых волн.

Fig. 2. The direction of propagation of the speed of direct waves.

Оценка медленности заключается в формировании лучей с различными векторами медленности и сравнении амплитуд или мощности лучей, а также поиске лучшего луча путем поиска комбинации v_{app} и обратного азимута с наибольшей энергией в луче.

ФК-анализ. Частотно-волновой анализ используется в качестве справочного инструмента при обработке сейсмических групп для оценки медленности. Этот метод был предложен Кейпоном в 1969 г. [2] и получил дальнейшее развитие, включив широкополосный анализ, а также методы оценки максимального правдоподобия в 1980-х годах [3].

В методологии используется детерминированный, непериодический характер распространения сейсмических волн для расчета частотно-волнового спектра сигналов путем применения многомерного преобразования Фурье. Монохроматическая плоская волна $w(x, t)$ будет распространяться вдоль направления x , согласно уравнению:

$$w(x, t) = Ae^{i2\pi(f_0t - k_0x)},$$

его можно переписать в частотной области как:

$$W(k_x, f) = A\delta(f - f_0)\delta(k_x - k_0),$$

что предполагает возможность отображения монохроматической плоской волны в области частотно-волновых чисел в точку с координатами $(f, k_x) = (f_0, k_0)$.

В результате ФК анализа получается спектральная плотность сигнала как функция зависимости от медленности и азимута на эпицентр. Спектральная плотность сигнала, изображенная на координатной сетке, называется диаграммой (рис. 3). На диаграмме анализа показано, как азимут откладывается по азимутальной оси, а медленность – по радиальной [4].

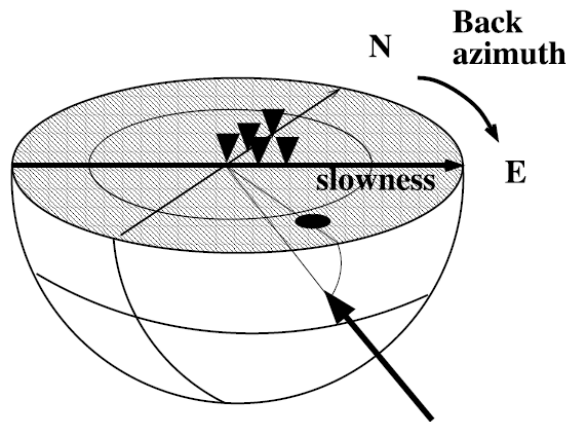


Рис. 3. Схема определения медленности и азимута на эпицентр.

Fig. 3. The figure shows a diagram for determining the slowness and azimuth to the epicenter.

Угол в вертикальной плоскости, измеренный между направлением выхода и вертикалью, называется углом наклона i , где $i \leq 90^\circ$. Сейсмическая скорость в самой верхней части земной коры и угол наклона определяют кажущуюся скорость распространения волнового фронта, пересекающую группу. Обратная величина кажущейся скорости называется медленностью S (slowness), которая является постоянной для определенного луча. Для локальных и региональных применений единица медленности измеряется в -с/км. Для глобального применения больше используется - с/град, что определяет медленность называемым лучевым параметром. Лучевой параметр главных сейсмических фаз обычно вносится в таблицу стандартных моделей Земли вместе с временами пробега как функции расстояния от источника.

Основная часть. Примеры сейсмических групп. На практике анализ ФК выполняется в частотной области и в принципе представляет формирование диаграммы направленности в частотной области для ряда различных значений медленности. В NORSAR (рис. 4) используются значения медленности от -0,4 до 0,4 с/км, равномерно распределенные на 51 точке [5].

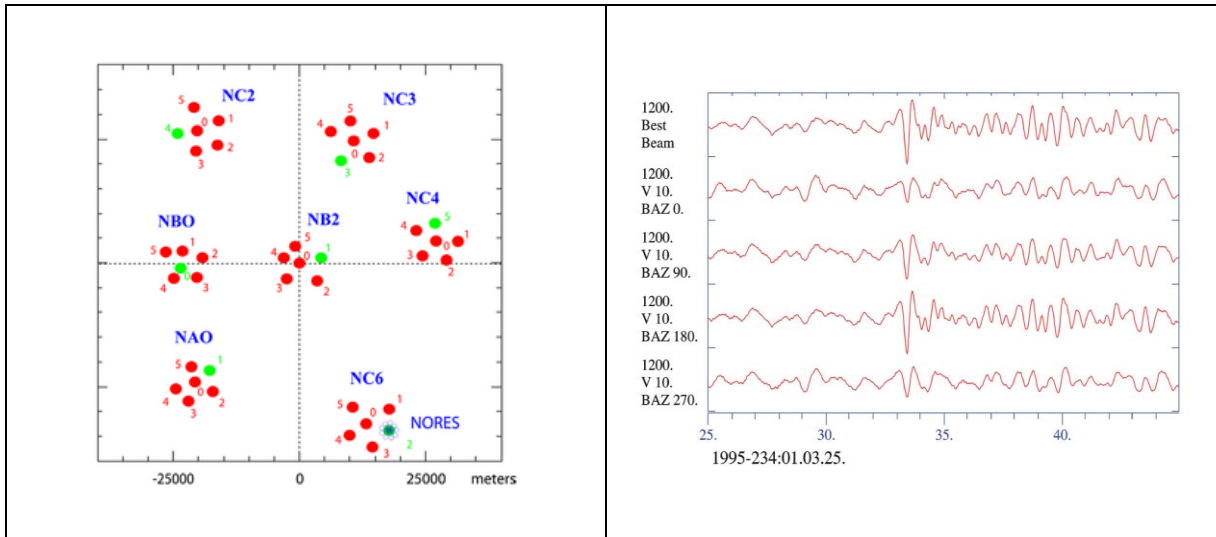


Рис. 4. Конфигурация массива NORSAR и пример выбора наилучшего луча NORES [5].

Fig. 4. NORSAR array configuration and example of selecting the best NORES beam [5].

Рассмотрим примеры схематичной расстановки сейсмических групп «Курчатов-крест» (KURK) и «Маканчи» (MKAR) (рис. 5).

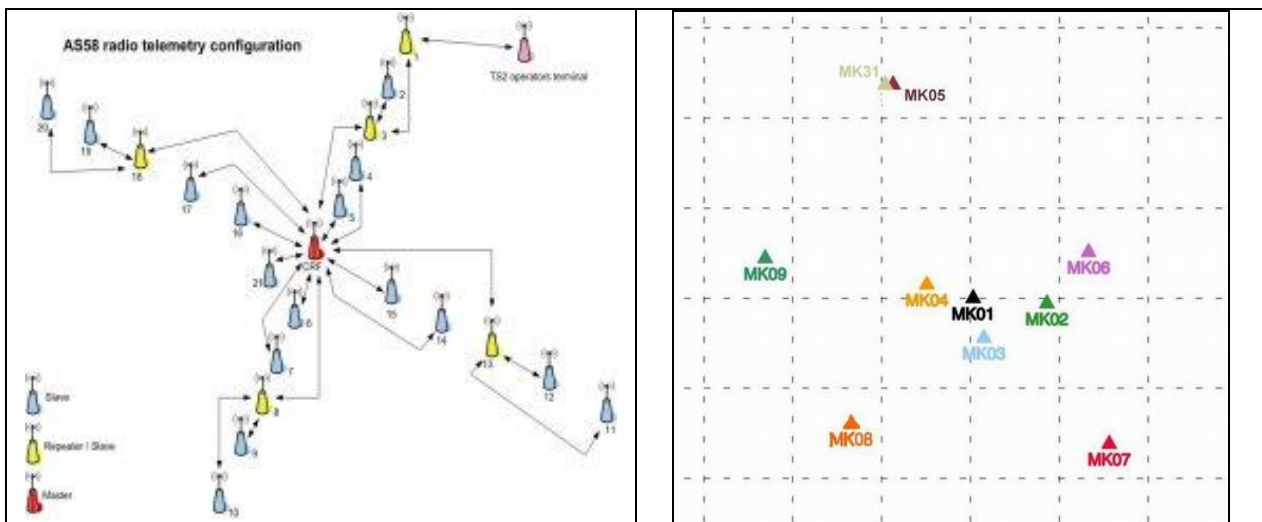


Рис. 5. Вспомогательная сейсмическая группа «Курчатов-Крест» (KURK) слева [6], первичная сейсмическая группа «Маканчи» (MKAR) справа [7]. Республика Казахстан.

Fig. 5. Auxiliary seismic group «Kurchatov-Crest» (KURK) on the left [6], primary seismic group «Makanchi» (MKAR) on the right [7]. The Republic of Kazakhstan.

В районах с очень низким уровнем сейсмического шума, в пределах массивов, сложенных горными породами с прекрасными передаточными характеристиками, сейсмические станции идеально подходят для осуществления мониторинга на региональных и телесеизмических расстояниях.

Сейсмическая группа «Курчатов-Крест» [6] представляет два пересекающихся линейных профиля приборных скважин с сейсмическими датчиками (ссылка на схему сейсмической группы). Азимуты простирания профилей: 10° (меридиональный профиль, KUR1-KUR10) и 320° (широтный профиль, KUR11-KUR20). Длина каждого профиля

~22,5 км. На каждом профиле имеется по 10 приборных скважин (пунктов) с общим центральным пунктом в месте пересечения профилей. Среднее расстояние между пунктами профиля ~ 2,25 км. В скважинах установлены вертикальные сейсмометры CMG-3V (пункты KUR1-KUR20). В центре (KUR21, KUR BB) установлен сейсмометр CMG-3ТВ. Все сейсмометры фирмы Guralp. Регистрирующая аппаратура: 24-битные АЦП Europa-T (Nanometrics). Частота оцифровки: 40 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS. В декабре 2006 г. станция была сертифицирована комиссией МСМ (Международная система мониторинга), в качестве вспомогательной станции МСМ.

Сейсмическая группа «Мақанчи» [7] состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Радиус внутреннего кольца ~500 м, наружного ~2000 м. На 9 пунктах в скважинах установлены однокомпонентные вертикальные сейсмометры GS21 (Geotech Instruments). Кроме того, имеется одна широкополосная трехкомпонентная станция с сейсмометром CMG-3ТВ (Guralp). Регистрирующая аппаратура; 24-битные АЦП AIM24S (Science Horizons). Частота оцифровки: 40 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS.

Вспомогательная сейсмическая группа международной системы мониторинга (МСМ) «Курчатов-Крест» (KURK) расположена вблизи г. Курчатов Восточно-Казахстанской области. 80% территории расположения элементов группы составляют эффузивно-осадочные образования каменноугольного периода, зачастую перекрытые чехлом рыхлых кайнозойских отложений различной мощности.

Вспомогательная сейсмическая группа международной системы мониторинга (МСМ) «Боровое» (BVAR) [8] расположена в Бурабайском районе Акмолинской области Республики Казахстан, вблизи пос. Воробьевка на территории Государственного национального природного парка «Бурабай». Участок расположен в пределах Боровского гранитного массива, приурочен к восточной периферийной части массива. Конфигурация сейсмической группы следующая: вокруг центра BVA0, BVA1 на окружностях с радиусами ~700 м и ~1500 м расположены два контура скважин с сейсмическими датчиками. Центральный датчик (BVA0) – широкополосный, трехкомпонентный CMG-3ТВ (Guralp), остальные 9 сейсмометров однокомпонентные, вертикальные GS21 (Geotech Instruments).

Регистрирующая аппаратура: 24-битные АЦП Europa фирмы Nanometrics. Частота оцифровки: 40 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS. Сейсмическая группа была сертифицирована комиссией МСМ в декабре 2002 г.

Решение задачи. Для начала произведен сравнительный анализ.

Событие первое. Туябугузское землетрясение с магнитудой $M_s = 5,2$, произошедшее 25 мая 2013 г. в 03 ч 18 мин по Ташкентскому времени (24 мая в 22 ч 18 мин по Гринвичу) [9] (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры землетрясения 24 мая 2013 г., по данным различных сейсмологических центров [9]

Table 1

Main parameters of the earthquake of May 24, 2013 according to data from various seismological centers [9]

Сейсмологические сети	Время в очаге	Широта	Долгота	h	Магнитуда
UZB	22:18:33.0	40.630	69.670	15	$K_p = 14.1$, $M_p = 5.5$
ISC	22:18:32.5	40.912	69.286	12,7	$M_s = 5.2/74$; $m_b = 5.2$
NNC	22:18:29.7	40.804	69.040	0	$K_p = 13.5$, $m_b = 6.0$, $mpv = 5.7$
NEIC	22:18:33.9	40.912	69.171	19.2	$M_b = 5.3/80$, $M_w = 5.3$
IDC	22:18:30.5	40.855	69.227	0	$M_s = 4.8/35$; $m_b = 4.9/46$
ВЛ	22:18:30.7	40.930	69.340	7	$M_s = 5.4/81$, $m_b = 5.1/64$

SOME	22:18:33.2	40.733	69.483	15	M _S per. = 5.5
MOS	22:18:31.9	40.905	69.161	19	M _s = 5.2/28, MPSP = 5.5/51
CA	22:18:31.9	40.850	69.110	-	K _P = 13.7, MPVA = 5.9
ГС АН РТ	22:18:30.0	40.920	69.200	10	K _P = 14.1
ARRAY (группа)	22:18:32.0	40.820	69.460	10	M _l = 6.1

Проведен также сравнительный результат с архивными сейсмическими данными Института сейсмологии АН РУз (рис. 6). Локализация эпицентра Туябугузского землетрясения выполнена по данным шести сейсмических станций Комплексной экспедиции Института сейсмологии АН РУз («Самарканд», «Чарвак», «Газли», «Нурата», «Джизак», «Ташкент»).

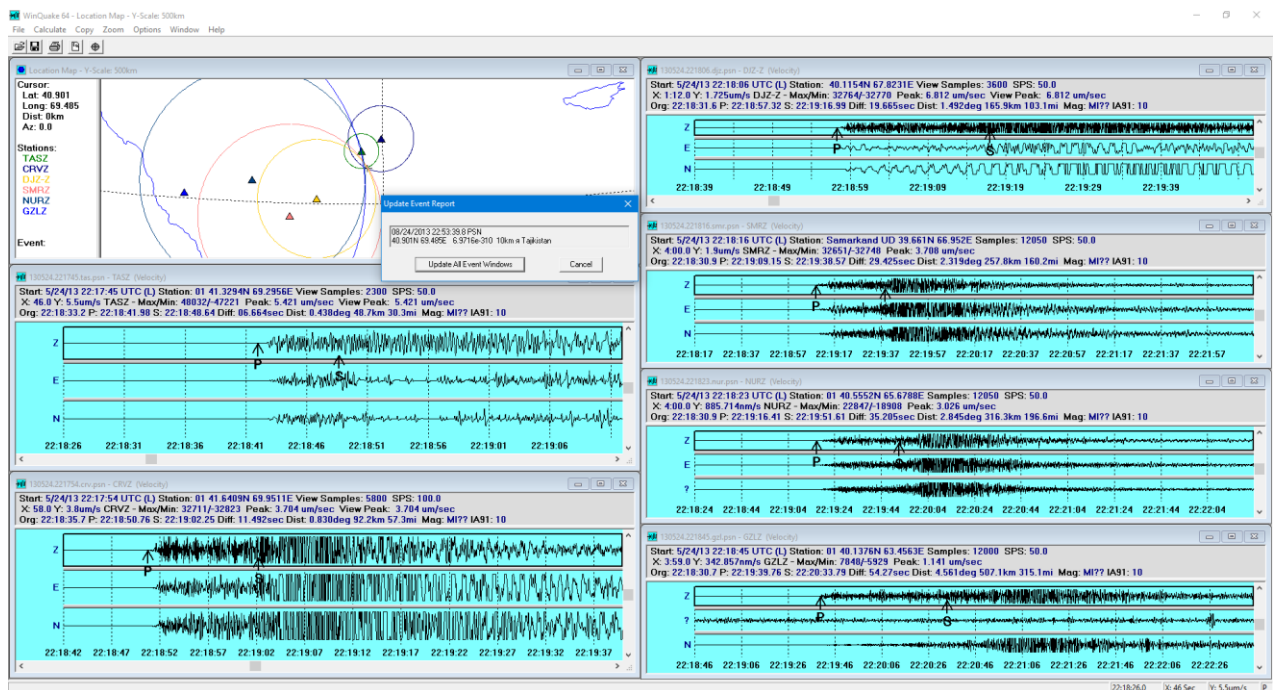


Рис. 6. Интерпретация обработки данных Туябугузского землетрясения в программе Winquake (скоростная модель IASP-91).

Fig. 6. Interpretation of data processing of the Tuaybuguz earthquake in the Winquake program (velocity model IASP-91).

Сравнительный анализ макросейсмического эпицентра Туябугузского землетрясения показывает, что координаты эпицентров территориально находятся в южной части Ташкентской области (рис. 7). Разброс решений по глубине равен $h = 9,2$ км (10-19,2 км), по магнитудам – более устойчивы магнитуды M_s , по поверхностным волнам – по данным основных агентств MOS и ISC, $M_s = 5,2$. Моментная магнитуда по сети NEIC составила $M_w = 5,3$. Средняя глубина залегания очага составляет $h = 13$ км. С применением ARRAY FK-анализа обработки сейсмических групп результат эпицентра события располагается южнее, так как основные сейсмические группы находятся на территории Республики Казахстан. Азимут на направление выдает вполне допустимые значения.

Величина расхождения интерпретации по Winquake (локальные станции) и GEOTOOL FK-анализ (по сейсмическим группам) составляет-14 км.

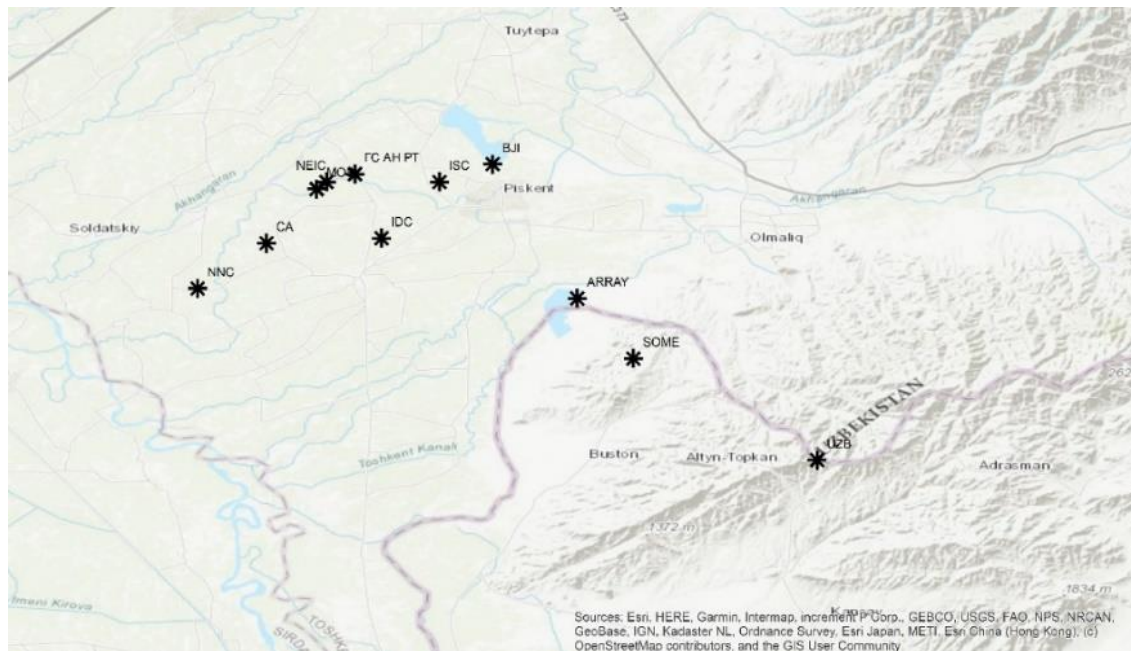


Рис. 7. Локализация эпицентра Туябугузского землетрясения по решениям разных сейсмологических центров. (ARRAY – эпицентр, полученный в результате применения FK-анализа).

Fig. 7. Localization of the epicenter of the Tuymen earthquake based on solutions from different seismological centers. (ARRAY is the epicenter obtained as a result of applying FK analysis).

Передаточная функция малоапертурной группы первичной сейсмической станции Алибек (GEYT) Республики Туркменистан, рассчитанная для среднечастотного сигнала, диапазон которой составляет 1 Гц. Логарифмическая спектральная плотность показана градациями цвета, максимальная частота которой 10 Гц (красный цвет). FK диаграмма для синтетического анализа сигнала показала значение с медленностью (slowness) 23,3 сек/градус и (Az) азимут на эпицентр 66° (рис. 8).

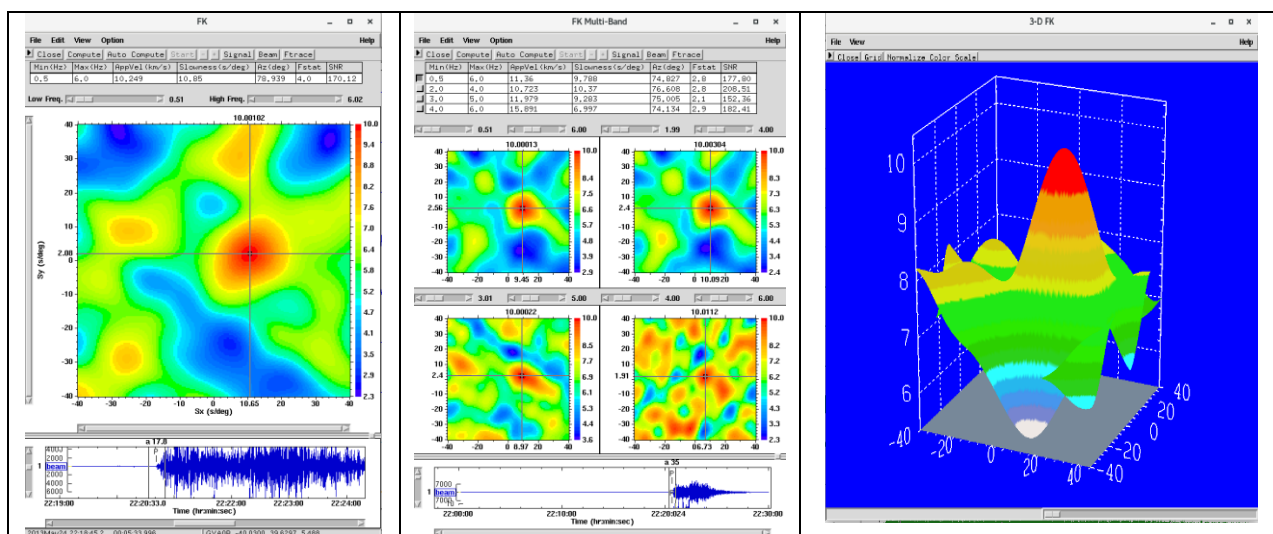


Рис. 8. Пример выбора наилучшего луча по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Алибек», (GEYT). Республика Туркменистан.

Fig. 8. An example of choosing the best beam based on a seismic event from the signal of the Alibek seismic group, (GEYT). Republic of Turkmenistan.

На рис. 9 отражен FK мультианализ для сейсмической группы «Макканчи» (MKAR). Диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (Sl)- 13,2 сек/градус и (Az) азимутом 244°.

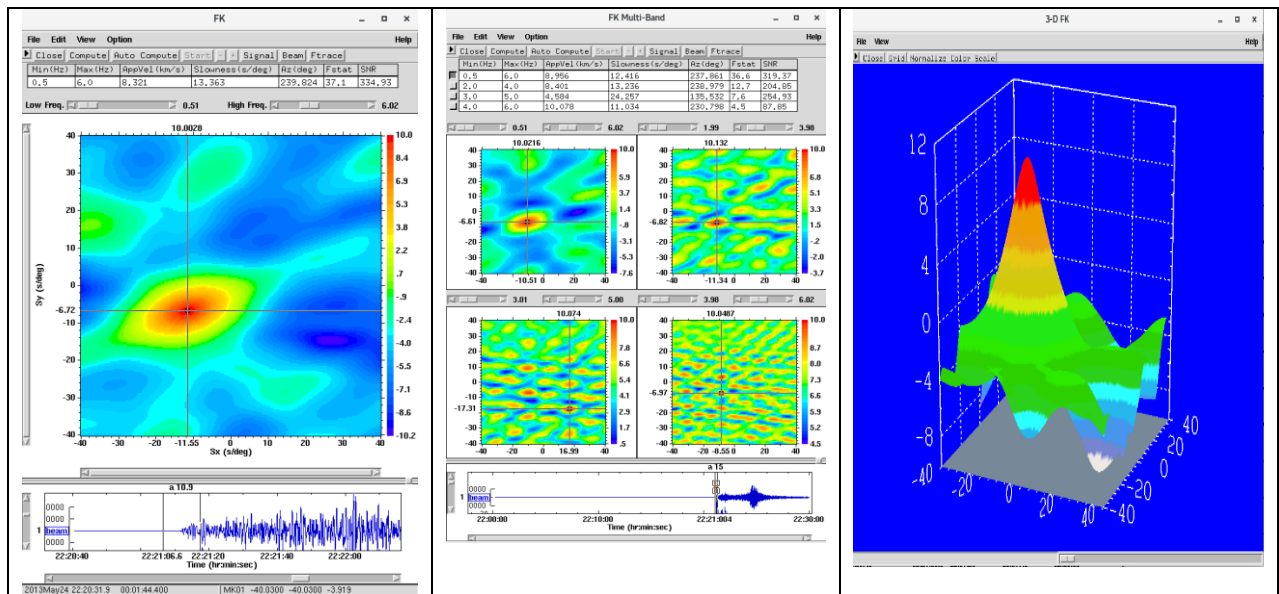


Рис. 9. Использование FK мультианализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Макканчи» (MKAR). Республика Казахстан.

Fig. 9. Using FK multi-analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Makanchi seismic group (MKAR). Republic of Kazakhstan.

На рис. 10 – FK мультианализ для сейсмической группы «Курчатов Крест» (KURK). Диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (Sl)- 12,9 сек/градус и (Az) азимутом 218°.

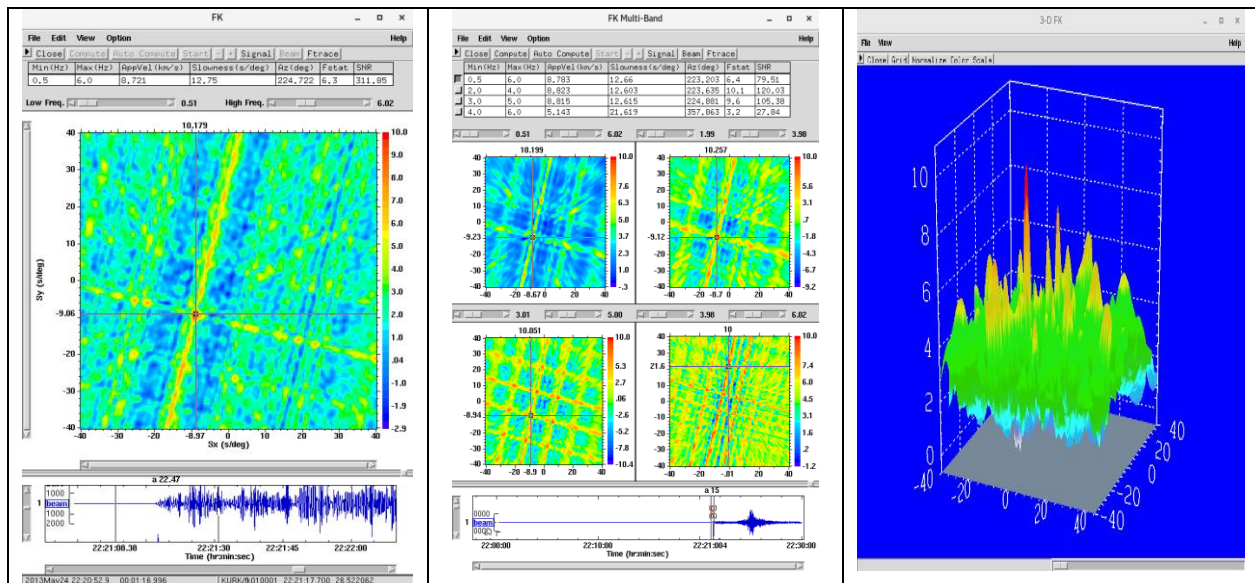


Рис. 10. Применение 3D FK анализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Курчатов Крест» (KURK). Республика Казахстан.

Fig. 10. Application of 3D FK analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Kurchatov Cross seismic group (KURK). Republic of Kazakhstan.

На рис. 11 отражен FK мультианализ для сейсмической группы «Боровое» (BVAR). Где диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (SI)- 13,7 сек/градус и (Az) азимутом 185°.

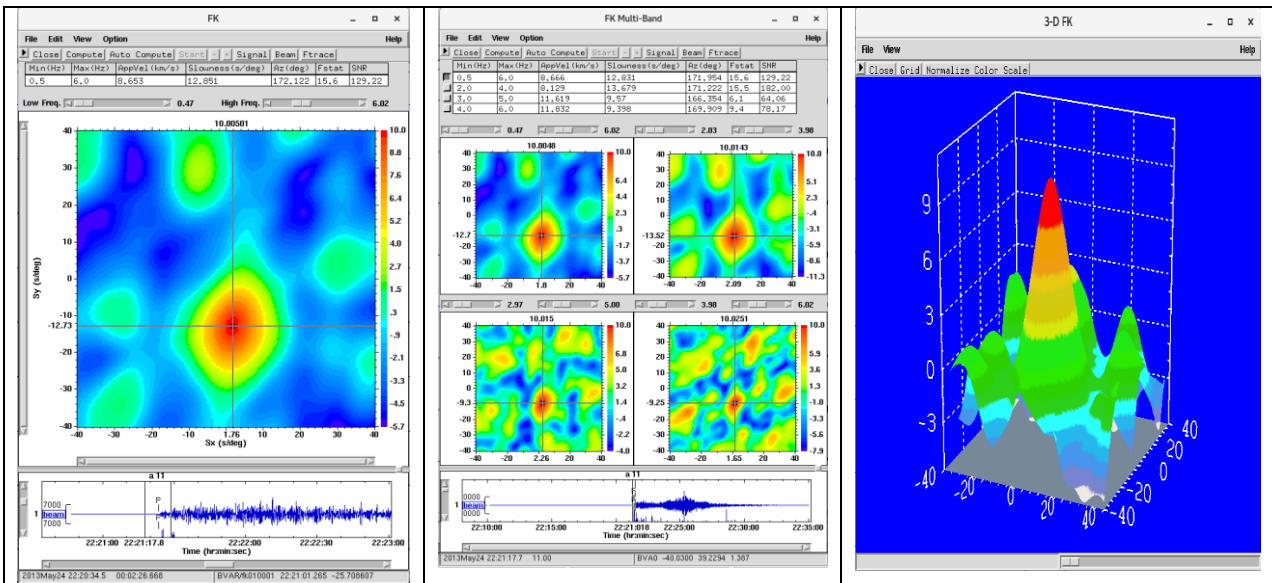


Рис. 11. Использование FK мультианализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Боровое» (BVAR). Республика Казахстан.

Fig. 11. Using FK multi-analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Borovoye seismic group (BVAR). Republic of Kazakhstan.

Конечный итог обработки данных – локация по сейсмическим группам и бюллетень события – на рис. 12.

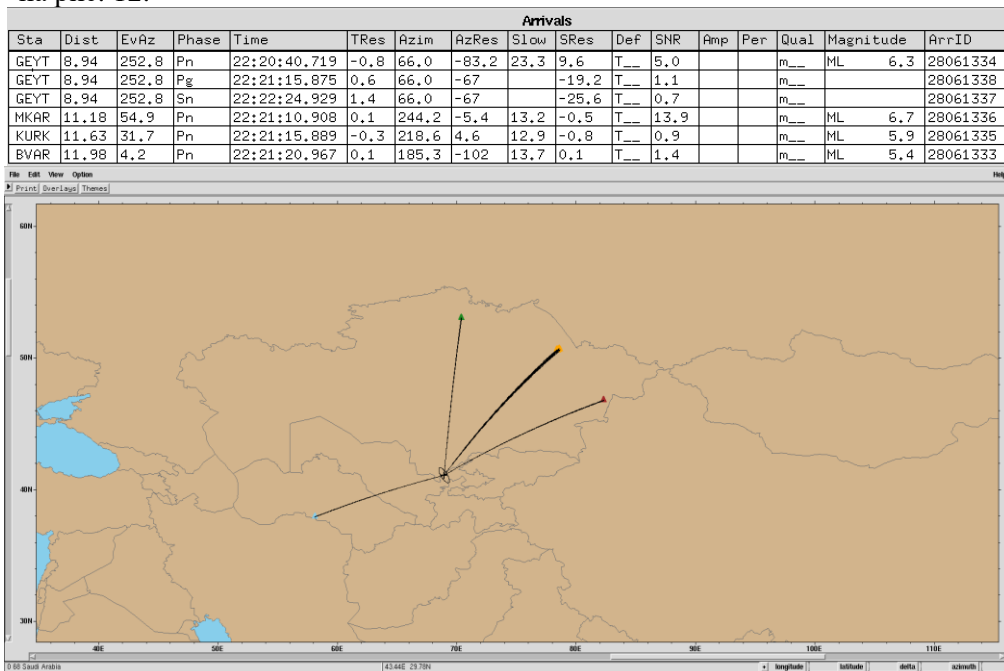


Рис. 12. Результаты обработки с использованием сейсмических групп. Сверху – бюллетень событий, снизу – азимут на эпицентр.

Fig. 12. Results of processing using seismic groups. Above is the event bulletin, below is the azimuth to the epicenter.

Событие второе. Рассмотрим решение вопроса на примере Маржанбулакского землетрясения, которое произошло 26 мая 2013 г. в 11 ч 08 мин по Ташкентскому времени (06 ч 08 мин по Гринвичу), в Джизакской области Юго-Западного Узбекистана, магнитуда которого составила $M = 6,2$ [10] (табл. 2).

Таблица 2

Основные параметры землетрясения 26 мая 2013 г., по данным различных сейсмологических центров [10]

Table 2

Main parameters of the earthquake of May 26, 2013 according to data from various seismological centers [10]

Сейсмологические сети	Время в очаге	Широта	Долгота	h	Магнитуда
UZB	06:08:16.1	39.96	67.34	16.5	KP = 15.0, M _p = 6.0
Tadj	06:08:16.0	39.90	67.60	10	KP = 15.0
Asia	06:08:16.1	39.20	67.40	-	KP = 14.0, MPVA = 6.2
NNC	06:08:14.7	40.154	67.103	0	KP = 13.0, mb = 6.3, mpv = 6.2
MOS	06:08:15.0	39.95	67.40	24	M _s = 5.9, M _w = 6.2
ISC	06:08:15.3	39.950	67.436	15	M _s = 5.9, mb = 6.2
NEIC	06:08:16.0	39.956	67.314	18	M _b = 6.2, M _s = 5.9
IDC	06:08:13.1	39.850	67.380	0	M _s = 5.7, mb = 5.6
ВЛ	06:08:13.3	39.970	67.39	20	M _s = 6.2, mb = 5.8
GCMТ	06:08:14.0	39.940	67.260	27	M _w = 5.8
ARRAY (группа)	06:08:19.5	39.904	67.400	18	M _l = 6.1

Проведен также сравнительный анализ с архивными сейсмическими данными Института сейсмологии АН РУз (рис. 13). Локализация эпицентра Маржанбулакского землетрясения выполнена по данным четырех сейсмических станций Комплексной экспедиции Института сейсмологии АН РУз («Самарканд», «Газли», «Нурата», «Джизак», «Ташкент»).

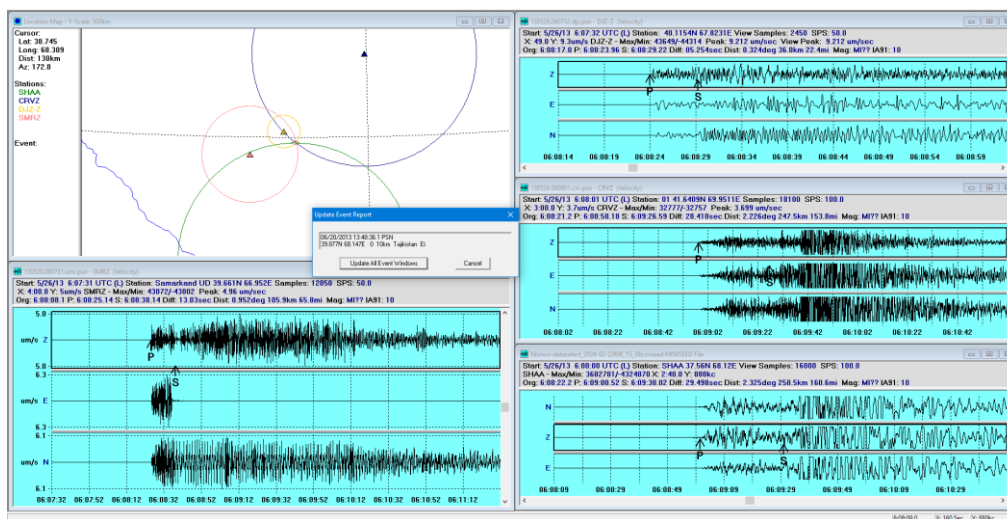


Рис. 13. Интерпретация обработки данных Маржанбулакского землетрясения в программе Winquake (скоростная модель IASP-91).

Fig. 13. Interpretation of Marzhanbulak earthquake data processing in the Winquake program (velocity model IASP-91).

Сравнительный анализ макросейсмического эпицентра Маржанбулакского землетрясения показывает, что координаты точек в большей степени территориально находятся в западной и юго-западной части Джизакской области (рис. 14). Разброс решений по глубине в среднем составил $h = 13$ км (0-27 км), по магнитудам – более устойчивы магнитуды M_S , по поверхностным волнам – по данным основных агентств MOS и ISC, $M_s = 5,9$. Моментная магнитуда по сети NEIC

составила – $M_w = 5,7$. Средняя глубина залегания очага $h = 13$ км. С применением ARRAY FK-анализа обработки сейсмических групп результат эпицентра события располагается в регионе вблизи к другим сетям. Азимут на направление выдает вполне допустимые значения.

Величина расхождения интерпретации, по Winquake (локальные станции) и GEOTOOL FK-анализ (по сейсмическим группам), составила 11 км.

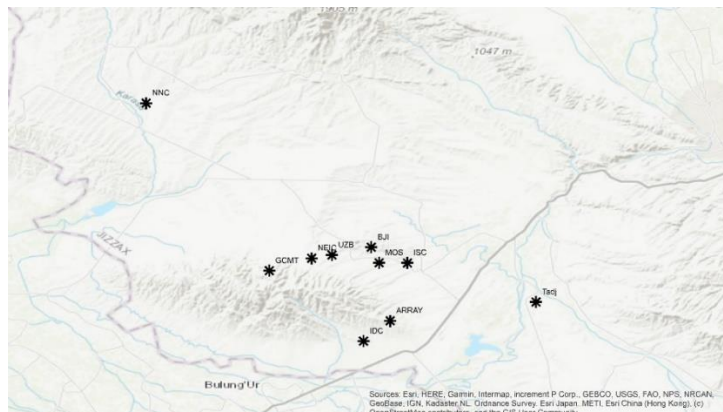


Рис. 14. Локализация эпицентра Маржанбулакского землетрясения по решениям разных сейсмологических центров (ARRAY – эпицентр, полученный в результате применения FK-анализа).

Fig. 14. Localization of the epicenter of the Marzhanbulak earthquake based on solutions from different seismological centers (ARRAY is the epicenter obtained as a result of applying FK analysis).

Анализ Маржанбулакского землетрясения произведен в программном комплексе GEOTOOL. Процесс анализа начинается с расстановки фаз и определения параметров землетрясения (рис. 15).

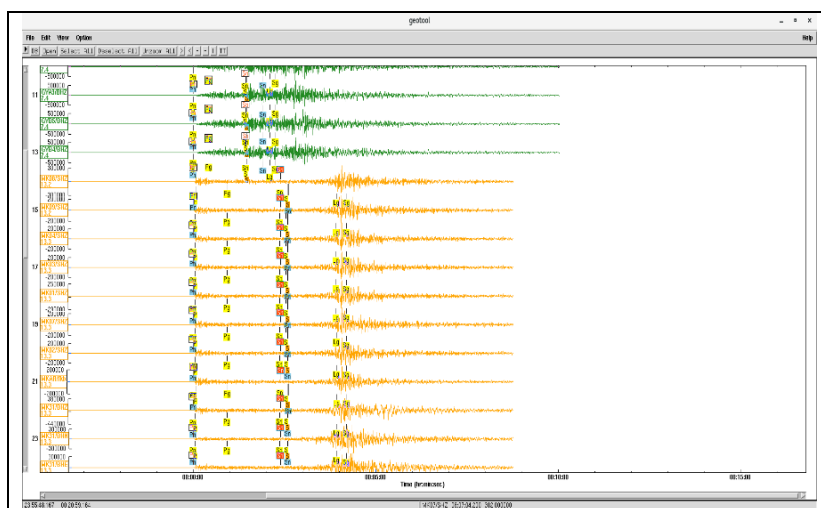


Рис. 15. Расстановка фаз и определение параметров землетрясения.

Fig. 15. Phase arrangement and determination of earthquake parameters.

Передаточная функция малоапертурной группы первичной сейсмической станции «Алибек» (GEYT) Республики Туркменистан рассчитана для среднечастотного сигнала, диапазон которого составляет 1 Гц. Логарифмическая спектральная плотность показана градациями цвета, максимальная частота которой 10 Гц (красный цвет). FK диаграмма для синтетического анализа сигнала показала значение с медленностью (slowness) -1,7 сек/градус и (Az) азимут на эпицентр 68° (рис 16).

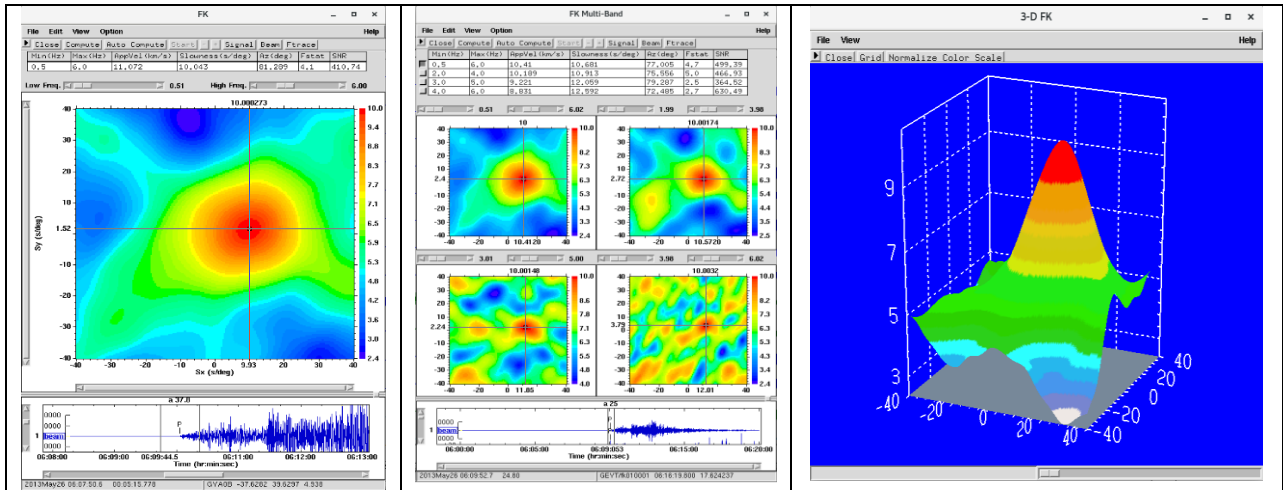


Рис. 16. Пример выбора наилучшего луча по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Алибек», (GEYT). Республика Туркменистан.
Fig. 16. An example of choosing the best beam based on a seismic event from the signal of the Alibek seismic group, (GEYT). Republic of Turkmenistan.

На рис. 17 отражен FK мультианализ для сейсмической группы «Маканчи» (MKAR). Диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (SI)- 13,0 сек/градус и (Az) азимутом 245°.

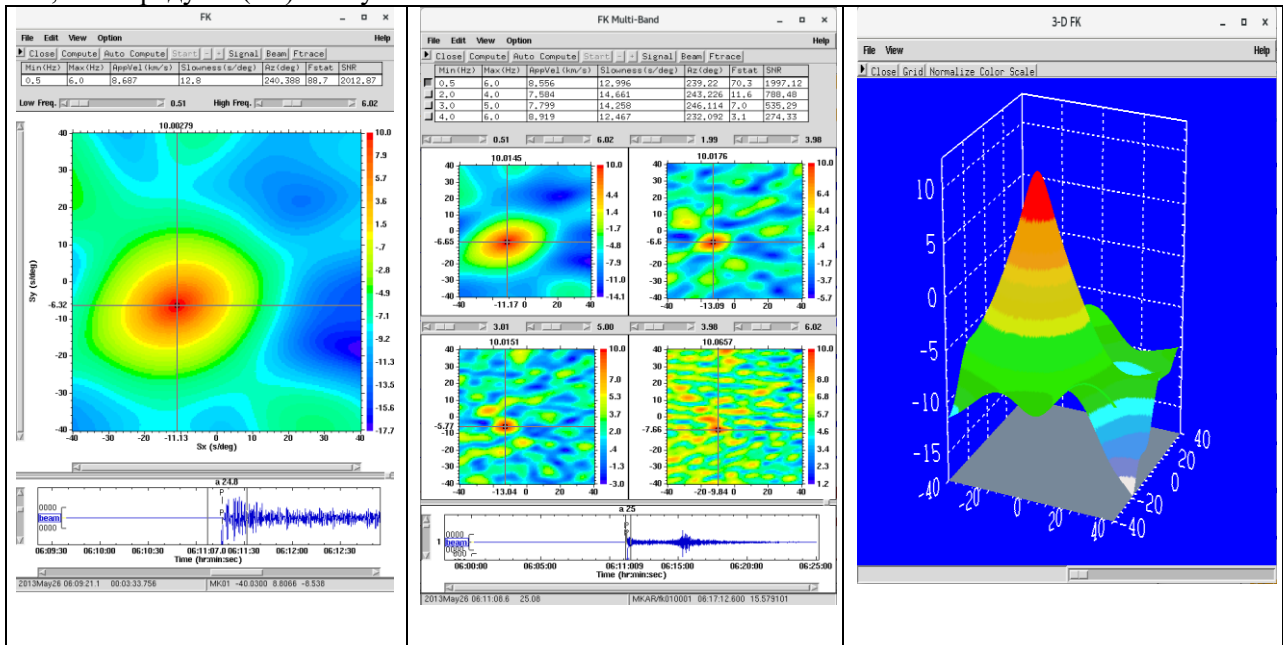


Рис. 17. Использование FK мультианализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Маканчи» (MKAR). Республика Казахстан.
Fig. 17. Using FK multi-analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Makanchi seismic group (MKAR). Republic of Kazakhstan.

На рис. 18 – FK мультианализ для сейсмической группы «Курчатов Крест» (KURK). Диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (SI)- 11,9 сек/градус и (Az) азимутом 222°.

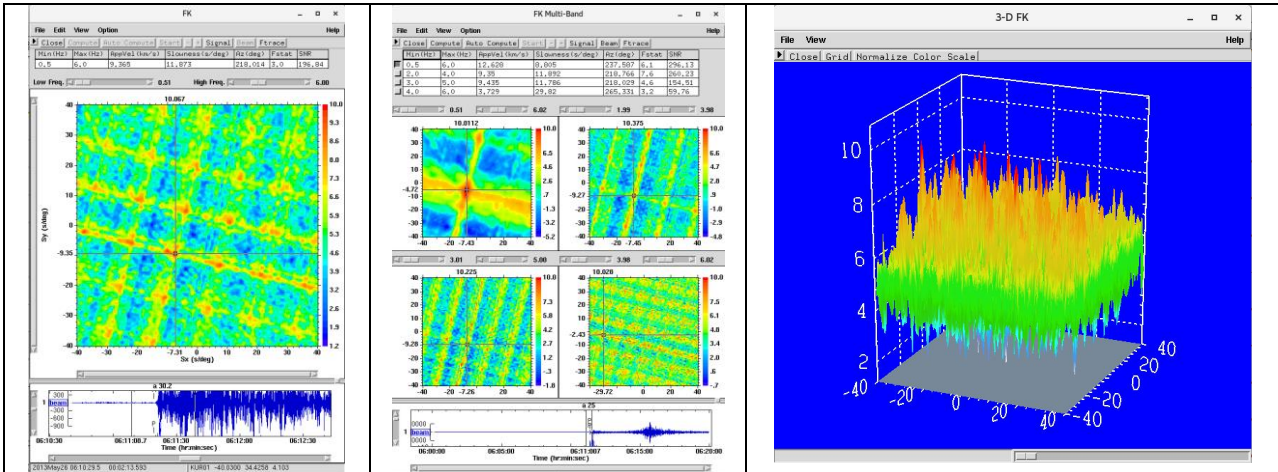


Рис. 18. Применение 3D FK анализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Курчатов Крест» (KURK). Республика Казахстан.

Fig. 18. Application of 3D FK analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Kurchatov Cross seismic group (KURK). Republic of Kazakhstan.

На рис. 19 – FK мультианализ для сейсмической группы «Боровое» (BVAR). Диаграмма для синтетического анализа сигнала показала среднее значение с медленностью (Sl) -11,9 сек/градус и (Az) азимутом 192°.

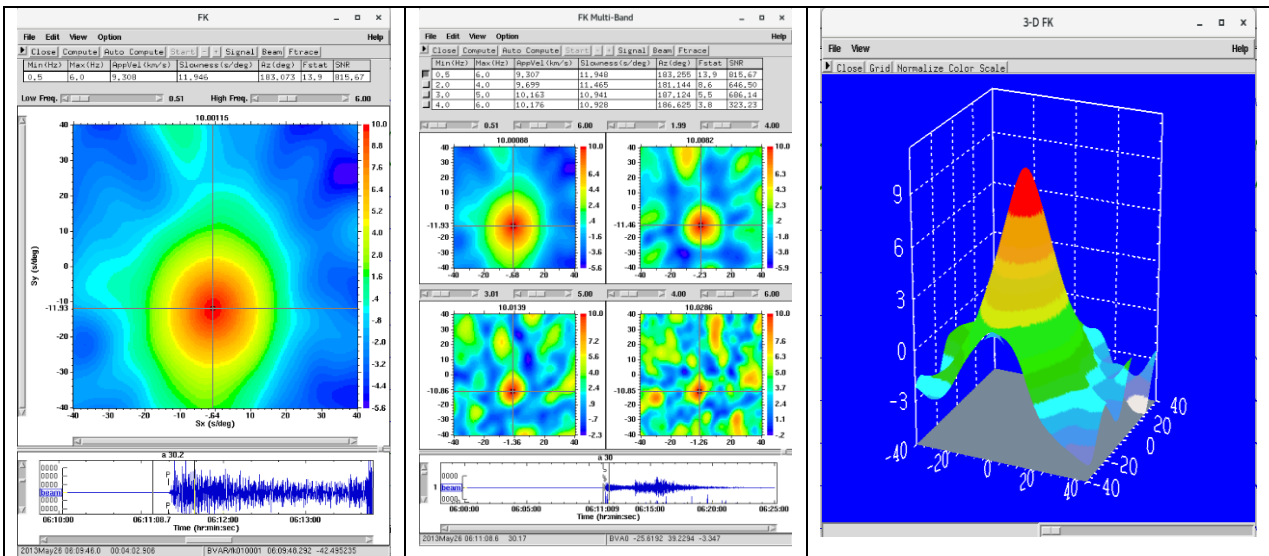


Рис. 19. Использование FK мультианализа для определения медленности и азимута на эпицентр по сейсмическому событию сигнала сейсмической группы «Боровое» (BVAR). Республика Казахстан.

Fig. 19. Using FK multi-analysis to determine the slowness and azimuth to the epicenter of a seismic event signal from the Borovoye seismic group (BVAR). Republic of Kazakhstan.

Конечный итог обработки данных – локация по сейсмическим группам и бюллетень события на рис. 20.

Arrivals																
Sta	Dist	EvAz	Phase	Time	TRes	Azim	AzRes	Slow	SRes	Def	SNR	Amp	Per	Qual	Magnitude	ArrID
GEYT	7.22	253.9	Pn	06:10:02.484	-0.1	68.4	94	1.7	-11.5	T__	1.3			m__	ML	7.4
GEYT	7.22	253.9	Sn	06:11:24.717	0.2	68.4	-69.4	-24.8	T__	1.0				m__		28061344
MKAR	12.92	54.6	Pn	06:11:13.126	0.1	245.3	-6.1	13	0.3	T__	67.9			m__	ML	7.1
BVAR	12.97	9.4	Pn	06:11:13.526	0.2	192.0	167	-13.6	T__	0.7				m__		28061347
BVAR	12.97	9.4	Sn	06:13:30.657	-0	192.0	167	-24.9	T__	1.0				m__		28061345
KURK	13.16	34.3	Pn	06:11:15.108	-0.4	222.6	-4.6	11.9	-0.7	T__	0.9			m__	ML	6.1

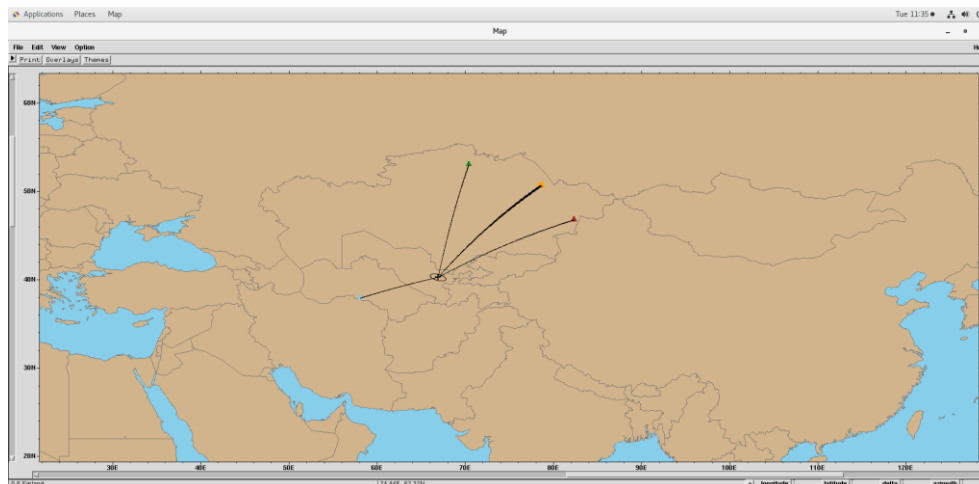


Рис. 20. Результаты обработки с использованием сейсмических групп. Сверху – бюллетень события, снизу – азимут на эпицентр.
Fig. 20. Results of processing using seismic groups. Above is the event bulletin, below is the azimuth to the epicenter.

Выводы. FK-анализ позволяет измерять кажущуюся скорость и азимут одновременно. Проведенная обработка данных отразила величину расхождения 2-х событий по Winquake (локальные станции) и GEOTOOL FK-анализу (по сейсмическим группам) – в среднем 12 км. Полученные результаты дают возможность оперативного и точного определения координат сигнала прихода сейсмических волн с учетом медленности и азимута на эпицентр, что применимо для сильных землетрясений Центральной Азии. Для анализа сейсмических фаз могут быть использованы временные задержки прихода сигнала на различные элементы сейсмической группы. Используя эти задержки, можно произвести суммирование сигналов для точного определения эпицентра сейсмического события. Также эти результаты можно использовать для задач сейсмического распознавания природы происхождения источника сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bormann P. (2012). New Manual of Seismological Observatory Practice(NMSOP-2). IASPEI. p. Chapter 9.
2. Capon J. (1969). High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. Proceedings of the IEEE, 57(8), 1408-1418.
3. Kverna T., Doornbos D.J. (1986). An integrated approach to slowness analysis with arrays and three-component stations. NORSAR Semiannual Technical Summary, 1, 2-85.
4. ROST AND THOMAS: Array Seismology 40, 3 / Reviews of geophysics, 2-12
5. "NORSAR". Norsar.no. <http://www.norsar.no/norsar/>. Retrieved 2015-11-17.
6. <https://kndc.kz/index.php/observation-network-menu-ru/sejsmicheskaya-gruppa-kurchatov-krest-kurk-as058>
7. <https://kndc.kz/index.php/observation-network-menu-ru/sejsmicheskaya-gruppa-makanchi-mkar-ps23>
8. <https://kndc.kz/index.php/observation-network-menu-ru/borovoye-bvar-menu-ru>
9. Усманова М.Т., Джурраев А., Фролова А.Г., Нурматов У.А., Икрамова Д.А., Самтарова А.М. Туябугузское землетрясение 25 мая 2013 г., MS = 5,2, I = 7 (Приташкентский район, Узбекистан) // Наука о Земле и смежные экологические науки. - Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. - С. 409-420.
10. Усманова М.Т., Джурраев А., Шерматов М.Ш., Фролова А.Г., Самтарова А.М. Маржанбулакское землетрясение 26 мая 2013 г., MS = 5,9, I = 8 (Узбекистан, Джизакская область) // Наука о Земле и смежные экологические науки. - Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. - С. 397-408.

Seismik hodisalarni qayta ishlash uchun FK tahlilini qo'llash

B.G. Alimov, T.S. Kurbanov

Annotatsiya. Ushbu maqolada biz signallarni jamlash va chastota-to'lqin raqamlarini tahlil qilishning asosini tashkil etuvchi nurlanish usullaridan biri – FK tahliliga amal qildik.

Kalit so'zlar: FK tahlil, zilzila, azimut, seysmogramma, seysmik guruhlar.

Using FK analysis to process seismic events

B.G. Alimov, T.S. Kurbanov

Annotation. In this article, we were guided by one of the beamforming methods – FK analysis, which forms the basis of signal summation and frequency-wavenumber analysis.

Key words: FK analysis, earthquake, azimuth, seismogram, seismic groups.

UO‘K 550.34.016

BINO VA INSHOOTLARNING SEYSMIK CHIDAMLILIGINI HVSRM TAHLILLARI ASOSIDA BAHOLASH

J.A. Vahobov¹, N.K. Oripov^{1,2}, I.R. Yanbukhtin¹, A.Sh. Zakirov¹, U.T. Musayev¹

¹Ilg'or texnologiyalar markazi, Toshkent sh.

²G'.Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent sh.

Anotatsiya. Ushbu maqolada mualliflar tomonidan Toshkent shahrida joylashgan binolarning birida amalga oshirilgan tadqiqotlar haqida so‘z boradi. Tadqiqotlar Ilg'or texnologiyalar markazi № IL-5221091401 loyihasi doirasida amalga oshirildi. Ekspremental tadqiqotlarda HVSRM (the Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) yoki «Nakamura» deb ataluvchi usulga tayangan holda o‘rganilayotgan binoning, zaiflik indeksi (Kb) va zararlanish omili (η) kabi nisbiy qiymatlari hisoblab chiqilgan. Bundan tashqari qayd qilingan mikrotremorlar asosida zamonaviy ARTEMIS Modal kompyuter dasturiy ta‘minoti yordamida binoning 3D operativ modal tahlili (OMT) qurildi. Tadqiqotdan asosiy maqsad zilzila vaqtida kelib chiqishi mumkin bo‘lgan talzararlanish va zarar darajalarini yumshatish, hamda kelgusida shu kabi masalalarni yechishda samarali natijalar olishdir.

Kalit so‘zlar: mikrotebranishlar, HVSRM, dominant chastota, kuchaytirish koefitsiyenti, zaiflik indeksi, zararlanish omili.

Kirish. Bino va inshootlarning seysmik tebranishlarga bardoshlilikini aniqlash maqsadida hozirgi kunda dunyoda zamonaiy va innovatsion usullar yordamida ko‘plab tadqiqotlar olib borilmoqda. So‘nggi yillarda mamlakatimizda baland qavatli binolar qurilishining keskin ortganligi sababli aholi xavfsizligini ta‘minlash, binolarning seysmik ta‘sirlar ostidagi holatini baholash va zilzilalarga bardoshlik xususiyatini oshirish dolzarb vazifalardan biriga aylandi.

Bugungi kunda bino va inshootlarning seysmik chidamliligini ekspremental baholashning quydagi usullari qo‘llaniladi. Ular vibromashinalar yordamida tebratish, seysmik portlatish, implusli kuchlanishni yaratish, zarba berish, bino modellarini sinash va mikroseymsmik tebranishlarni kuzatish usullaridir [Ибрагимов, 2021].

«Mikroseysmik kuzatuvlar» tushunchasi turli xil genezis va xar xil turdagi to‘lqinlarni (texnogen signallar, yuzaki to‘lqinlar va b.) tahliliga asoslangan texnologiyalarning butun majmuasi hisoblanadi. Bu usulning yuqoridagi boshqa usullardan asosiy afzalligi, texnologik, kamxarajat, atrof muhitga va o‘rganilayotgan ob‘ektga zarar yetkazmasligi, hamda qisqa vaqt oralig‘ida katta miqdordagi ishonchli ma‘lumotlarni olish imkoniyatini taqdim etishidir [Юдахин, 2010].

Mikrotremorlarni tahlil qilish yordamida turli tipdagi va balandlikdagi bino-inshootlarga zarar yetkazmay turib ularning dinamik xususiyatlarini baholash mumkin. Bu esa o‘z navbatida zilzila oqibatida binolarga yetishi mumkin bo‘lgan zarar xavfini kamaytirishga imkon beradi.

Metodologiya. Tadqiqotlar Toshkent shahrida joylashgan to‘rt qavatli binolarning birida o‘tkazildi. Binoda hamda erkin yuzada (gruntida) mikrotebranishlar qayd qilinib, olingan ma‘lumotlar asosida HVSRM spektrlari grafigi qurildi [Nakamura, 1997]. Grafiklar orqali kuchaytirish koefitsiyenti va dominant chastota qiymatlari aniqlanib, bino va erkin yuzaning zaiflik indeksi (K) va bu orqali esa zararlanish omili (η) hisoblandi.

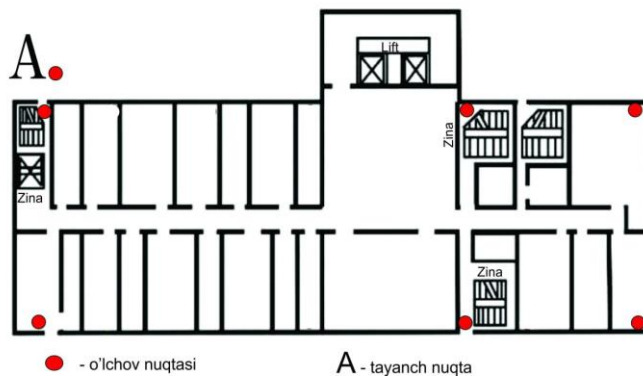
Inshootlarga seysmik ta‘sirlar gruntning tebranishi orqali o‘tadi va bu jarayon inshootlarning grunt bilan o‘zaro ta‘siri, rezonans hodisasi hamda boshqa bir qator o‘ziga xosliklari bilan xarakterlanadi. Binolarning seysmik beqarorligini baholash uchun texnogen mikrotebranish (mikrotremor) yozuvlarining gorizonttal komponentini vertikal komponentiga nisbatining spektri (HVSRM) sifatida yaxshi tanish bo‘lgan Nakamura usulidan foydalaniladi. Ushbu HVSRM usuli yaponiyalik fizik olim Yutaka Nakamura tomonidan 1989 yilda tadqiqot etilgan. Ushbu usulning fizik asosi shundaki, o‘rganilayotgan ob‘ektning nozik tuzilishi asosan ko‘ndalang to‘lqinlarga ta‘sir qiladi, bu struktura tomonidan kuchaytiriladi va bo‘ylama to‘lqinlarga amalda ta‘sir qilmaydi. Bunday holda, ikkita gorizonttal komponentning spektral xususiyatlarining vertikal komponent spektriga nisbati o‘rganilayotgan ob‘ektning nozik tuzilishining fizik xususiyatlariga qat‘iy bog‘liq bo‘lgan uzatish funksiyasini tavsiflaydi. Ushbu tasvirlash ob‘ektning nozik tuzilishini vertikal komponentning spektri bilan ifodalanadigan va takrorlanuvchi (chiqish signali), yozib olingan tebranishlarning gorizonttal komponentlarining o‘rtacha spektri bilan aniqlanuvchi tebranishlar spektrlari bilan bog‘liq holda o‘rganish muammosini hal qilish imkonini beradi [Nakamura, 1989].

Ushbu usul yordamida ko'plab tadqiqotchilar tomonidan izlanishlar olib borilgan va borilmoqda. Masalan rossiyalik tadqiqotchi Anosov tomonidan Kaliningrad (Rossiya) shahrida joylashgan Rossiya Davlat Universiteti binosida seysmik zaiflikni baholash bo'yicha eksperimental ishlar amalga oshirilgan. Bunda binoning 3 ta qavati va yerto'la qismlarida mikrotebranishlar qayd qilinib, zaiflik indeksi (K_b) va maksimal tezlanish (a) qiymatlari hisoblangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra binoning 2-3 qavatlarida sezilarli darajadi zaif nuqtalari aniqlangan [Anosov va b., 2010]. Yaqin Sharq tadqiqotchilaridan Mehdi Mohberi Sheroz (Eron) shahrida joylashgan 11 ta turli tipda binolarda HVSR usulidan foydalanib gruntlarning zaiflik indeksi (K_g) va binolarning zaiflik indekslarini (K_b) aniqlab, ularning nisbatlari asosida binolarning zararlanish indeksi (η) qiymatlarini hisoblagan [Mokhberi, 2015]. Shuningdek Kobayashi boshliq bir guruh tadqiqotchilar H/V spektral nisbatini tahlil qilish orqali binoning seysmik zaif nuqtalarini aniqlash ishlarini olib borganlar [Kobayashi va b., 1987]. Bundan tashqari zilzila zarari va grunt xususiyatlari o'rtasidagi bog'liqliklarni Trifunac, Haghshenas, hamda Gallipolilar zilzilalar amplitudasi va chastotasini o'rganish orqali o'rganib, zilzilalardan so'ng shikastlangan binolarning dinamik xususiyatlarini baholadilar. [Trifunac va b., 2000; Haghshenas va b., 2008; Gallipoli va b., 2004].

Tadqiqotlar va ularning tahlili

Tadqiqotlar amalga oshirilgan bino 4 qavat va yerto'ladan iborat. Bino uzunligi 80 m, kengligi 16 m va balandligi 14 m ni tashkil qiladi. Har bir qavat balandligi esa 3 m. Binoning markaziy qismida liftli bo'lim joylashgan (1-rasm). Bino joylashgan hududda ko'p qavatli turar-joy majmualari, Universitet o'quv binolari, mehmonxona va avtoturargoh joylashgan.

Binoda amalga oshirilgan instrumental-seysmometrik tadqiqotlar samaradorligini, mikrotebranishlar sifatini oshirish va xalaqit qiluvchi to'lqinlarni kamaytirish maqsadida ishlar tungi vaqtlarda olib borildi. O'lchov ishlari binoning har bir qavatining ikki qanotida va markaziy qismlarida amalga oshirildi. Bundan tashqari bino yaqinidagi maydonda ham parallel ravishda mikrotebranishlarni uzluksiz qayd qilish ishlari olib borildi. Tadqiqotlarda Guralp CMG-6TD (Buyuk Britaniya) raqamli 3 kanalli velosimetrlaridan foydalanildi. Binodagi har bir nuqtadagi o'lchovlar davomiyligi 25-30 daqiqani tashkil qildi.



1-rasm. Bino 2-qavatidagi o'lchov nuqtalarining joylashuv sxemasi.

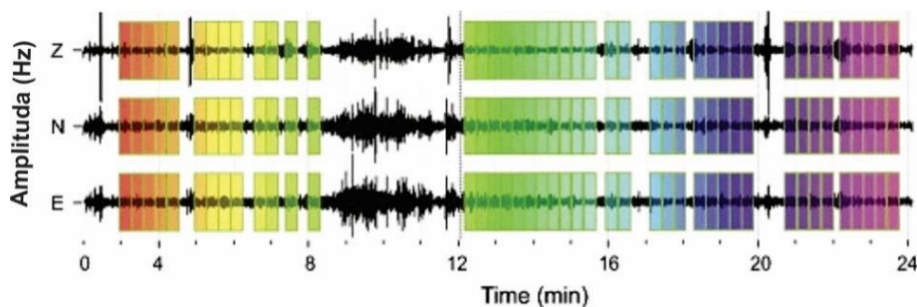
Рис. 1. Схема расположения точек измерения на 2 этаже здания.

Fig. 1. Layout of measurement points on the 2nd floor of the building.

O'lchov ishlari bino bo'ylab jami 36 ta nuqtada amalga oshirildi. Instrumental-seysmometrik tadqiqot materiallarini qayta ishlash standart usullar yordamida qadamma-qadam bajarildi va ular quyidagilarni o'z ichiga oladi: mikrotebranishlarni qayd qilish; ularni tartiblash, tahrirlash va filtrlash; HVSRM spektrlarini qurish va tahlil qilish; kuchaytirish koeffitsiyenti va chastota qiymatlarini olish; zaiflik indeksi (K_g) va zararlanish omilini (η) hisoblash. Bundan tashqari qayd qilingan mikrotremorlar asosida zamonaviy ARTEMIS Modal kompyuter dasturiy ta'minoti yordamida binoning operativ modal tahlilining (OMT) 3D modelini yaratish ishlari ham bajarildi.

Erkin yuza va bino qavatlarida qayd qilingan mikrotebranish yozuvlari «SCREAM» va «GCFINFO» kabi kompyuter dasturlari yordamida tahrirlandi. HVSRM spektrlarini qurishda esa «GEOPSY» kompyuter dasturidan foydalanildi (2-rasm). Spektrlarni qurishda window type – Turkey, smoothing – Konno & Ohmachi, width – 40% kabi sozlamalar va silliqlash filtirlari qo'llanildi.

So'ng ikkita gorizontalkomponentni vertikal komponentga nisbati orqali HVSRM spektrlari grafigi qurilib, kuchaytirish koeffitsiyenti va dominant chastota qiymatlari olindi (3-rasm). Olingan ma'lumotlar asosida binoning zaiflik indeksi va zararlanish omili hisoblandi.

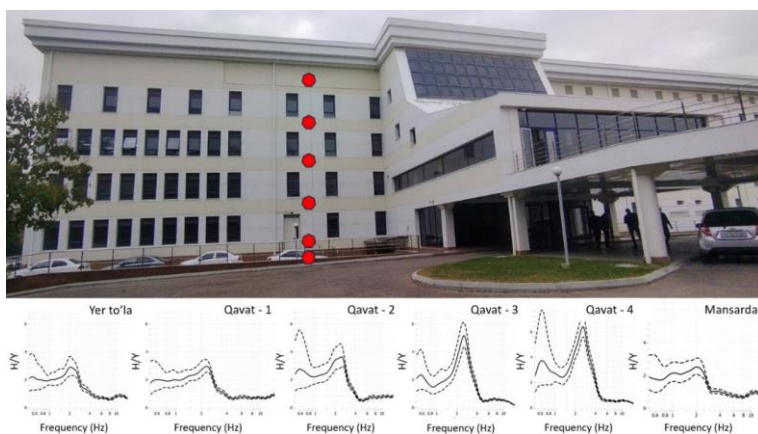


**2-rasm. «Geopsy» dasturida mikrotebranishning tahlili.
Рис. 2. Анализ микротремора в программе «Geopsy».
Fig. 2. Analysis of microtremor in the «Geopsy» program.**

Seysmik zaiflik indeksi (K) – zilzila paytida strukturalarning deformatsiyaga zaiflik darajasini tavsiflovchi ko‘rsatkichdir. Bu ko‘rsatkichlar yordamida grunt yoki bino va inshootlarning seysmik beqaror nuqtalarini aniqlash va ularni dinamik xususiyatlarini baholash mumkin. Seysmik zaiflik indeksi rezonansning kuchaytirish koeffitsiyenti (HVSRM grafigining ordinatasiga ko‘ra) kvadratiga ushbu rezonansning asosiy chastotasi (HVSRM grafigining absissasiga ko‘ra) qiymatiga bo‘lingan o‘lchovsiz qiymat hisoblanadi [Nakamura, 1989].

$$K = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (1)$$

bu yerda, A_0 – kuchaytirish koeffitsiyenti, f_0 – dominant chastota. K qiymatlari zilzila natijasida yuzaga kelgan tuproqning beqarorligini aniqlaydi.



**3-rasm. Bino qavatlarini bo‘yicha HVSRM grafiglarining o‘zgarishi.
Рис. 3. Изменение графиков HVSRM по этажам здания.
Fig. 3. Change of HVSRM graphs by building floors.**

Gruntning seysmik zaiflik indeksi K_g va binoning seysmik zaiflik indeksini K_b nisbatlarini hisoblash tuzilmalarga yetkazilgan zararni baholashga yordam beradi. Quyidagi tenglamada orqali zararlanish omili (η) aniqlanadi [Nakamura, 1989]

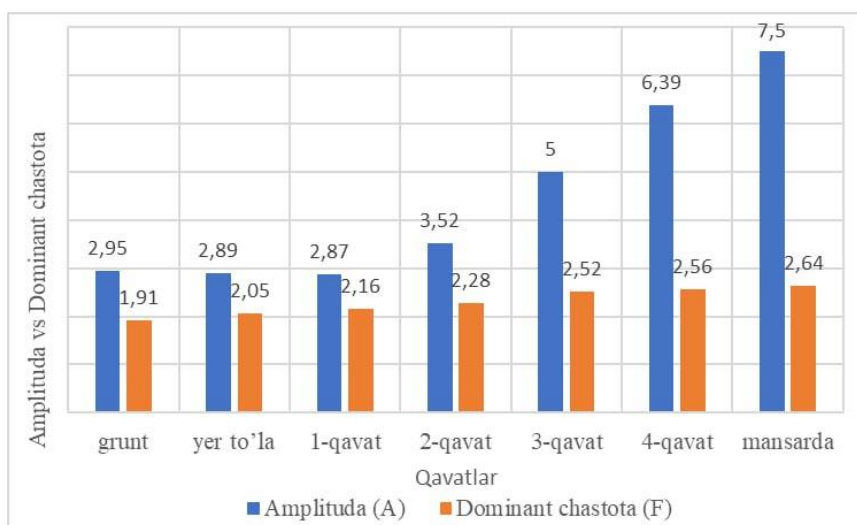
$$\eta = \frac{K_b}{K_g} \quad (2)$$

bu yerda, K_g – gruntning zaiflik indeksi va K_b – binoning zaiflik indeksi.

Binoning yer to‘la qismidan mansarda qismigacha dominant chastota qiymatlari 2,05-2,64 Gs va kuchaytirish koeffitsiyenti qiymatlari 2,89-7,5 oralig‘ida o‘zgardi (4-rasm).

**Zararlanish omilining darajalari
Уровни фактора повреждения
Damage factor levels $\eta = K_b/K_g$**

Zararlanish turi	A	B	C	D
$\eta = K_b/K_g$	$\eta \leq 1$	$1 < \eta < 2$	$2 < \eta < 3$	$3 < \eta$
Zararlanish darajasi	past	o'rta	yuqori	o'ta yuqori

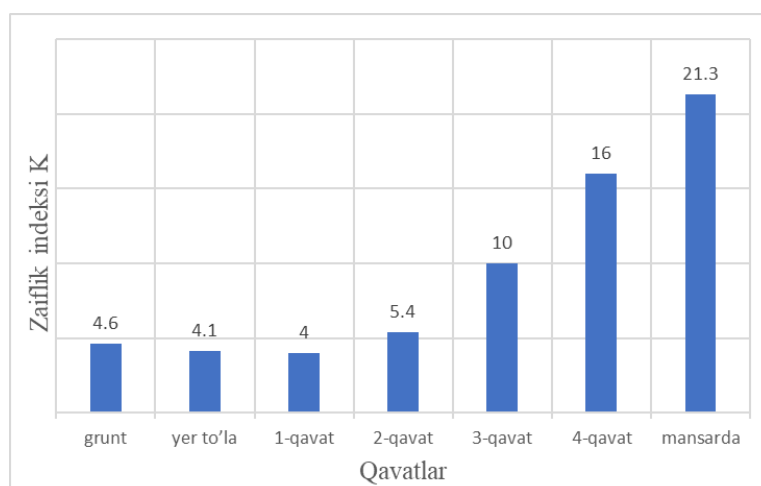


4-rasm. Qavatlar bo'yicha dominant chastota va kuchaytirish koeffitsienti qiymatlarining o'zgarish diagrammasi.

Рис. 4. Диаграмма изменения значений доминирующей частоты и коэффициента усиления по этажам.

Fig. 4. Diagram of changes in the values of the dominant frequency and gain by floor.

Har bir o'lchov nuqtasida aniqlangan kuchaytirish koeffitsienti va dominant chastota qiymatlari yordamida yuqoridagi formula orqali binoning to'rtinchi o'lchov nuqtasi bo'yicha zaiflik indeksi natijasiga ko'ra birinchi qavatidan boshlab mansarda qismiga qadar zaiflik indeksi koeffitsiyenti K_b qiymatlari 4-21.3 oralig'ida o'zgargan (5-rasm). Bino asos zamini zichligi yuqori bo'lganligi uchun, gruntning zaiflik indeksi koeffitsiyenti qiymati bino yerto'la qismining zaiflik indeksi qiymatidan kichik bo'ldi. Binoning ikkinchi qavatidan boshlab zaiflik indeksi koeffitsiyenti qiymatlari birinchi qavatga nisbatan sezilarli darajada o'sgan. Buning sababi gruntidagi tebranishlar binoning xususiy tebranishlariga qo'shilishi natijasida vujudga kelgan.



5-rasm. Qavatlar bo'yicha zaiflik indeksi qiymatlarining o'zgarish diagrammasi.

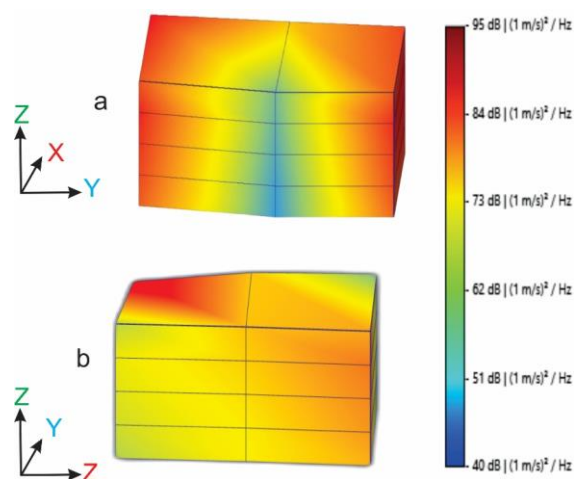
Рис. 5. Диаграмма изменения значений индекса уязвимости по этажам.

Fig. 5. Diagram of changes of vulnerability index values by floors.

Qayd qilingan mikrotremorlar asosida zamonaviy ARTeMIS Modal kompyuter dasturiy ta'minoti yordamida binoning 3D operativ modal tahlili (OMT) qurildi [6].

OMT qurish «Geopsy», «Win Quake» hamda «Excel» kompyuter dasturiy ta'minotlari yordamida bosqichma bosqich ma'lumotlar qayta ishlandi.

Qavatlar oralig'ida kuzatilgan yuqori zaiflik indeksi K_b qiymatlari binoning seysmik beqaror va zaifroq qavatlar ekanligini anglatadi. Binoning qavatlar bo'yicha quyidan yuqori qismiga ko'tarilgan sari tebranishlarga bardoshlilik xususiyati kamayib borishini 6-rasmdan ko'rish mumkin. Bu rasmda ko'rsatilgan binoning tebranish amplitudasi qiymatlari bo'yicha taqsimlanishi ko'k rangdan to'q qizil ranggacha ifodalangan. Binoning ko'k rangda ifodalangan tebranish amplitudasi qiymatlari uning seysmik chidamliligi qoniqarli holatda ekanligini, to'q qizil rangda esa aksincha, salbiy holatda ekanligini anglatadi.



6-rasm. Binoning tabiiy tebranishlar modeli: a – binoning maksimal tebranish amplitudasi ta'siri; b – minimal tebranish amplitudasi ta'siri ko'rinishi.

Рис. 6. Модель собственных колебаний здания: а – влияние максимальной амплитуды вибрации здания; б – влияние минимальной амплитуды вибрации.

Fig. 6. Model of natural vibrations of the building: a – effect of the building's maximum vibration amplitude; b – view of the effect of the minimum vibration amplitude.

Yuqorida berilgan zararlanish omili formulasi yordamida mansarda uchun o'rtacha zararlanish omili hisoblash natijasida $\eta = 1,51$ ga teng bo'ldi, bu esa mansarda qismi jadvalni **B** – turiga to'g'ri keladi.

Xulosa.

O'tkazilgan tadqiqot ishlari bo'yicha hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, bino qanchalik baland bo'lsa, siljishlar, egilish momentlari, bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarning ta'sir kuchi kattaroq bo'ladi. Bu esa binolarning yuqori qavatlarining tebranishlarini kamaytirish va zilzila paytida sodir bo'ladigan talzararlanishlarni yumshatish bo'yicha tegishli chora-tadbirlarni ishlab chiqishni talab qiladi. Xulosa qilib aytganda HVSRM spektrlar nisbatidan foydalanib, binoning zaiflik indeksi K_b , tuproqning zaiflik indeksi K_g hisoblandi.

Ushbu ilmiy tadqiqot ishi yordamida olingan natijalar asosida binonig seysmik beqaror qavatlarini aniqlash va zilzila vaqtida kelib chiqishi mumkin bo'lgan talzararlanishlarni yumshatish, hamda kelgusida shu kabi masalalarni yechishda samarali natijalar olish mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Орипов Н.К., Вахобов Ж.А., Нурмухаммедов Н.Ё., Абдурахмонов Б.Ф. Илғор технологиялар маркази биносининг сейсмик беқарорлигини баҳолаш. «Фарғона водийсида фан ва технология» илмий

конференцияси материаллар тўплами. - Наманган, 2023. - 477-479 бет.

2. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Коновалова О.А., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса № 3 Российского

Государственного Университета им. И.Канта с применением методики Накамуры // Вестник краунц. Науки о земле. - 2010. - № 1. - Вып. 15.

3. *Ибрагимов А.Х.* Обзор современных методов оценки сейсмостойкости зданий и сооружений // Проблемы сейсмологии. - 2021. - № 1. - Т. 3. - С. 52-59.

4. *Юдахин Ф.Н.* Микросейсмические колебания – важный источник информации // Вестник УрО РАН. - 2010. - № 33. - С. 65-73. <http://www.iieuran.ru/doc/33/65-73.pdf>

5. *Fäh D., Rüttener E., Noack T., Kruspan P.* Microzonation of the city of Basel. J. Seismol. – 1997. - 1 (1). - P. 87-102.

6. *Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Gallicchio S., Tropeano M., Lizza C.* Horizontal to vertical spectral ratio (HVSR) measurements in the area damaged by the 2002 Molise. Italy. Earthquake // Earthq. Spectra 20 2004. - (S1) - S. 81-93.

7. *Haghshenas E., Bard P.-Y., Theodulidis N., Team S.W.* Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio // Bull. Earthq. Eng. 2008. - 6 (1). - P. 75-108.

8. -https://www.svibs.com/artemis-modal/?gad_source=1.

9. *Kobayashi H., Midorikawa S., Tanzawa H., Matsubara M.* Development of portable measurement system for ambient vibration test of building // J. Struct. Constr. Eng. 1987. – 378. - P. 48–56.

10. *Lachet C., Bard P.Y.* Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique // J. Phys. Earth. - 1994. - 42 (5). - P. 377-397.

11. *Mehdi Mokhberi.* Vulnerability evaluation of the urban area using the H/V spectral ratio of microtremors. International Journal of Disaster Risk Reduction 13 Islamic Azad University, Estahban Branch. June 2015.

12. *Nakamura Y.* A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute. Quarterly Reports. 1989. - 30 (1).

13. *Nakamura Y.* Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor, World Congress on Railway Research in Florence, Italy (1997).

14. *Oripov N.K., Vahobov J.A.* H/V usuli yordamida Ilg'or texnologiyalar markazi binosining zaiflik indeksini baholash // «Fan va innovatsiyalar 2023» Xalqaro konferensiya materiallar to'plami. - Toshkent, 2023. - 233-235 bet.

15. *Trifunac M., Todorovska M.* Long period microtremors, microseisms and earthquake damage: Northridge, CA, earthquake of 17 January 1994, Soil Dyn. Earthq. Eng. 2000. - 19 (4). - P. 253-267.

16. *Vahobov J.A., Otajonova Sh.Kh., Oripov N.K.* Evaluation of building dynamic properties using microtremor analysis // Сборник научных трудов Международ. науч. конф. «Геология в пространстве и времени». - Душанбе, 2024. - С. 57-59.

Оценка сейсмической устойчивости зданий и сооружений на основе анализа HVSRM

Ж.А. Вахобов, Н.К. Орипов, И.Р. Янбухтин, А.Ш. Закиров, У.Т. Мусаев

Аннотация. Рассмотрены исследования, проведенные авторами в одном из зданий, расположенных в г. Ташкенте, в рамках проекта Центра передовых технологий № IL-5221091401. В экспериментальных исследованиях относительные значения, такие как индекс уязвимости (K_b) и коэффициент повреждения (η) исследуемого здания, рассчитывались на основе так называемого HVSRM (отношение горизонтального к вертикальному спектру) или метода «Nakamura». На основе зарегистрированных микротреморов был построен 3D оперативный модальный анализ (OMA) здания с использованием современного компьютерного программного обеспечения ARTeMIS Modal. Основная цель исследования – снизить уровень предполагаемого и причиненного ущерба, которые могут возникнуть во время землетрясения, и получить эффективные результаты при решении подобных вопросов в будущем.

Ключевые слова: микровибрации, HVSRM, доминирующая частота, коэффициент усиления, индекс уязвимости, повреждающий фактор.

Assessment of seismic stability of buildings and structures based on HVSRM analysis

J.A. Vakhobov, N.K. Oripov, I.R. Yanbukhtin, A.Sh. Zakirov, U.T. Musaev

Abstract. This article talks about the research carried out by the authors in one of the buildings located in the city of Tashkent. The research was carried out within the framework of the project of the Center of Advanced Technologies No. IL-5221091401. In experimental studies, relative values such as vulnerability index (K_b) and damage factor (η) of the studied building were calculated based on the so-called HVSRM (the Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) or «Nakamura» method. In addition, based on recorded microtremors, a 3D operational modal analysis (OMT) of the building was constructed using modern ARTeMIS Modal computer software. The main goal of the research is to mitigate the level of shock and damage that may occur during an earthquake, and to obtain effective results in solving similar issues in the future.

Key words: microvibrations, HVSRM, dominant frequency, amplification coefficient, vulnerability index, damage factor.

УДК 550.34

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ, ПРОИЗВОДИМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЛЬМАКЫР И ЁШЛИК I

Э.Ш. Юлдашев, Х.А. Исламов, А.Р. Рахматов

*Институт Сейсмологии им. Г.А.Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан
eyuldashev2212@gmail.com*

Аннотация. С помощью современных измерительных приборов исследованы толчки, возникающие в районе зданий и сооружений возле нескольких жилых домов при промышленных взрывах на шахтах «Кальмакыр» и «Ёшлик I».

Ключевые слова: сейсмограмма, промышленные взрывы, смещение грунта, сейсмические воздействия, скорость смещения грунтов.

Для регистрации взрывов использованы цифровые трехкомпонентные сейсмометры CMG-6TD производства компании Güralp, Великобритания (рис. 1), состоящие из трех однокомпонентных датчиков, расположенных в общем герметичном корпусе.



**Рис. 1. Цифровой трехкомпонентный велосиметр CMG-6TD.
Fig. 1. Digital three-component velocimeter CMG-6TD.**

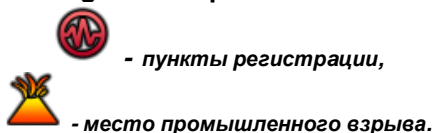
Как правило, оси датчика ориентируются в направлениях: север-юг, восток-запад, третья ось – вертикальная компонента движения. Каждый датчик обеспечивает измерение колебаний в широком диапазоне частот от 0,033 до 50 Гц. Такой широкий диапазон частот обеспечивается благодаря применению совершенной технологии форс-балансных датчиков с петлей обратной связи. Встроенный цифровой преобразователь с разрешающей способностью 24 бита конвертирует полученные на выходе датчиков сигналы в цифровые данные с максимальной точностью.

Регистрация взрыва на карьере Ёшлик I 24 ноября 2023 г. по Ташкентскому времени в 15:20 (24.11.2023 г., 10:20 по Гринвичу). Масса ВВ - 29000 кг

Приборы для регистрации сейсмических колебаний, вызванных промышленными взрывами на карьере, устанавливались во дворах домов жителей, жаловавшихся на колебания высокой сейсмической интенсивности (рис. 2, 3, 5). Регистрация производилась тремя велосиметрами и в трех пунктах регистрации, указанных сотрудниками АГМК.



**Рис. 2. Схема расположения пунктов регистрации близ карьера Ёшлик I.
Fig. 2. Location of registration points near the Yoshlik I quarry.**



**Рис. 3. Сейсмические приборы, установленные в населенных пунктах близ карьера Ёшлик I.
Fig. 3. Seismic instruments installed in populated areas near the Yoshlik I quarry.**



Рис. 4. Запись взрыва на пунктах регистрации.
 Fig. 4. Recording of an explosion at registration points.

ZZZ –компонента Z,
NNN – компонента N,
EEE – компонента E.

Таблица 1

Наблюденные скорости смещения грунт в пунктах регистрации

Table 1

Observed ground displacement rates at recording points

Номер пункта	Широта ϕ	Долгота λ	Расстояние до карты взрыва, м	Величина скорости смещения грунтов, см/с			Баллы по шкале MSK-64
				EW	NS	Z	
1	40.828036	69.614351	605	0,376	0,384	0,398	4
2	40.834655	69.620038	1410	0,225	0,195	0,166	3,5
3	40.841852	69.621974	2215	0,090	0,101	0,075	3

Результаты: Максимальный уровень сейсмических воздействий наблюдался в пункте регистрации №1 – 4 балла по шкале MSK-64.

Регистрация взрыва на карьере Ёшлик I 15 декабря 2023 г. по Ташкентскому времени в 15:12 (15.12.2023 г., 10:12 по Гринвичу). Масса ВВ - 18000 кг

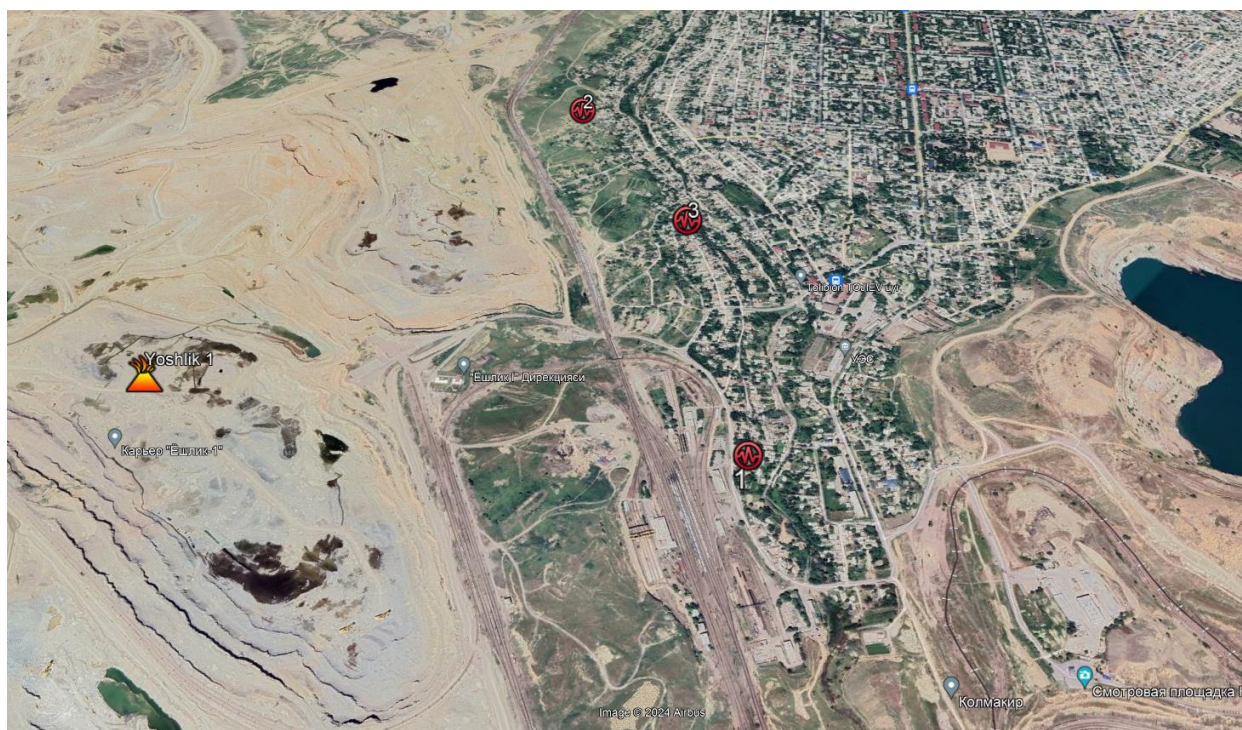
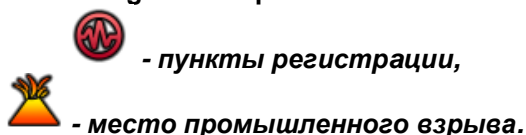


Рис. 5. Схема расположения пунктов регистрации близ карьера Ёшлик I.

Fig. 5. Location of registration points near the Yoshlik I quarry.



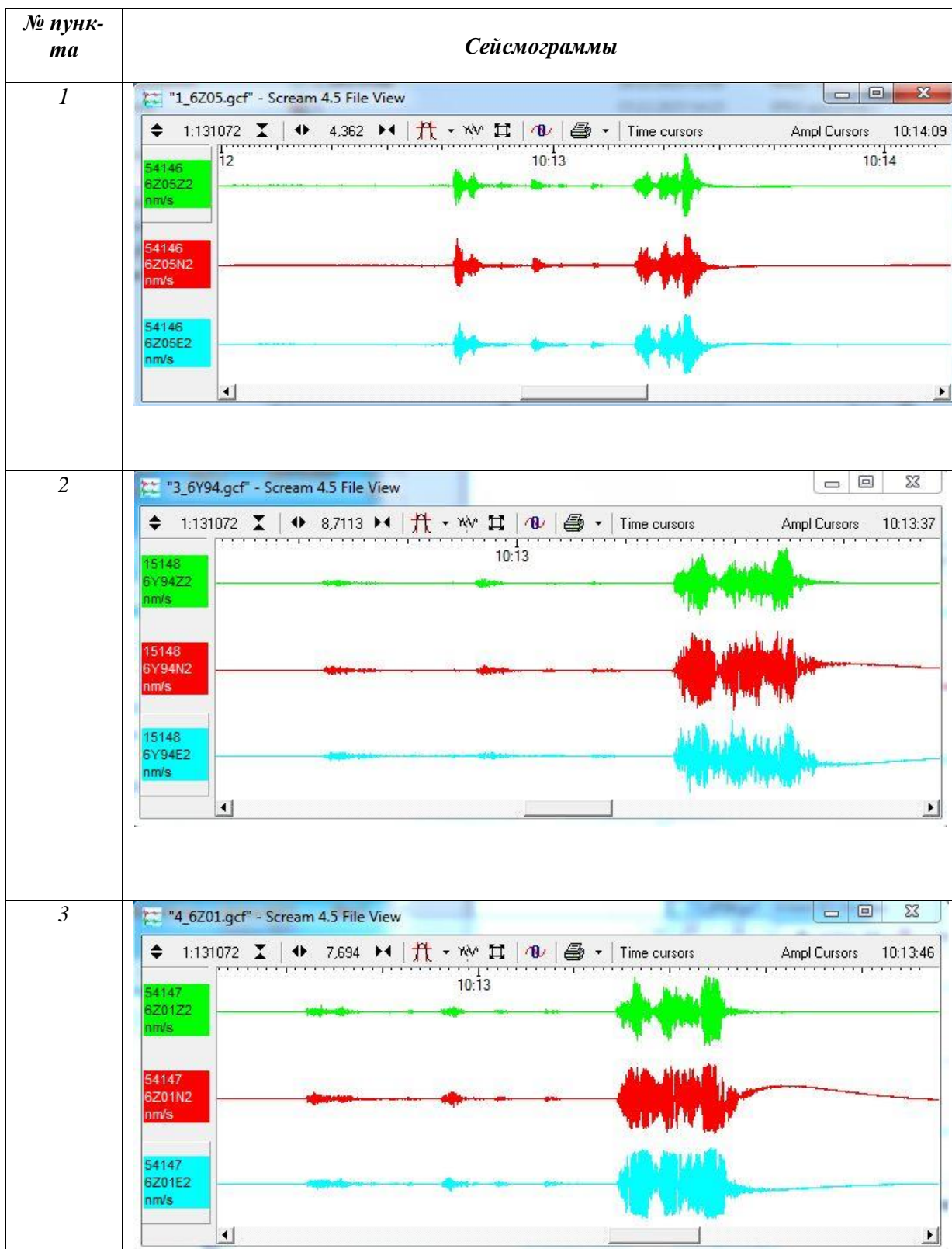


Рис. 6. Запись взрыва на пунктах регистрации.
 Fig. 6. Recording of an explosion at registration points.

ZZZ – компонента Z,
NNN – компонента N,
EEE – компонента E.

Таблица 5

Наблюденные скорости смещения грунта в пунктах регистрации

Table 5

Observed ground displacement velocities at recording points

Номер пункта	Координата		Расстояние до карты взрыва, м	Величина скорости смещения грунтов, см/с			Баллы по шкале MSK-64
	φ	λ		EW	NS	Z	
2	40.830185	69.607091	770	0,376	0,409	0,368	4
3	40.828062	69.614339	530	0,375	0,363	0,380	4

Сейсмические эффекты при подрыве 29 тонн взрывчатки в общей сложности в 64 шпурах на глубине 18 м.

Расстояние, м	600	1500	3000	4500	6000	7500	9000
Баллы по шкале MSK-64	4- 4,5	3,5	3	2,5	2	1,5	1

Результаты: Максимальный уровень сейсмических воздействий наблюдался в пунктах регистрации № 2 и 3 – 4 балла по шкале MSK-64.

В результате регистрация ряда промышленных взрывов получено уравнение зависимости скорости смещения грунтов (V) от расстояния (R):

$$V \text{ (cm/s)} = -0,0005 \cdot R \text{ (метры)} + 0,808.$$

Для затухания сейсмической интенсивности (I) с расстоянием (R):

$$I \text{ (баллы)} = -0,0025 \cdot R \text{ (метры)} + 5,7235.$$

Для расстояния 605 м (ближайший к карьеру жилой дом) зависимость сейсмической интенсивности от массы подрываемого ВВ (Q):

$$I \text{ (баллы)} = 0,0002 \cdot Q \text{ (кг)} + 1,595 [3, 4].$$

ВЫВОДЫ

Максимальные зарегистрированные сейсмические воздействия составили 4 балла по шкале MSK-64 в точке, расположенной ближе других к карте взрыва. В среднем сейсмические нагрузки составили 2,5-3 балла по шкале MSK-64.

Получены уравнения связи с массой ВВ интенсивности сейсмических воздействий, и связи с расстоянием скорости смещения грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ворона У.Ю., Серёжников Н.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов в западной сиббири и наведенная сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45. № 4. С. 5-24. DOI: 10.21455/VIS2017.4-1.
2. Кузьменко А.А., Воробьев В.Д., Денисюк И.И., Дауэтас А.А. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. - М.: Недра, 1990. - 173 с. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. Избранные труды. - М.: Наука, 1999. - 335 с.
3. Штейнберг В.В и др. Методы оценки сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. - М., 1993. - Вып. 34. - С. 5-94.
4. Кишкина С.Б. Сейсмический эффект короткозамедленных промышленных взрывов. горный информационно-аналитический бюллетень. № 3 март 2001. - С. 1-4.
5. Кишкина С.Б., Спивак А.А. Локальный сейсмический эффект карьерных взрывов // Физические процессы в геосферах: их проявление и взаимодействие (Геофизика сильных возмущений). Сборник научных трудов М.: ИДГ РАН, 1999. - С. 111-116.
6. Ибрагимов А.Х. Особенности затухания колебаний при промышленных взрывах. Проблемы сейсмологии. № 1, т. 4. 2022. С. 94.
7. Ибрагимов А.Х. К вопросу о дискриминации слабых землетрясений и взрывов.
8. Верхованцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю. и др. Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2019. - № 2. - С. 59-69.

“Seismological engineering surveys to determine the impacts on buildings and structures during industrial explosions produced in the Kalmakir and Yoshlik-I fields”

E.Sh. Yuldashev., X.A Islamov., A.R Raxmatov.

Abstract. In the article, the tremors occurring in the area of buildings and structures during industrial explosions in the Kalmakir and Yoshlik-1 mines were studied using modern measuring devices. By installing seismometers near several residential houses, the vibrations produced during the industrial explosions in Kalmakir and Yoshlik-1 mines were recorded.

Key words: seismogram, industrial explosions, soil displacement, seismic impacts, speed of soil displacement.

“Kalmakir VA Yoshlik-I konlarida amalga oshirilayotgan sanoat portlashlari vaqtida bino va inshootlarga ta’sirini aniqlash maqsadida seysmologik muhandislik tadqiqot”.

E.Sh. Yuldashev., X.A Islamov., A.R Raxmatov.

Annotatsiya. Maqolada “Qalmoqqir” va “Yoshlik-1” konlarida sanoat portlashlari vaqtida bino va inshootlar hududida sodir bo‘ladigan silkinishlarni o‘rganish uchun zamonaviy o‘lchash asboblardan foydalanilgan. Bir necha turar-joy binolari yaqiniga seysmometr o‘rnatish orqali Qalmoqqir va Yoshlik-1 konlarida sanoat portlashlari paytida yuzaga kelgan tebranishlar qayd etildi.

Kalit s o‘zlar: seysmogramma, sanoat portlashlari, tuproqning siljishi, seysmik ta’sirlar, tuproqning siljish tezligi.

УДК 550.34.038.8

3D SEISMIC RECEIVER BASED ON SEISMIC SENSORS

N.K. Oripov¹, I.R. Yanbukhtin², U.T. Musaev²

*¹Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
nozim.o.k92@mail.ru*

²Center for Advanced Technologies, Uzbekistan, Tashkent

Abstract. In the modern world, there is an intensive rate of construction of residential buildings and their infrastructure, as well as industrial facilities and structures, which leads to greater urbanisation of new territories. In this connection it is relevant and expedient to introduce modern systems of continuous seismic monitoring. Tests and surveys with the help of modern digital equipment allow to identify and timely eliminate signs of seismic vulnerability of buildings and structures in the process of their operation. Convenient and compact instruments are required for such seismic monitoring surveys. The paper describes the process of developing a model of a seismic device based on seismic sensors with natural frequency of 4,5 Hz, its testing, as well as comparison with other seismic devices of this type.

Key words: seismometric control, seismic monitoring, buildings and structures, seismic sensor, earthquakes.

Introduction. Currently, in the world practice, ensuring seismic safety in the construction of buildings and structures is relevant. In this regard, in the developed countries of the world, special attention is paid to the development of structural solutions and anti-seismic measures to ensure safety, durability and seismic resistance in the design of buildings and structures.

Uzbekistan is known to be one of the seismically active regions. Therefore, the construction of buildings and structures, as well as their earthquake resistance is always relevant. It is advisable to introduce a system of continuous seismic monitoring and conduct tests and surveys with the help of modern digital instrumentation in order to identify and timely eliminate signs of seismic vulnerability and failure of buildings and structures during their operation.

In recent times, cities are expanding and more and more residential buildings, facilities and structures of an industrial nature are being built. As a rule, when constructing buildings and structures, the seismic condition of the area where construction works are carried out is taken into account. But in the process of operating these facilities, physical and seismic deterioration occurs. This is facilitated by both man-made processes and natural phenomena.

The President of Uzbekistan signed the Law «On Ensuring Seismic Safety of the Population and Territory of the Republic of Uzbekistan» (Law No. 713 of 13.09.2021). The law provides for the construction of buildings and structures (defence, industrial, agricultural, energy, scientific and technical complexes, reservoirs and hydraulic structures, medical institutions, educational institutions, public and residential buildings; objects of material and cultural heritage; bridges, overpasses, tunnels and roads), monitoring and control of seismic resistance, observations of reservoirs and monitoring of their seismic resistance, as well as the introduction of modern methods of forecasting seismic hazard and the probability of seismic damage, as well as the introduction of modern methods of forecasting seismic hazard and the probability of seismic damage.

According to the decree, the sample seismic device was developed at the Centre for Advanced Technologies within the framework of the project «Creation of a software and hardware complex for assessing the deficit of seismic resistance of buildings and structures».

This paper describes the processes of developing an optimal model of a seismic device based on 4,5 Hz natural frequency seismic sensors, running it in test mode and comparing it with other seismic devices of this type.

Main part. One of the main causes affecting the strength and integrity of objects is seismic vibrations of the Earth. In order to prevent future catastrophes leading to human and economic losses, we need timely seismometric monitoring of buildings and structures.

Seismic monitoring of buildings and structures is a specialised seismic monitoring, which involves continuous observations of the structures of buildings (structures, industrial facilities of national economy) in order to ensure safety and prevent possible negative consequences.

Seismic monitoring of buildings and structures is designed to determine the current seismic loads on structures and compare them with the design values. Even under relatively weak seismic forces, visually unidentifiable defects may appear that can lead to structural failure. The presence of such defects leads to a change in the shape of the structure response spectrum, which makes it possible to detect them at early stages of development.

Monitoring and modal analysis of earthquake resistance of buildings and structures by modern devices is an urgent task. These works are carried out with the help of instrumental studies (hardware and methodological), short-term and continuous observations by seismic sensors of vibrations at different points of the building are carried out. Convenient, compact and multifunctional seismic sensors are required for such monitoring surveys. Therefore, a large number of the above seismic sensors are required to fully analyse the earthquake resistance of buildings and structures.

For this purpose, a seismic sensor (fig. 1) was developed within the framework of the project at the Centre for Advanced Technologies to assess the earthquake resistance deficit of buildings and structures. During the research, several samples were developed and tested in test mode in order to create an optimal seismic sensor model. A geophone sensor with a natural frequency of 4,5 Hz was used as the sensitive system of the seismic sensor.

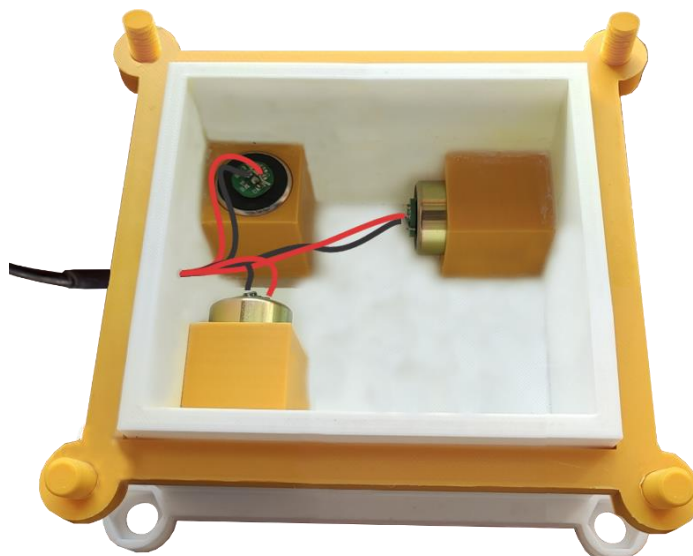


Fig. 1: Experimental model of a seismic sensor based on geophone sensors with a natural frequency of 4,5 Hz.

The developed seismic sensor has a specially made case, two geophone sensors of the type «GH45RTC», intended for registration of horizontal components of ground vibrations under the influence of seismic waves, and one geophone sensor of the type «GV45RTC», intended for registration of vertical components of ground vibrations. To record seismic signals, the instrument is connected to a computer via a 16-bit, 8-channel automatic digital converter (ADC) with a set of installed amplifiers and filters. In order to verify the stable operation of the sensitive system of the seismic sensor, several stages of tests were carried out. WinSDR software was used to record digital signals.

To test the performance of the seismic sensor and to assess the reliability of the acquired data, S3S2 – a 3D surface seismic sensor from M.A.E. company with 2 Hz natural frequency sensors – was installed next to it.

During the research, the sample seismic sensor and the S3S2-3D seismic sensor operated synchronously. Both devices recorded event files in real time over a period of 45 days. During this period the instruments recorded 11 earthquakes with magnitudes from $M_b = 3,2$ to $M_b = 5,4$ (table 1).

Table 1

Catalogue of earthquakes that occurred during the research period

№	Date	Time	Latitude	Longitude	Location	Depth (м)	Magnitude (Mb)
1	02.09.2021	04:50:13	37,33	70,01	Afghanistan	193	5,3
2	09.09.2021	23:43:16	36,72	71,13	Afghanistan	225	4,5
3	11.09.2021	06:51:51	41,55	69,12	Kazakhstan	15	3,6
4	12.09.2021	15:07:12	41,51	69,13	Kazakhstan	15	3,3
5	14.09.2021	19:11:25	41,28	68,74	Kazakhstan	5	3,2
6	17.09.2021	22:06:46	39,32	72,72	Tajikistan	202	4,8
7	17.09.2021	22:22:56	38,67	73,4	Tajikistan	135	4,5
8	24.09.2021	21:56:37	40,34	70,3	Tajikistan	5	3,8
9	29.09.2021	07:46:12	41,03	73,37	Kyrgyzstan	5	4,7
10	29.09.2021	02:41:29	40,16	71,75	Kyrgyzstan	5	4,3
11	30.09.2021	13:04:17	36,57	70,99	Afghanistan	266	5,4

The instruments recorded vibrations in a continuous mode. Both seismometers operated in the digital mode of recording seismic events.

When comparing the experimental model of the seismic sensor and the S3S2-3D seismometer, the sensitivity value of each device was calculated using the WinQuake programme on the basis of their technical characteristics. The sensitivity value of the S3S2-3D seismometer is $1.93885505027e-006$; that of the prototype seismic sensor is $5.2981906467e-006$. Taking into account the sensitivity value of each device guarantees the quality of the recorded event files and the reliability of the received data.

The magnitudes of earthquakes recorded synchronously by each instrument were calculated and the differences in magnitudes between them were determined (table 2).

Table 2

Differences between the magnitudes of earthquakes recorded by two seismic sensors

№	Locations	Magnitude (Mb)		Difference between magnitudes
		S3S2-3D 2 Hz	Seismic sensor 4.5 Hz	
1	Afghanistan	5	4,98	0,02
2	Afghanistan	5,38	5,32	0,06
3	Kazakhstan	4,78	5	-0,22
4	Kazakhstan	4,46	4,52	-0,06
5	Kazakhstan	4,98	5,12	-0,14
6	Tajikistan	5,65	5,56	0,09
7	Tajikistan	4,59	4,54	0,05
8	Tajikistan	4,16	4,13	0,03
9	Kyrgyzstan	5,17	5,1	0,07
10	Kyrgyzstan	5,14	5,06	0,08
11	Afghanistan	5,97	5,88	0,09

The maximum value of the difference between the determined values was 0,09 and the minimum value was -0,22. It can be seen that the difference between the magnitudes of earthquakes registered by seismometers at exceeding $Mb = 5$ increases.

Below is presented the spectrum of oscillations in three components (NS, EW, Z) of two seismic sensors (fig. 2), with different sensitivity (2 Hz, 4,5 Hz), during the earthquake which occurred in Afghanistan on 30 September 2021 at 13:04:17 GMT, with magnitude Mb = 5,4.

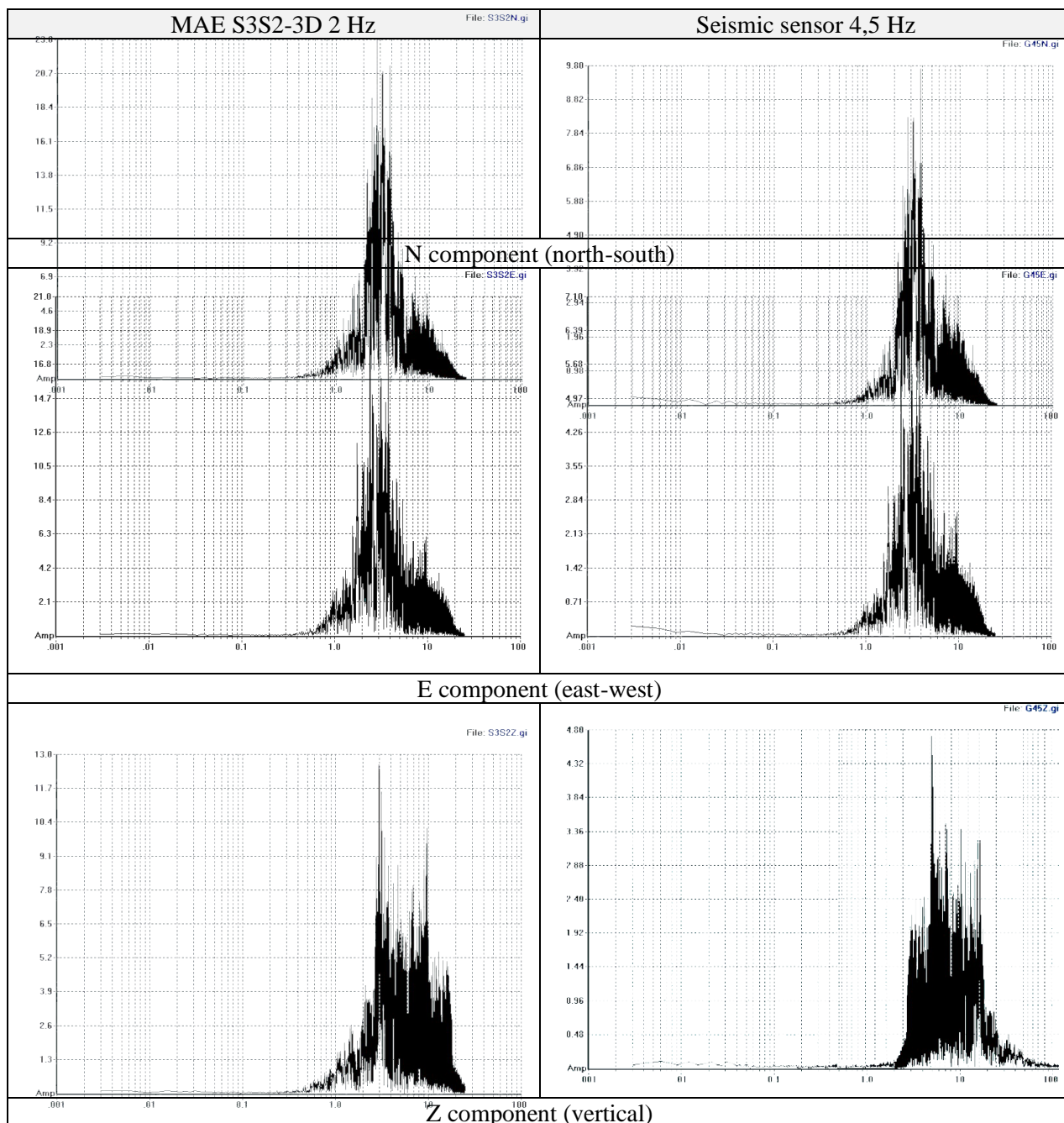


Fig. 2. Vibration spectrum of two seismic sensors with different sensitivity (2 Hz, 4,5 Hz).

Conclusion. Studies have shown that a seismometer with a specific frequency of 4,5 Hz is effective in assessing the seismic failure of buildings and structures in a short period of time. It can also be used to record earthquakes in continuous mode. Due to the lower sensitivity compared to a seismometer with a natural frequency of 2 Hz, the detail of event file recording is lower.

When comparing the calculated magnitudes of earthquakes recorded simultaneously by both seismic sensors with different sensitivities, it was found that the difference between them increased significantly when the magnitude of earthquakes exceeded $M_b > 5$.

REFERENCES

1. *Ibragimov A.* Review of modern methods of assessment of earthquake resistance of buildings and structures. Problems of seismology. - Tashkent. - 2021. - № 1. - P. 52-59.
2. Law «On ensuring seismic safety of the population and territory of the Republic of Uzbekistan» (OG-713, 13.09.2021) <https://www.lex.uz/uz/docs/5630180>
3. *Valentin Shustov (2012)*. «Seismic fitness: on some features of earthquake engineering».
4. *Valentin Shustov (2012)*, «Introduction to seismic fitness» <http://nees.org/resources/4450> Archived copy dated 29 November 2014 at the Wayback Machine.
5. *Valentin Shustov.* A new concept of design code for seismic performance (англ.). Published on 28 May 2015 y.
6. *Timofeev V., Arnautov G., Taliev S., Sarycheva Y., Kalish E., Stus Y., Anisimova L., Zhdanov A.* Study of modern movements of the Earth's crust in the areas of large reservoirs in the south of Siberia by water level registration method // Geology and Geophysics. - 1997. - Т. 38. - № 12. - P. 1993-2000.

3D сейсмоприемник на основе сейсмодатчиков Н.К. Орипов, И.Р. Янбухтин, У.Т. Мусаев

Аннотация. В современном мире идет интенсивный темп строительства жилых зданий и их инфраструктуры, а также объектов и сооружений промышленного характера, что приводит к большей урбанизации новых территорий. В связи с этим актуальным и целесообразным является внедрение современных систем непрерывного сейсмического мониторинга. Испытания и обследования с помощью современного цифрового оборудования позволяют выявить и своевременно устранить признаки сейсмической уязвимости зданий и сооружений в процессе их эксплуатации. Для проведения таких сейсмических мониторинговых исследований необходимы удобные и компактные приборы. В статье описывается процесс разработки модели сейсмического устройства на основе сейсмодатчиков с собственной частотой 4,5 Гц, его испытания, а также сравнение с другими сейсмическими устройствами подобного типа.

Ключевые слова. сейсмометрический контроль, сейсмический мониторинг, здания и сооружения, сейсмический датчик, землетрясения.

Seysmik sensorlar asosida 3D seysmopriyomnik N.K. Oripov, I.R. Yanbuxtin, U.T. Musayev

Аннотация. Zamonaviy dunyoda turar-joy binolari va ularning infratuzilmasini, shuningdek, sanoat ob'ektlari va inshootlarini jadal sur'atlarda qurilishi yangi hududlarning ko'proq urbanizatsiyasiga olib kelmoqda. Shu munosabat bilan zamonaviy uzluksiz seysmik monitoring tizimlarini joriy etish dolzarb va maqsadga muvofiqdir. Zamonaviy raqamli asbob-uskunalardan foydalangan holda o'tkazilgan sinovlar va tekshiruvlar bino va inshootlarni ekspluatatsiya qilish jarayonida ularning seysmik zaiflik belgilarini aniqlash va tezkorlik bilan bartaraf etish imkonini beradi. Bunday seysmik monitoring ishlarini olib borish uchun qulay va ixcham asboblardan talab qilinadi. Maqolada tabiiy chastotasi 4,5 Gts bo'lgan seysmik datchiklar asosida seysmik qurilma modelini ishlab chiqish, uni sinovdan o'tkazish va shunga o'xshash turdagi boshqa seysmik qurilmalar bilan taqqoslash jarayoni tasvirlangan.

Калит so'zlar: seysmometrik nazorat, seysmik monitoring, binolar va inshootlar, seysmik sensor, zilzilalar.

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
СЕЙСМОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ХОДИМЛАРИ ТОМОНИДАН
2022-2023 ЙИЛДА ЧОП ЭТИЛГАН МОНОГРАФИЯ, ДАРСЛИКЛАР ВА
ЎҚУВ ҚОЛЛАНМАЛАРИ**

А.Х.Ибрагимов. ОБЩАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. - Ташкент: Umid design, 2023. - 212 с.



В учебнике приводится история развития сейсмологической науки, примеры сильнейших землетрясений мира. Дано объяснение понятия сейсмических волн, их типов, магнитуды и энергии землетрясения. Показаны шкалы интенсивности сейсмических воздействий, используемые в разных странах. Отдельная глава посвящена пространственно-временному распределению землетрясений, их приуроченности к разломам. Даны понятия тектоники плит, механизма очага землетрясения. Описаны современные цифровые сейсмические приборы. Показаны методы, применяемые при сейсмическом микрорайонировании. Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «5А440711 – Сейсмометрия и сейсмология». Учебник будет полезным для магистрантов и специалистов, желающих самостоятельно углубить свои знания.

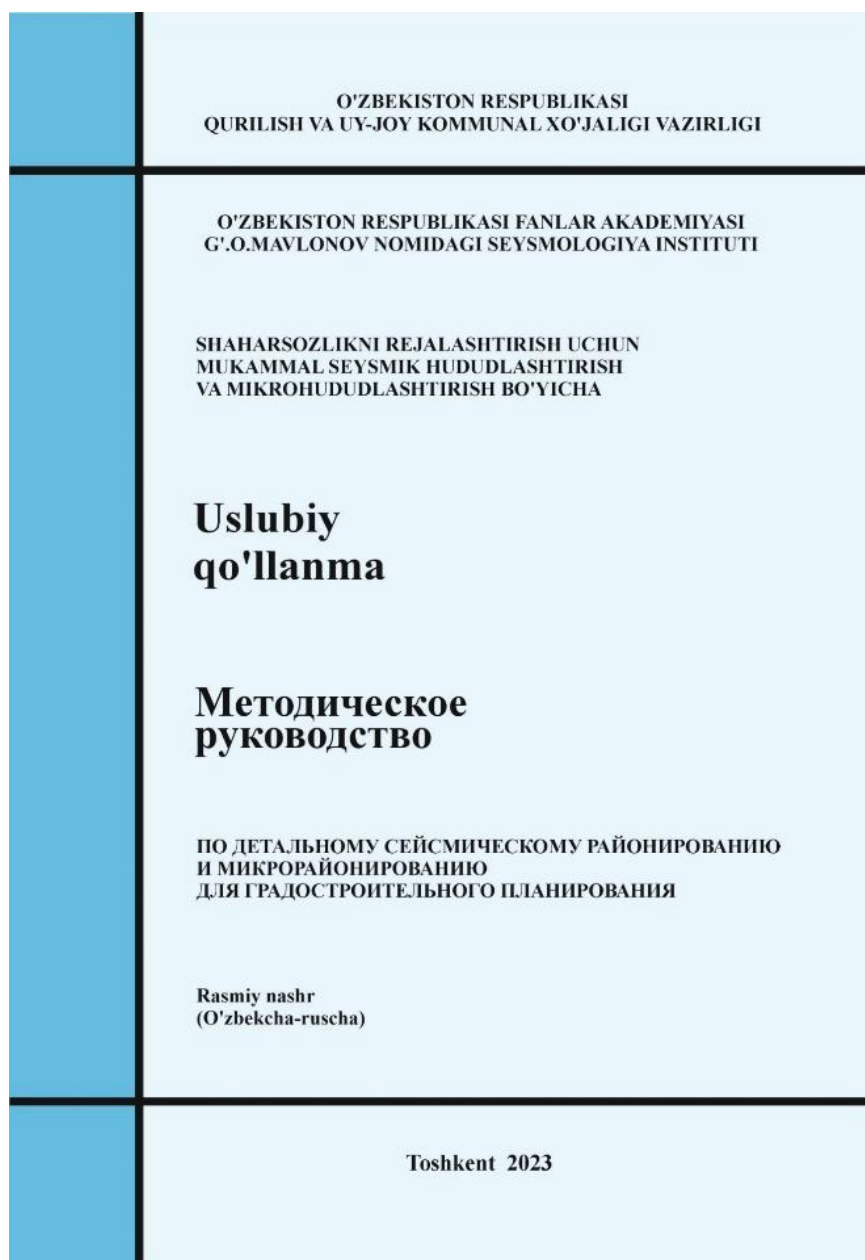
**А.Х.Ибрагимов. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. -
Ташкент: Umid design, 2023. - 160 с.**

В учебнике приводится история развития сейсмических приборов – от сейсмоскопов до цифровых сейсмографов. Описаны типы сейсмических датчиков, принципы работы сейсмических регистраторов. Показаны международные форматы сейсмологических данных. Приведены ссылки на веб-сайты международных сейсмологических центров, дается описание компьютерных программ для анализа сейсмологических данных и ссылки на их скачивание. Приведены требования к пунктам регистрации для создания локальной сети сейсмического мониторинга. Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «5А440711 – Сейсмометрия и сейсмология». Учебник будет полезным для магистрантов и специалистов, желающих самостоятельно углубить свои знания.



Ismailov V.A., Nurmatov U.A., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Ibragimov A.X., Sadiqov Yu.M., Yodgorov Sh.I., Mirzaev M.A., Xusomiddinov A.S., Aktamov B.U., Avazov Sh.B., Mamaraziqov T.U., Yuldashev E.Sh., Islamov X.A., Raxmatov A.R., Bozorov J.Sh., Tshaeva R.B., Mansurov A.F., Oripov N.K., Islamova N.F., Ruzimboev F.F., Yusupdjanova U.A.

SHAHARSOZLIKNI REJALASHTIRISH UCHUN MUKAMMAL SEYSMIK XUDUDLASHTIRISH VA MIKROHUDUDLASHTIRISH BO'YICHA USLUBIY QOLLANMA. - Toshkent: Umid design, 2023. - 156 bet.



Mazkur uslubiy qo'llanma Seismologiya instituti tomonidan O'zbekiston Respublika Prezidentining 2022 yil 30 maydagi PF-144-sonli qarorning 2-ilovasi, 8-bandi keltirilgan "Shaharsozlikda o'zlashtiriladigan hududlarni mufassal seysmik rayonlashtirish va seysmik mikrorayonlashtirish xaritasini yaratish, hamda uning asosida normativ-texnik hujjat ishlab chiqish" vazifalarini bajarish hamda shaharsozlikni rejalashtirish uchun mukammal seysmik hududlashtirish va mikrohududlashtirish ishlarini to'g'ri tashkil etish uchun ishlab chiqilgan.

Ushbu uslubiy qo'llanma shaharsozlik bosh rejalarini, bino-inshoot va infratuzilmalarni loyihalash uchun zarur hisoblangan seysmik ta'sir parametrlarini makroseysmik ballarda, hamda muhandislik ko'rsatkichlarda, shu jumladan faol yer yoriqlar bo'ylab siljishlarni va grunt sharoitini hisobga olgan holda aniqlash va kerakli ma'lumotlar bilan ta'minlash maqsadida yaratilgan. U hududiy ob'ektlar (shaharlar,

viloyatlar, Qoraqalpog'iston Respublikasi hududlari) uchun seysmik xavfni baholashda seysmotektonik, seysmologik va muhandis seysmologik tadqiqotlar asosida mukammal seysmik hududlashtirish, seysmik mikrohududlashtirish va seysmik ta'sirlarni baholashning asosiy qoidalari va tartiblarini belgilaydi.

В.А.Исмаилов, Р.С.Ибрагимов, У.А.Нурматов, А.Х.Ибрагимов, Ш.И.Ёдгоров,
Т.Л.Ибрагимова, Ю.М.Садыков, Э.М.Ядигаров, А.С.Хусомиддинов, М.А.Мирзаев,
Б.У.Актамов, Ш.Б.Авазов, Т.У.Мамарозиков, Ж.Ш.Бозоров, А.Ф.Мансуров, Р.Б.Тешаева,
С.Х.Ашуров, Ф.Ф.Рузимбоев, Э.Ш.Юлдашев, Х.А.Исламов

**ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ
ТЕРРИТОРИИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ. -
Ташкент: Umid design, 2023. - 300 с.**



Согласно Указу Президента Республики Узбекистан, в 2022-2025 гг. запланирована разработка цифровых карт сейсмического микрорайонирования Ташкента, Андижана, Гулистана, Нурафшана, Намангана, Ферганы, Самарканда, Джизака, Бухары, Навои, Карши, Термеза, Нукуса, Ургенча и других крупных городов.

В данной монографии обсуждены методологические аспекты детального сейсмического районирования региональных территорий и приведены результаты сеймотектонических и сейсмологических исследований для оценки сейсмической опасности Ферганской долины, а также карта детального сейсмического районирования региональной

территории в вероятностной основе в масштабе 1: 500 000. Приведены результаты микрорайонирования территории крупных городов Ферганской долины. Большое внимание уделено предоставлению результатов комплексных инженерно-сейсмологических исследований при сейсмическом микрорайонировании территорий городов Андижана, Намангана и Ферганы и составлению карт сейсмического микрорайонирования территорий городов в масштабе 1:25 000.

M u n d a r i j a	sah.
Yadigarov E.M., S.S. Khusomiddinov, Khusomiddinov A.S., Islamov H.A., Bazarov J.Sh., Mamarozikov T.U. Shahar hududlarida seysmik mikrorayonlashtirish zarurligi masalasiga (Qarshi shahri misolida)	5
Abdullabekov K.N., Maqsudov S.X., Yusupov V.R. O'zbekistonda zilzilalarni oldindan aytish muammosi bo'yicha o'tkazilgan ko'p yillik ilmiy tadqiqotlarning tahlili va kelajakdagi istiqbollari	12
Ibragimova T.L. Zilzilani bashorat qiluvchilarni izlash uchun gidrogeoximyoviy kuzatuvlar natijasida foydali (bashorlash) signalni anqlash haqida	17
Nurmatov U.A., Sadikov Yu.M., S.S. Khusomiddinov, Yusupdjanova U.A. O'zbekiston va unga yondosh xududlardagi turli rangdagi tektonik strukturalarda kuchli va o'rta kuchdagi zilzilalarni nomoyon bo'lishining regional xususiyatlari	30
Atabekov I.U., Lutfullaev R.A., Mamarahimov J.K. Kuchli zilzilalar joyini aniqlash uchun «Kora-3» va «Kora-4» algoritmlarini qo'llash tajribasi (Farg'ona tushgani misabi asosida)	39
Yanbukhtin I.R., Mamarozikov T.U., Zakirov A.Sh., Li A.V., Musayev U.T., Oripov N.K., Alimuhamedov I.M., Abdurahmonov G'.Y. RASPBerry PI bitta platatali mikrokompyuter asosida mikrotremorni o'lchash stantsiyasini ishlab chiqish	50
Alimov B.G., Kurbanov T.S. Seysmik hodisalarni qayta ishlash uchun fk tahlilini qo'llash	55
Vahobov J.A., Oripov N.K., Yanbukhtin I.R., Zakirov A.Sh., Musayev U.T. Bino va inshootlarning seysmik chidamliligini HVSRM tahlillari asosida baholash	69
Yuldashev E.Sh., Islamov X.A., Raxmatov A.R. KALMAKIR va YOSHLIK-I konlarida amalga oshirilayotgan sanoat portlashlari vaqtida bino va inshootlarga ta'sirini aniqlash maqsadida seysmologik muhandislik tadqiqot	75
Oripov N.K., Yanbukhtin I.R., Musayev U.T. Seysmik sensorlar asosida 3D seysmopriyomnik	82

С о д е р ж а н и е	стр.
Ядигаров Э.М., С.С. Хусомиддинов, Исламов Х.А., Бозоров Ж.Ш., Мамарозиков Т.У. К вопросу необходимости сейсмического микрорайонирования и городских территориях (на примере г. Карши)	5
Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Юсупов В.Р. Анализ результатов многолетних научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений в Узбекистане и их перспективы	12
Ибрагимова Т.Л. О выделении полезного (прогнозного) сигнала в результатах гидрогеохимических наблюдений для поиска предвестников землетрясений	17
Нурматов У.А., Садиков Ю.М., С.С. Хусомиддинов, Юсупджанова У.А. Региональные особенности проявления сильных и умеренных землетрясений в разноранговых тектонических структурах Узбекистана и прилегающих территориях	30
Атабеков И.У., Лутфуллаев Р.А., Мамарахимов Ж.К. Опыт применения алгоритмов «Кора-3» и «Кора-4» для выявления мест возникновения сильных землетрясений (на примере Ферганской впадины)	39
Янбухтин И.Р., Мамарозиков Т.У., Закиров А.Ш., Ли А.В., Мусаев У.Т., Орипов Н.К., Алимухамедов И.М., Абдурахманов Г.Ю. Разработка станции для измерения микротремора на базе одноплатного микрокомпьютера RASPBerry Pi	50
Алимов Б.Г., Курбанов Т.С. Применение Fk-анализа для обработки сейсмических событий	55
Вахобов Ж.А., Орипов Н.К., Янбухтин И.Р., Закиров А.Ш., Мусаев У.Т. Оценка сейсмической устойчивости зданий и сооружений на основе анализа HVSRM	69
Юлдашев Э.Ш., Исламов Х.А., Рахматов А.Р. Инженерно-сейсмологические изыскания по определению воздействий на здания и сооружения при промышленных взрывах, производимых на месторождениях Кальмакы» и Ёшлик I	75
Орипов Н.К., Янбухтин И.Р., Мусаев У.Т. 3D сейсмоприемник на основе сейсмодатчиков	82

C o n t e n t	page
Yadigarov E.M., S.S. Khusomiddinov, Khusomiddinov A.S., Islamov H.A., Bazarov Zh.Sh., Mamarozikov T.U. On the issue of the need for seismic microdistricting in urban areas (using the example of Karshi)	5
Abdullabekov K.N., Maksudov S.Kh., Yusupov V.R. Analysis of the results of long-term scientific research on the problem of earthquake forecasting in Uzbekistan and their prospects	12
Ibragimova T.L. On the identification of a useful (prediction) signal as a result of hydrogeochemical observations for the search of earthquake predictors	17
Nurmatov U.A., Sadikov Yu.M., S.S. Khusomiddinov, Yusupdzhanova U.A. Regional features of strong and moderate earthquakes in different rank tectonic structures of Uzbekistan and adjacent territories	30
Atabekov I.U., Lutfullaev R.A., Mamarahimov J.K. Experience of application of «Cora-3» and «Cora-4» algorithms for identification of strong earthquakes (on the example of the Fergana depression)	39
Yanbukhtin I.R., Mamarozikov T.U., Zakirov A.Sh., Li A.V., Musayev U.T., Oripov N.K., Alimuhamedov I.M., Abdurahmonov G'.Y. Development of a station for measuring microtremor based on a single-board RASPBERRY PI microcomputer	50
Alimov B.G., Kurbanov T.S. Application of Fk analysis for processing seismic events	55
Vakhobov J.A., Oripov N.K., Yanbukhtin I.R., Zakirov A.Sh., Musaev U.T. Assessment of seismic stability of buildings and structures based on HVSRM analysis	69
Yuldashev E.Sh., Islamov X.A., Raxmatov A.R. Seismological engineering surveys to determine the impacts on buildings and structures during industrial explosions produced in the Kalmakir and Yoshlik-I fields	75
Oripov N.K., Yanbukhtin I.R., Musaev U.T. 3D seismic receiver based on seismic sensors	82

Коллектив авторов

SEISMOLOGIYA MUAMMOLARI
ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ
SEISMOLOGY PROBLEMS

2024, № 1, том 6

*Утверждено к печати Ученым советом
Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова (29.05.2024г. №7)*

Редактор *Т.Г.Кочергина* (рус.)

Компьютерная верстка *В.Р.Юсупов*

Формат 80×64₁₈. Усл. печ. л. 12,25. Уч.-изд. л. 15. Тираж 100 экз.
Отпечатано в Бизнес Полиграф.
Ташкент, Чиланзар, ул. Козиробот, 65.

Обуна индекси (подписной индекс) 1351.