

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR АКАДЕМИЯСИ
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI

2

ТОМ 2

2020

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

Jurnal 2019-yildan yiliga ikki marta nashr etiladi

Журнал издается с 2019 года по два номера в год

TOSHKENT – 2020

TAHRIRIYAT A'ZOLARI:

V.A. RAFIKOV (Tahririyat
kengashi raisi)
K.N. ABDULLABEKOV (bosh muharrir)
L.A. HAMIDOV (mas'ul kotib)
X.A. AKBAROV
T.U. ARTIKOV
D.Kh. ATABAYEV
T.L. IBRAGIMOVA
V.A. ISMOILOV
S.X. MAKSUDOV
B.S. NURTAYEV
B.Yu. QURBONOV
Sh.S. RAJABOV

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А. РАФИКОВ (Председатель
редакционного совета)
К.Н. АБДУЛЛАБЕКОВ (главный редактор)
Л.А. ХАМИДОВ (ответственный секретарь)
Х.А. АКБАРОВ
Т.У. АРТИКОВ
Д.Х. АТАБАЕВ
Т.Л. ИБРАГИМОВА
В.А. ИСМАИЛОВ
С.Х. МАКСУДОВ
Б.С. НУРТАЕВ
Б.Ю. КУРБАНОВ
Ш.С. РАДЖАБОВ

Manzil: Toshkent shahri, Shayxontohur tumani, Zulfiyaxonim k., 3-uy.
Tel.: +99871 241-51-70, 241-32-22; Fax: +99871 241-74-98.
E-mail: seismologiya@mail.ru;

Jurnal sayti: www.seismos.uz.

Адрес: г.Ташкент, Шайхантахурский район, ул.Зулфияхоним, 3.
Тел.: +99871 241-51-70, 241-32-22; Fax: +99871 241-74-98.
E-mail: seismologiya@mail.ru;

Сайт журнала: www.seismos.uz.

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Matbuot va axborot agentligida 08.04.2019-yil
1013-raqam bilan ro'xatdan o'tgan.

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации
Республики Узбекистан 08.04.2019 г.
Регистрационный номер 1013.

Seysmik xavfni baholash va seysmik rayonlashtirish

УДК 550.34

Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А.

Институт сейсмологии АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан, ibrroma@yandex.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И НОВАЯ КАРТА ОБЛАСТЕЙ ОЖИДАЕМОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzayev M.A.

O'zR FA Seysmologiya instituti, O'zbekiston Respublikasi, Toshkent sh., ibrroma@yandex.ru

Tezkor usulda O'zbekiston hududida bo'lishi mumkin bo'lgan kuchli zilzilalarning uzoq muddatli bashorat qilish samaradorligini baholash va seysmik faol hududlarning yangi xaritasi

Аннотация. Kuchli zilzilalarning fokal zonalarida seysmik jarayon kechishining qonuniyatlari va seysmofaol zonalarida kuchli zilzilalarning namoyon bo'ish xususiyatlariga asoslanib, O'zbekiston hududidagi mavjud seysmologik vaziyatni baholash usuli bayon etiladi. Birinchi bosqichda seysmofaol hududlar doirasida tarixiy va zamonaviy kuzatuv davridagi kuchli zilzilalar asosida yuqori seysmik faollikka ega bo'lgan hududlar ajratib olinadi. Ikkinchi bosqichda, seysmik rejim parametrlarining anomal belgilari soni asosida, yaqin yillar davomida kuchli zilzilalarning namoyon bo'lish ehtimoliligiga ko'ra saralanadi. 2015 va 2017-yillarda bayon etilgan usul asosida yaratilgan O'zbekiston hududidagi seysmofaol hududlar haritalari tahlil qilinib, ularning afzaliligi ko'rsatildi. Ohirgi yillar davomida olingan seysmologik ma'lumotlar asosida yaqin yillar ichida seysmofaol bo'ladigan hududlarning yangi haritasi keltirilgan. Yaratilgan harita O'zbekiston hududida zilzilalar talafotlarini kamaytirishga qaratilgan tadbirlar doirasida foydalanish tavsiya etiladi.

Калит so'lar: zilzilalarning uzoq muddatli bashorati, seysmik rejim parametrlari, seysmik faollik, seysmik so'nish, seysmik bo'shliq.

Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А.

Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан, ibrroma@yandex.ru

Оценка эффективности долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Узбекистана в режиме реального времени и новая карта областей ожидаемой сейсмической активизации

Аннотация. Излагается подход к оценке текущей сейсмологической обстановки на территории Узбекистана, основанный на закономерностях протекания сейсмического процесса в очаговых областях сильных землетрясений и особенностях проявления совокупности сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон. На первом этапе в пределах сейсмоактивных зон выделяются пространственные области, в которых отмечалась высокая сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений за исторический и инструментальный период времени. На втором этапе по числу аномальных признаков в параметрах сейсмического режима, выявленных за последние годы, эти области ранжируются по вероятности возникновения в них сильных землетрясений в течение ближайших лет. Проведен анализ предшествующих карт долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Узбекистана, построенных в рамках описанной методологии в 2015 и в 2017 гг., и показана их высокая эффективность. На основе сейсмологических данных, полученных за последние годы, составлена новая карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы. Разработанная карта предназначена для проведения антисейсмических мероприятий на территории Узбекистана.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз землетрясений, параметры сейсмического режима, сейсмическая активизация, сейсмическое затишье, сейсмическая брешь.

Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A.

Institution of Seismology, Academy of Science of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan, ibrroma@yandex.ru

Evaluation of the of strong earthquakes long-term forecasting efficiency FOR the Uzbekistan territory in real time and a new map of expected seismic activation areas

Annotation. An approach to assessing the current seismological situation on the Uzbekistan territory, based on the the seismic process regularities in the focal areas of strong earthquakes and the features of the manifestation of a set of strong earthquakes within seismically active zones, is presented. At the first stage, within the seismically active zones, spatial regions are distinguished in which high seismic activity was noted at the level of strong earthquakes for the historical and instrumental time period. At the second stage, according to the number of anomalous signs in the parameters of the seismic regime revealed in recent years, these areas are ranked according to the probability of occurrence of strong earthquakes in them in the coming years. The analysis of the previous

maps of strong earthquakes long-term forecasting for the territory of Uzbekistan, constructed within the framework of the described methodology in 2015 and 2017, is carried out, and their high efficiency is shown. Based on seismological data obtained in recent years, a new map of areas of expected seismic activity for the coming years has been compiled. The developed map is intended for carrying out anti-seismic measures in the Uzbekistan territory.

Key words: long-term earthquake forecast, parameters of seismic mode, seismic activity, seismic lull, seismic gap

Введение. Современные карты сейсмического районирования указывают зоны, в которых с заданной вероятностью P интенсивность сейсмических воздействий не будет превышена в течение 50-100 лет. Вопрос же о том, какие из сейсмоопасных зон проявят себя сейсмической активизацией в ближайшие годы, нуждается в детальном рассмотрении, основанном на выявлении пространственно-временных и энергетических закономерностей развития сейсмического процесса в очагах сильнейших землетрясений, исследовании направленности его протекания в пределах сейсмоактивной зоны, установлении особенностей взаимосвязи между геодинамическим режимом различных активных тектонических структур с учетом их характерных размеров.

Первая «Карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы» (Рис. 1) была построена в конце 2015 года [1–3] и передана в МЧС РУз для проведения необходимых антисейсмических мероприятий. Практически все сильные (с $M \geq 5.0$) землетрясения, произошедшие на территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях в 2016–2017 гг., попали в выделенные на данной карте области долгосрочного прогноза, в которых вероятность их возникновения оценивалась как «высокая» и «очень высокая».

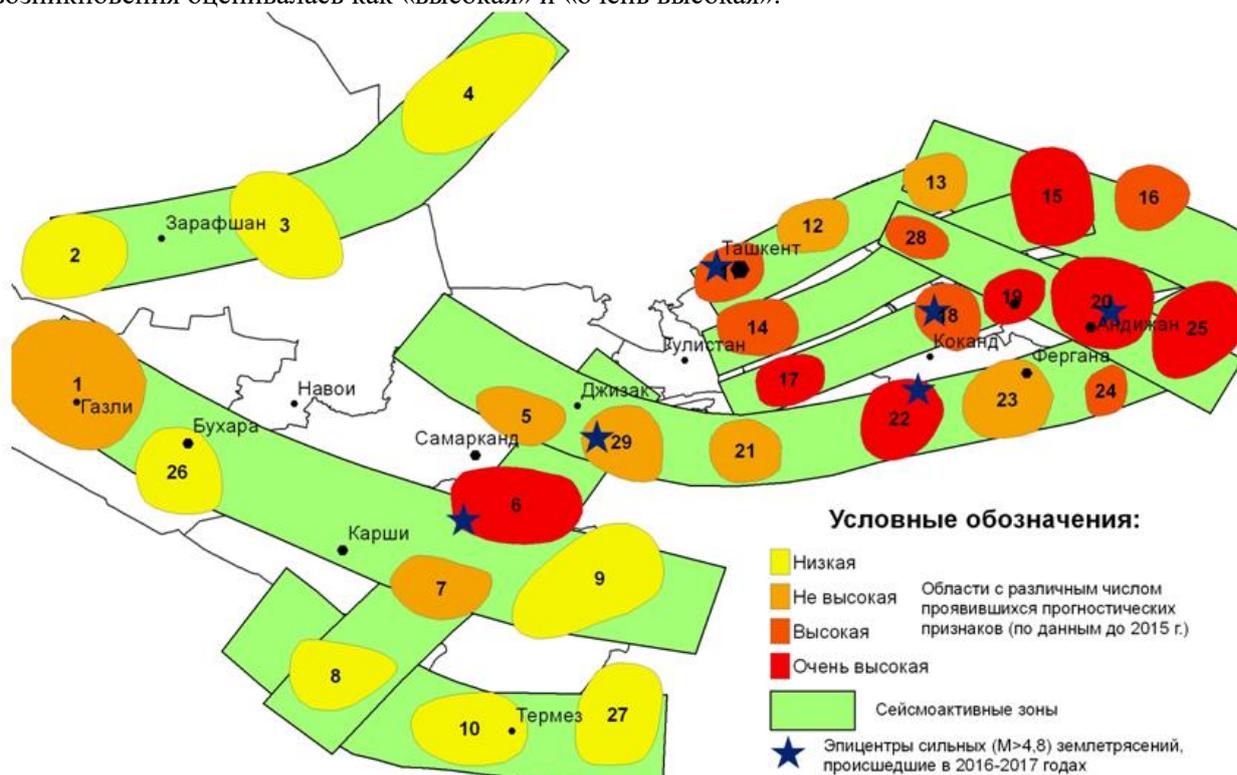


Рисунок 1 – Карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима, построенная в 2015 году и переданная МЧС РУз.

С учетом меняющейся геодинамической обстановки в регионе в начале 2018 г. была разработана и внедрена в МЧС Республики Узбекистан следующая по времени карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (Рис. 2). Эта карта была построена по сейсмологическим данным, оканчивающихся декабрем 2017 г. На этом же рисунке показаны эпицентры сильных землетрясений, которые произошли в период с 01.01.2018 по 31.03.2020 года. Значительная часть этих землетрясений реализовалась в областях, где по данным долгосрочного прогноза вероятность их возникновения была «высокой» и «очень высокой». Два землетрясения с

магнитудой $M \geq 4.8$ попали в Газлийскую очаговую зону, где по карте долгосрочного прогноза вероятность их возникновения оценивалась как «не высокая». По-видимому, для Газлийской очаговой зоны, где в 1976 и 1984 гг. реализовались три землетрясения с магнитудой $M \geq 7.0$ и до сих пор землетрясения с магнитудой $M \geq 4.8$ происходят достаточно часто, уровень прогнозируемых сейсмических событий следует несколько повысить. Анализируя результаты долгосрочного прогноза в режиме реального времени за истекшие пять лет в целом, можно отметить достаточно высокую эффективность разрабатываемых карт областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы.

К настоящему времени карта долгосрочного прогноза, разработанная в 2018 году, требует обновления. В статье обсуждают этапы построения новой карты областей ожидаемой в ближайшие годы сейсмической активизации на территории Узбекистана, которая составлена с учетом сейсмологических данных последних лет в рамках разрабатываемого методологического подхода.

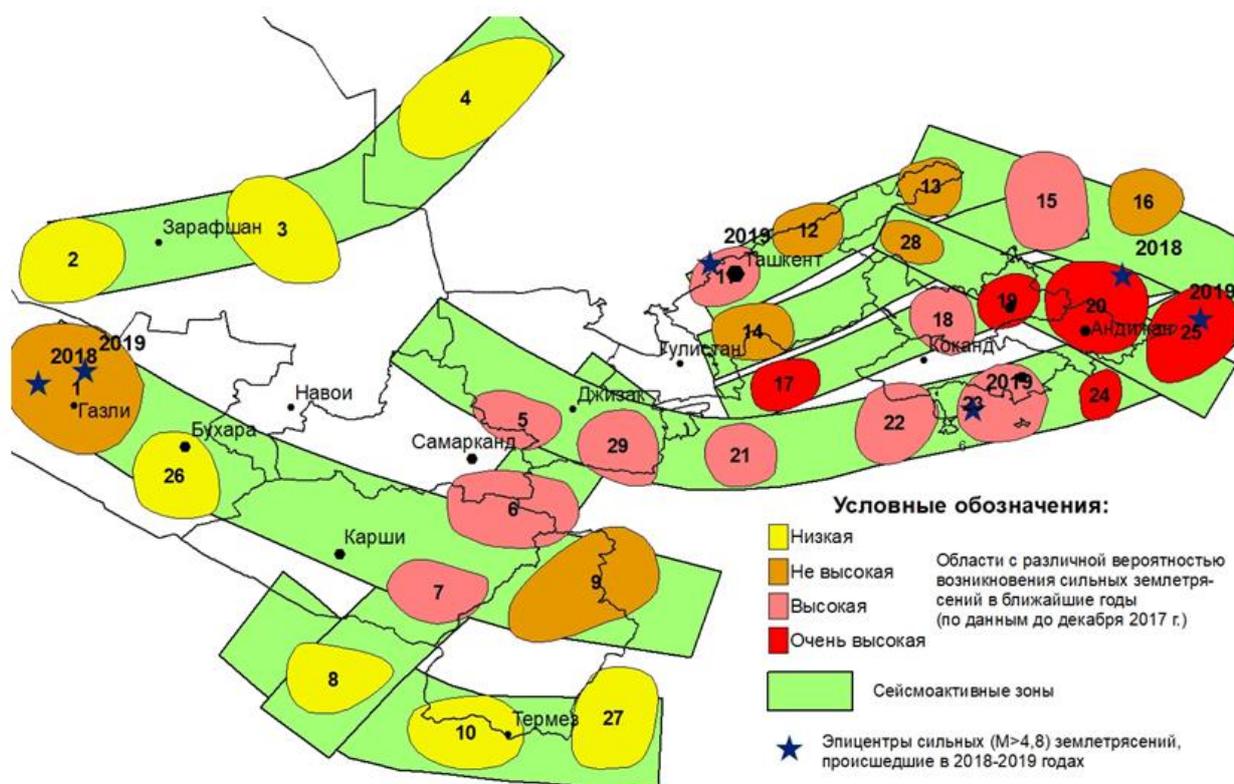


Рисунок 2 – Карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима, построенная в 2018 году и переданная в МЧС РУз.

Сейсмоактивные зоны территории Узбекистана. Проявления сейсмичности на территории Узбекистана неразрывно связаны с сейсмической активностью всего Центрально-Азиатского региона. Подавляющее большинство сильных землетрясений происходит в достаточно узких протяженных зонах, направление которых совпадает с простираем крупных глубинных разломов, разграничивающих блоки земной коры. В пределах Центрально-Азиатского региона выделяется несколько высокопотенциальных сейсмоактивных зон, где достаточно часто происходят землетрясения с магнитудой $M \geq 7.0$ (Рис. 3). Это зоны глубокофокусных землетрясений Гиндукуша (I), зона Памира (II), Таласо-Ферганская сейсмоактивная зона (III), Северо-Тянь-Шаньская (IV) и Южно-Тянь-Шаньская (V) сейсмоактивные зоны, сейсмоактивный район Копетдаг (VI).

Несколько крупных сейсмоактивных зон, способных генерировать сильные землетрясения, расположены непосредственно на территории Узбекистана. Они выделены на основе сейсмологических и сеймотектонических данных [4-6, 2]. Это следующие девять сейсмоактивных

зон (Рис. 3 врезка), связанных с крупными тектоническими структурами: Ташкентская (1), Южно-Ферганская (2), Восточно-Ферганская (3), Нурекатино-Ангренская (4), Северо-Ферганская (5), Южно-Узбекистанская (6), Амударьинская (7), Газли-Каратагский фрагмент Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны (8) и Северо-Тамдынская зона (9). Все выделенные сейсмоактивные зоны территории Узбекистана расположены восточнее 63⁰ восточной долготы.

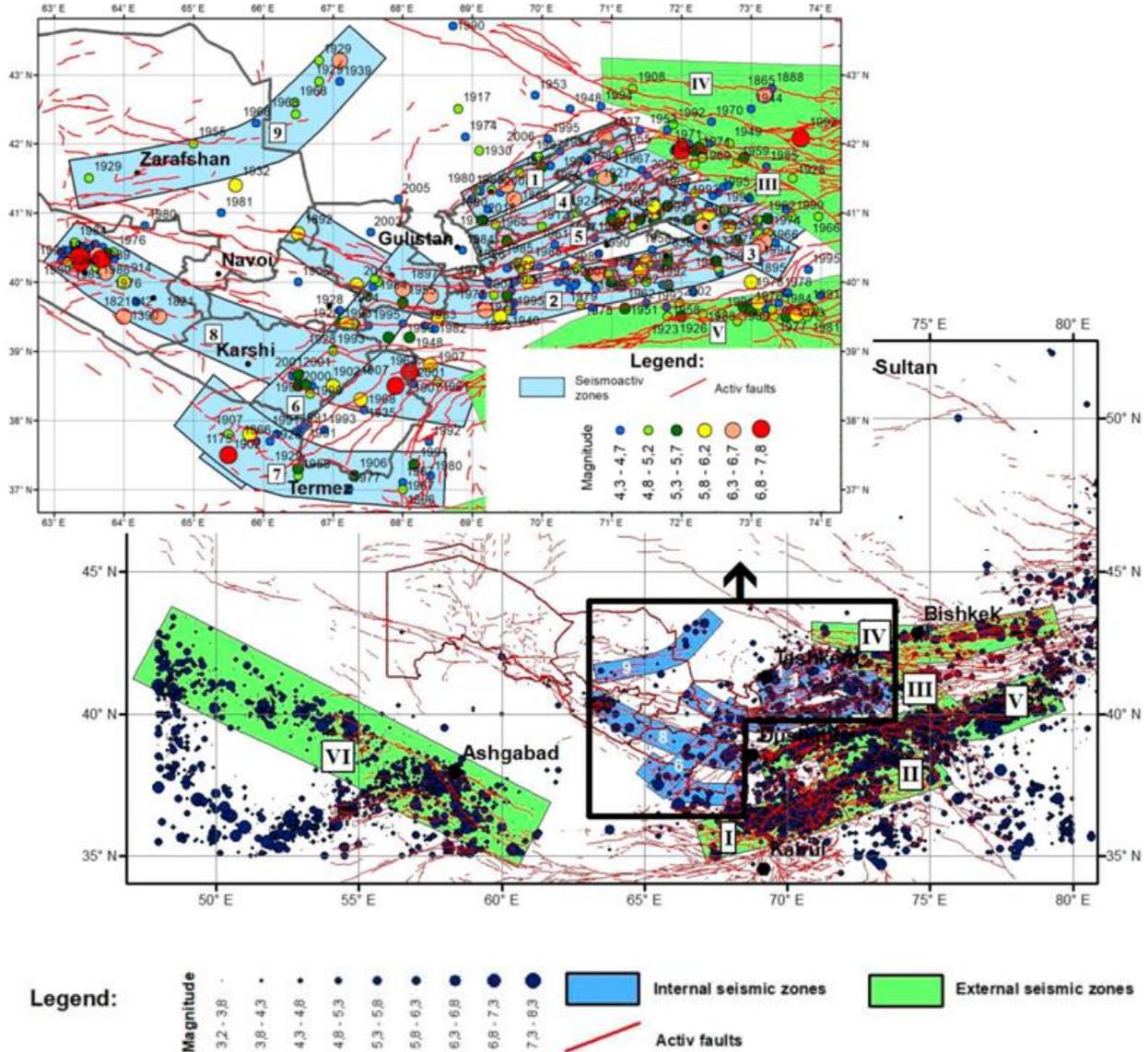


Рисунок 3 – Карты эпицентров землетрясений территории Центральной Азии и Узбекистана (по каталогу EMSCA [7]) с исторического периода времени по 2017 год с указанием активных разломов земной коры по [8] и основных сейсмоактивных зон региона.

К западу от этого меридиана (район Приаралья) территория считается практически асейсмичной, хотя по историческим данным здесь также происходили сильные землетрясения, наиболее известным из которых является разрушительное землетрясение в районе города Ургенча с магнитудой $M=6.1$. Оно датируется 1208-м годом.

Ниже приводится краткое описание сейсмоактивных зон территории Узбекистана, включающее название основных тектонических нарушений, с которыми они ассоциированы, перечисление сильнейших землетрясений, произошедших в их пределах, и указание средних периодов повторения сильных (с $M \geq 5.0$) землетрясений по графикам повторяемости, построенным для каждой сейсмоактивной зоны.

Ташкентская (1) сейсмоактивная зона протяженностью порядка 240 км и шириной 30-40

км вытянута с северо-востока на юго-запад. Сейсмические проявления в ее пределах определяются современной геодинамической активностью Каржантауского разлома в северо-восточной части и Ташкентской флексурно-разрывной зоны в юго-западной части [5]. Наиболее сильными из известных землетрясений в данной зоне считаются исторические землетрясения 1868 и 1886 годов, произошедшие на расстоянии порядка 30-40 километров от Ташкента, а также Пскемское землетрясение 1937 года ранне инструментального периода. Магнитуда каждого из этих событий была выше 6.5, а интенсивность сотрясений в эпицентре достигала $I=8$ баллов по шкале MSK-64.

За инструментальный период наблюдений в пределах этой зоны был также отмечен ряд сильных землетрясений: Бурчмулинское 1959 г. $M=5.9$, Ташкентское 1966 г. $M=5.3$, Таваксайское 1977 г. $M=5.3$, Назарбекские 1980 г. $M=5.1$, Алтынтюбинское 1987 г. $M=5.1$. За последние десять лет в пределах сейсмоактивной зоны произошло несколько землетрясений с магнитудой $M=4.6-4.8$ в 2008, 2010 и 2019 гг. Эпицентры всех трех событий располагались вблизи города Ташкента. Средний период повторяемости сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$ в Ташкентской сейсмоактивной зоне составляет 12-15 лет.

Южно-Ферганская сейсмоактивная зона (2) в восточной части объединяет систему Южно-Ферганских разломов и одноименную флексурно-разрывную зону, а в западной части охватывает область динамического влияния Бесаянского разлома [5]. На востоке эта зона протягивается в субширотном направлении по северным склонам Алайского и Туркестанского хребтов. Длина зоны порядка 700 км, ширина - 20-30 км. В пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны произошло множество землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$: Ура-Тюбинские землетрясения 1897 г., Кырккольское 1907 г., Хайдарканское 1977 г., Исфара-Баткенское 1977 г., Чимионское 1982 г., Канское 2011 г. и ряд других землетрясений. Согласно графику повторяемости землетрясений, сейсмические события с магнитудой $M \geq 5.0$ здесь происходят каждые 2-3 года.

Восточно-Ферганская сейсмоактивная зона (3) уверенно выделяется по эпицентрам сильных землетрясений и охватывает область динамического влияния Восточно-Ферганского разлома, который впервые выделен А.И. Суворовым [9]. За пределами Узбекистана эта зона протягивается далее на северо-запад, отделяя Чаткальский мегаблок от Кураминского вдоль Кумбельской зоны разломов. Наиболее сильные землетрясения Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны — Андижанское землетрясение 16.12.1902 г. с магнитудой $M=6.4$, Куршабские землетрясения с магнитудой $M=6.4$ и $M=6.5$, произошедшие 6 и 12 июля 1924 г., Избаскентское землетрясение 1992 года с магнитудой $M=5.9$. По макросейсмическим данным, большая ось изосейст Андижанского землетрясения располагалась ортогонально к простиранию Восточно-Ферганской зоны и совпадала с простиранием Южно-Ферганской флексурно-разрывной зоны. Период повторяемости землетрясений с магнитудой более 5 в Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоне составляет 5-6 лет.

Нурекатино-Ангренская зона (4) имеет протяженность порядка 300 км и простирается с северо-востока на юго-запад. Сейсмические проявления данной зоны обусловлены динамическим влиянием Нурекатинского разлома в западной части и Северо- и Южно-Ангренских разломов в южной своей части [5]. В пределах зоны известны Коштешинское землетрясение 1965 г. $M=5.5$; Букинское 1967 г. и Пскентское 1970 г. землетрясения с $M=5.0$. Последняя активизация в данной зоне проявилась Туябугузским землетрясением 2013 г. $M=5.6$. Период повторяемости сильных землетрясений в данной зоне составляет 12 лет.

Северо-Ферганская сейсмоактивная зона (5) представляет собой область, охваченную влиянием Северо-Ферганского разлома и одноименной флексурно-разрывной зоны [5], а также оперяющих их разрывных нарушений более низкого ранга. Длина зоны порядка 350 км, ширина — 15-20 км. Зона характеризуется высокой сейсмической активностью. Как за исторический период времени, так и в период инструментальных наблюдений, здесь произошло множество землетрясений с $M \geq 5.0$, вызвавших на поверхности сотрясения с интенсивностью $I \geq 7-8$ баллов. Наиболее известными из землетрясений данной зоны, которые проявились за последние 50 лет, являются следующие сейсмические события: Ленинадское землетрясение с $M=5.2$ 1972 года; Папское землетрясение с $M=5.5$ 1984 года; Кайраккумское землетрясение с $M=5.9$ 1985 года; Шамолдысайское землетрясение с $M=5.1$ 1988 года; Избаскентское землетрясение с $M=5.9$ 1992 года; Уйчинское землетрясение с $M=5.3$ 1995 года. Избаскентское землетрясение отнесено к выделенной группе несколько условно, так как произошло на незначительном удалении от рассматриваемой системы разломов, и простирание изосейст этого землетрясения существенно отличалось от направления

выделенной структуры. Сильные землетрясения в пределах зоны происходят каждые 2-3 года.

Южно-Узбекистанская сейсмоактивная зона юго-западного простирания выделена как по сильным, так и по умеренным землетрясениям. По сеймотектоническим данным юго-западная часть Южно-Узбекистанской зоны соответствует простиранию Кызылдарьинской и Лянгар-Караильской систем разломов [5]. В северо-восточной части своего простирания она пересекает Южно-Тянь-Шаньскую и Южно-Ферганскую сейсмоактивные зоны, практически примыкая к Ташкентской сейсмоактивной зоне. Протяженность зоны порядка 400 км. Наиболее сильным из известных землетрясений этой зоны считается историческое Керкинское землетрясение 1175 г с магнитудой $M=7.1$. Четыре землетрясения вблизи Ургута ($M=5.0-6.0$) датируются 1490, 1799, 1817-1818 и 1880 гг. По летописным данным, их макросейсмический эффект в эпицентре оценивается от 7 до 9 баллов. К югу от них в 1902, 1907 гг. произошли землетрясения, ощущавшиеся на поверхности интенсивностью сотрясений 6-7 баллов. Средний период повторяемости землетрясений с магнитудой с $M \geq 5.0$ в данной зоне составляет 13-15 лет.

Положение Амударьинской сейсмоактивной зоны (7) совпадает с восточным окончанием глубинного Амударьинского разлома, который прослеживается в направлении с северо-запада на юго-восток вдоль реки Амударья через города Чарджоу, Фароб, Ургенч. Протяженность зоны в пределах территории Узбекистана порядка 350 км. За исторический период времени в пределах Амударьинской сейсмоактивной зоны происходили весьма сильные ($M \geq 6.0$) землетрясения. Они датируются 1175 и 1907 гг. Известны также инструментальные землетрясения умеренной силы ($M \geq 4.5$), произошедшие в 1959, 1977 и 1980 гг. Сейсмическая активность по слабым землетрясениям в зоне очень низкая, распределена по площади не равномерно и уменьшается с продвижением с востока на запад. Период повторяемости сильных (с $M \geq 5.0$) землетрясений в зоне составляет 25-30 лет.

Наибольшую сейсмическую опасность в Западном Узбекистане представляет Газли-Каратагский фрагмент Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны (8) протяженностью порядка 550 км и шириной порядка 50-60 км, линейно связывающий очаги сильнейших (с $M \geq 7.0$) Каратагских землетрясений 1907 года и Газлийских землетрясений 1976 и 1984 годов. Сейсмическая активность в пределах этой зоны распределена крайне неравномерно. В пределах западного ее участка, кроме упомянутых сильнейших платформенных Газлийских землетрясений, известны разрушительные исторические землетрясения в районе города Бухары, где последняя сейсмическая активизация на уровне землетрясений с $M \geq 5.0$ отмечалась в 2005 г. В восточной части, кроме сильнейших Каратагских землетрясений 1907 года, произошло Лянгарское землетрясение 1971 г., а также рой Камашинских землетрясений 1999-2003 гг. с $M \geq 5.0$. Средний период повторяемости сильных землетрясений в пределах Газли-Каратагского фрагмента Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны составляет около 10 лет. По данным инструментальных наблюдений, сейсмическая активность центральной части зоны на порядок ниже, чем западной и восточной части.

Северо-Тамдынская (9) сейсмоактивная зона соответствует простиранию одноименной системы разломов [5]. Зона имеет протяженностью порядка 400 км и вытянута в северо-восточном направлении. Наиболее сильным из землетрясений, произошедших в пределах Северо-Тамдынской сейсмоактивной зоны, является Чиилийское землетрясение 1929 года, имевшее магнитуду $M=6.4$. В 1969 году в восточной части данной зоны произошел рой Кызылкумских землетрясений с $M=5-5.5$. Сейсмическая активность по слабым землетрясениям в зоне весьма низкая. Период повторяемости сильных землетрясений в данной зоне составляет 40-50 лет.

Методология выявления областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима. Прогноз мест ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы базируется на закономерностях протекания сейсмического процесса в очаговых областях сильных землетрясений и особенностях проявления совокупности сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон.

На первом этапе в пределах сейсмоактивных зон выделяются такие пространственные области, в которых сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений, начиная с исторического периода времени, была весьма высокой. Это области интенсивного дробления земной коры, и они определяют, пользуясь терминологией Ю.В. Ризниченко [10], современный сейсмический «климат» исследуемой территории. В связи с малой изменчивостью в течение

десятков и сотен лет направленности протекания сеймотектонических процессов, определяющих современное напряженное состояние сейсмоактивных зон, с высокой степенью вероятности именно эти области проявят себя высокой сейсмической активностью и в ближайшие десятилетия.

На втором этапе по выявленным за последние годы аномальным изменениям в параметрах сейсмического режима выделенные ранее области долгосрочного прогноза ранжируются по вероятности ожидания в них сильных землетрясений в течение 5-6 ближайших лет. Тем самым определяется, пользуясь той же терминологией [10], сейсмическая «погода».

Остановимся подробнее на описании каждого этапа.

Анализ пространственного положения эпицентров сильных ($M \geq 4.7$, $K \geq 12.6$) землетрясений, произошедших на территории Узбекистана начиная с исторического периода времени (рис. 4), показал, что они располагаются не равномерно по сейсмоактивной зоне, а концентрируются в виде групп в областях с линейными размерами 50-80 км. Эти скопления показаны на карте эпицентров эллипсами различных размеров.

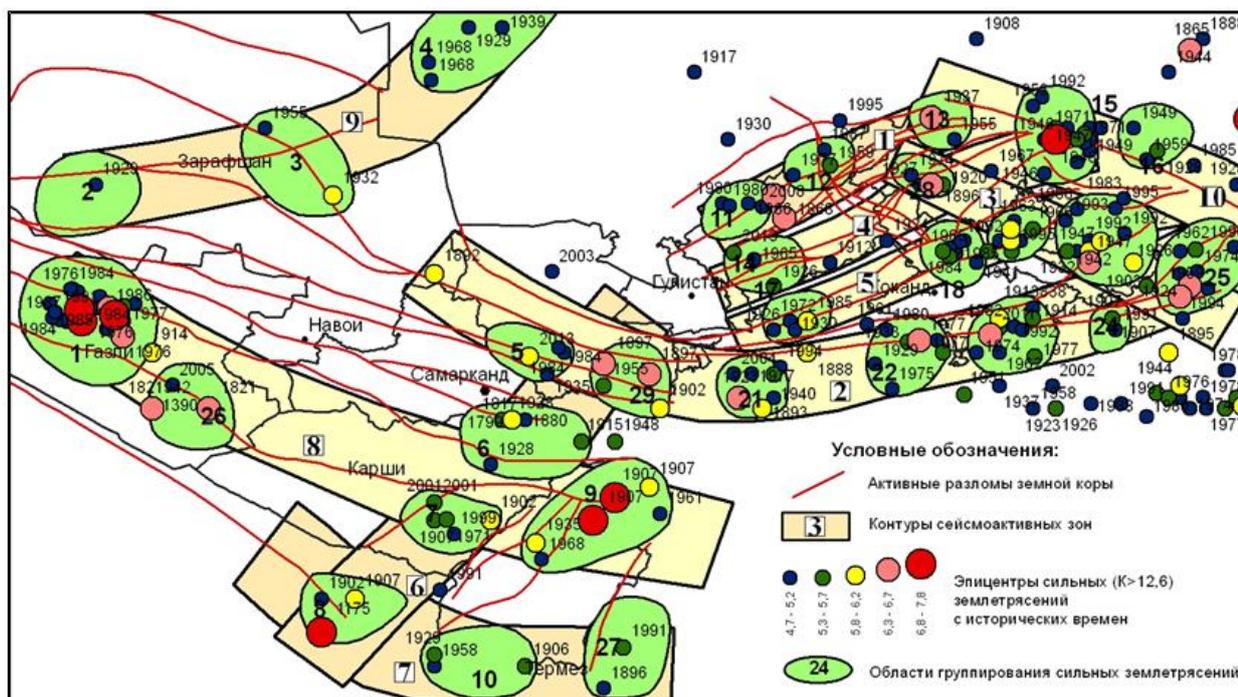


Рисунок 4 – Сейсмоактивные зоны территории Узбекистана и эпицентры сильных ($M \geq 4.7$, $K \geq 12.6$) землетрясений с исторических времен

Такое сосредоточение сильных землетрясений в компактных областях имеет реальную физическую природу. Места остановки разрывов от произошедших землетрясений являются дополнительными концентраторами напряжений. Поэтому последующим подвижкам, по мере роста тектонических напряжений в пределах сейсмоактивной зоны, проще всего реализоваться именно в этих областях. Эти соображения, безусловно, перекликаются с концепцией «сейсмической брешии» [11,12], но линейные размеры выделяемых областей существенно меньше, чем это предусмотрено в рамках упомянутой концепции. Так, с учетом длины очага тектонического землетрясения с $M \geq 7.0$ [10], область, охватывающая три Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. с магнитудами $M = 7.0-7.3$, должна бы превысить 150 км. В реальности же она значительно компактней и не превышает 70-80 км.

Тектонофизическое объяснение деления разломов земной коры на сегменты, характеризующиеся различной потенциальной сейсмической опасностью, предлагается в рамках теории катакластического анализа разрывных смещений [13-15], где отмечается, что сильные землетрясения, как правило, происходят в областях с невысокими значениями эффективного всестороннего давления и максимальных касательных напряжений. Такие области характеризуются пониженными значениями сил трения на разрывах, что создает благоприятные условия для крупномасштабного разрушения.

Сопоставляя карты эпицентров, построенные за различные временные интервалы (до 1900 г. и начиная с инструментального периода), можно отметить, что выделенные области с высокой концентрацией сильных землетрясений достаточно устойчиво сохраняют свою конфигурацию. В связи с малой изменчивостью в течение десятков и сотен лет направленности протекания сеймотектонических процессов, определяющих современное напряженное состояние сейсмоактивных структур, эти участки интенсивного дробления земной коры рассматриваются как наиболее вероятные области ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие десятилетия. Анализ сейсмологической обстановки в этих областях составляет основное содержание второго этапа.

Существуют определенные статистические закономерности в пространственно-временном распределении последовательных сильных землетрясений, происходящих в пределах единой сейсмоактивной зоны. На основе анализа представительных сейсмических событий с $M \geq 4.8$, начиная с 1900 г. (более 200 сейсмических событий), установлено [16], что для 65% землетрясений временной интервал между двумя последовательными сейсмическими событиями, возникшими в одной и той же сейсмоактивной зоне, не превосходит пяти лет. И в равных долях, примерно по 10%, временной интервал между двумя последовательными сейсмическими событиями составляет 6-10, 11-15 и 16-20 лет (рис. 5). Преобладание короткой (0-5 лет) сейсмической паузы между последовательными сейсмическими событиями свидетельствует о том, что землетрясения, возникающие в пределах сейсмоактивной зоны, происходят не равномерно во времени, а группируются в периоды сейсмической активизации.



Рисунок 5 – Распределение по времени интервалов между двумя последовательными землетрясениями, произошедшими в пределах сейсмоактивной зоны

В пространственном расположении очага последующего землетрясения относительно местоположения предыдущего землетрясения выявляются следующие закономерности (рис.6). Если последующее сильное землетрясение происходит впервые пять лет после уже возникшего, то вероятней всего оно будет находиться на расстоянии $R=0-70$ км от него.

Это могут быть не только афтершоки предыдущего землетрясения, но и самостоятельные сильные толчки, происходящие в компактных пространственно-временных интервалах, в результате чего мы наблюдаем, так называемую, миграцию землетрясений, а также одиночные землетрясения, возникающие на незначительном удалении от произошедшего сильного землетрясения (эффект, так называемого, расхождения сейсмичности).

Если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке $T=5-10$ лет после возникновения предшествующего, то с наибольшей вероятностью оно произойдет на расстояниях $R=70-140$ км от него. И, наконец, если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке $T=10-15$ лет после возникновения предшествующего, то с

наибольшей вероятностью оно произойдет на расстояниях $R=140-210$ км от него.

На основе эмпирического распределения пространственно-временных интервалов возникновения последующего сильного землетрясения относительно предыдущего, с учетом места и времени возникновения последних сильных землетрясений в зоне, построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации территории Узбекистана на ближайшие годы по данному прогностическому признаку (Рис. 7).

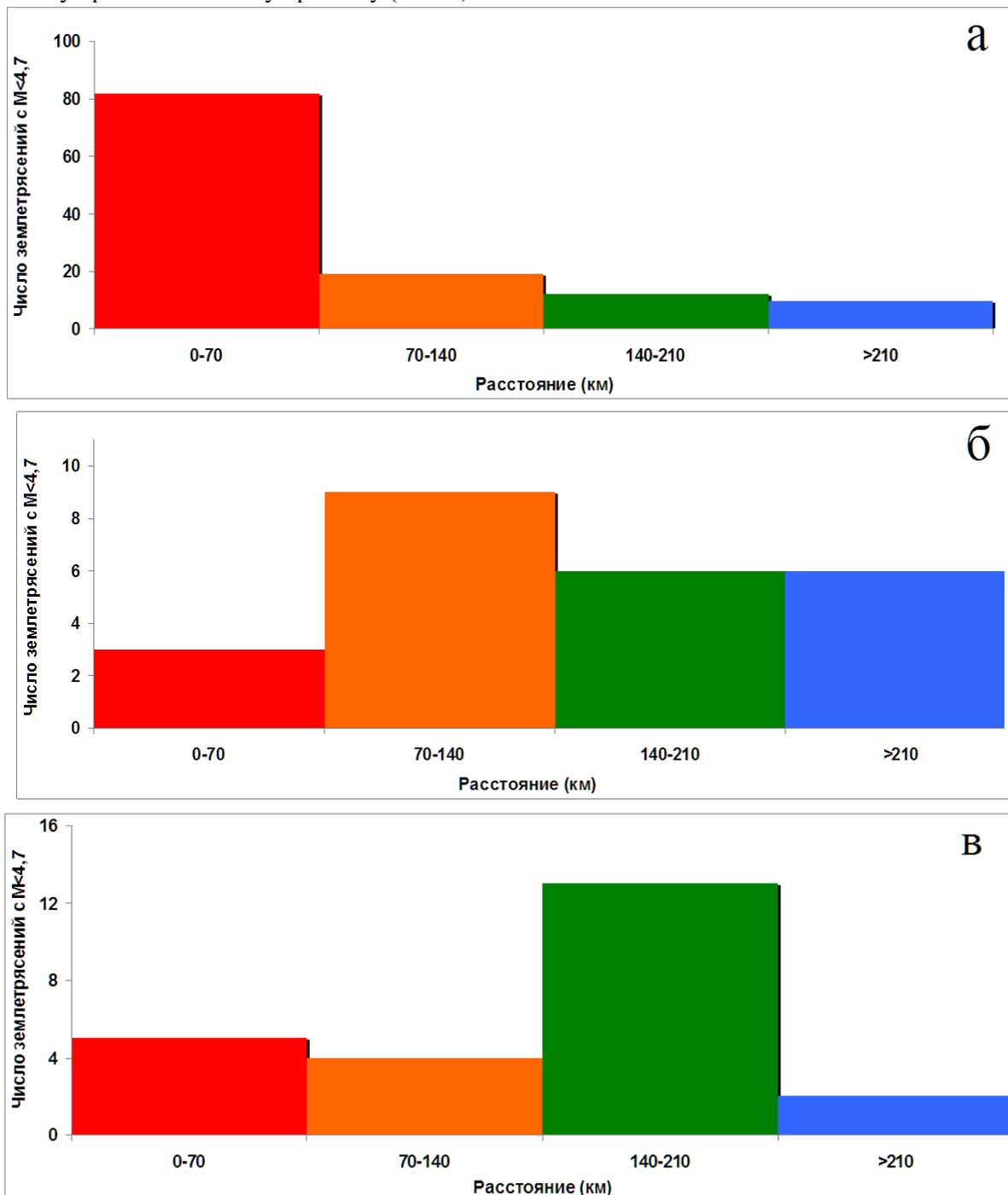


Рисунок 6 – Распределение в пространстве последующих сильных землетрясений сейсмоактивной зоны относительно предыдущего в различные промежутки времени: а) первые 5 лет; б) в промежутке 5–10 лет; в) в промежутке 10–15 лет.

Для каждой сейсмоактивной зоны и различных ее сегментов по землетрясениям с магнитудами $M=2.5-4.5$ были определены параметры повторяемости землетрясений различного энергетического уровня [16] – сейсмическая активность и сейсмическая дробность среды (параметры a и b в уравнении Гуттенберга-Рихтера). С учетом даты последнего землетрясения с

$M \geq 4.8$, произошедшего в сейсмоактивной зоне, и в различных ее сегментах, в предположении, что сильные землетрясения образуют Пуассоновский поток событий, оценена вероятность возникновения очередного сильного землетрясения в зоне на текущий момент времени. Карта зон ожидания сильных землетрясений по длительности сейсмической паузы землетрясений с магнитудой $M \geq 4.8$ показана на Рис. 8.

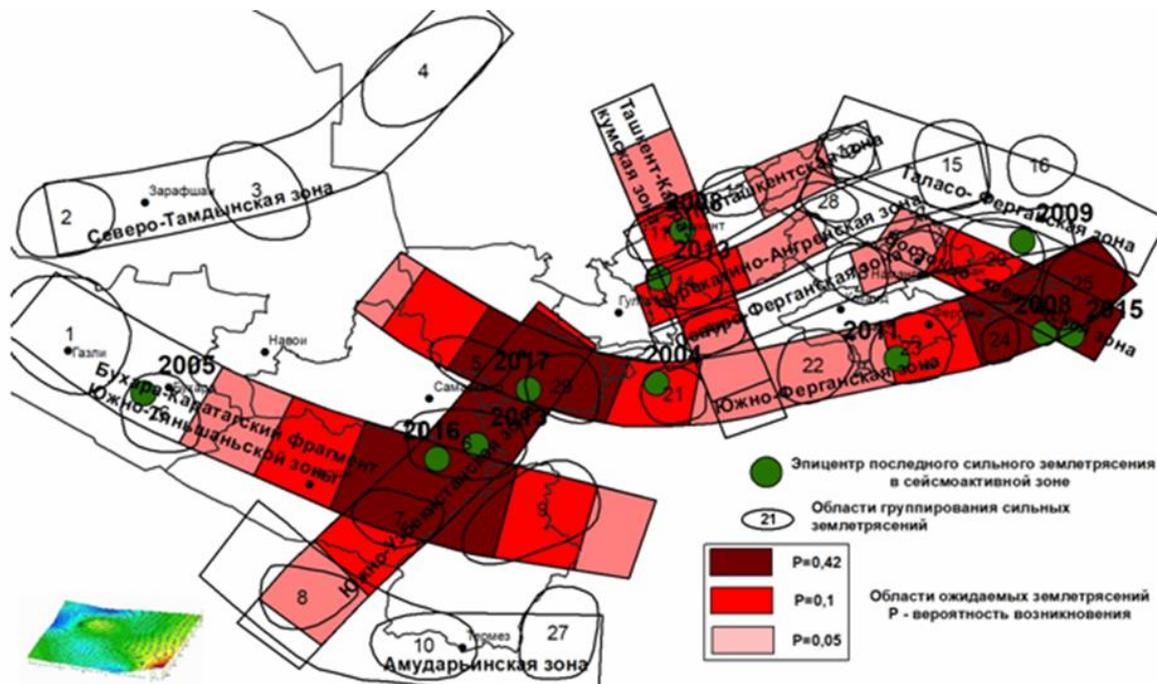


Рисунок 7 – Карта мест ожидания сильных землетрясений по закономерностям пространственно-временного распределения последовательных сейсмических событий.

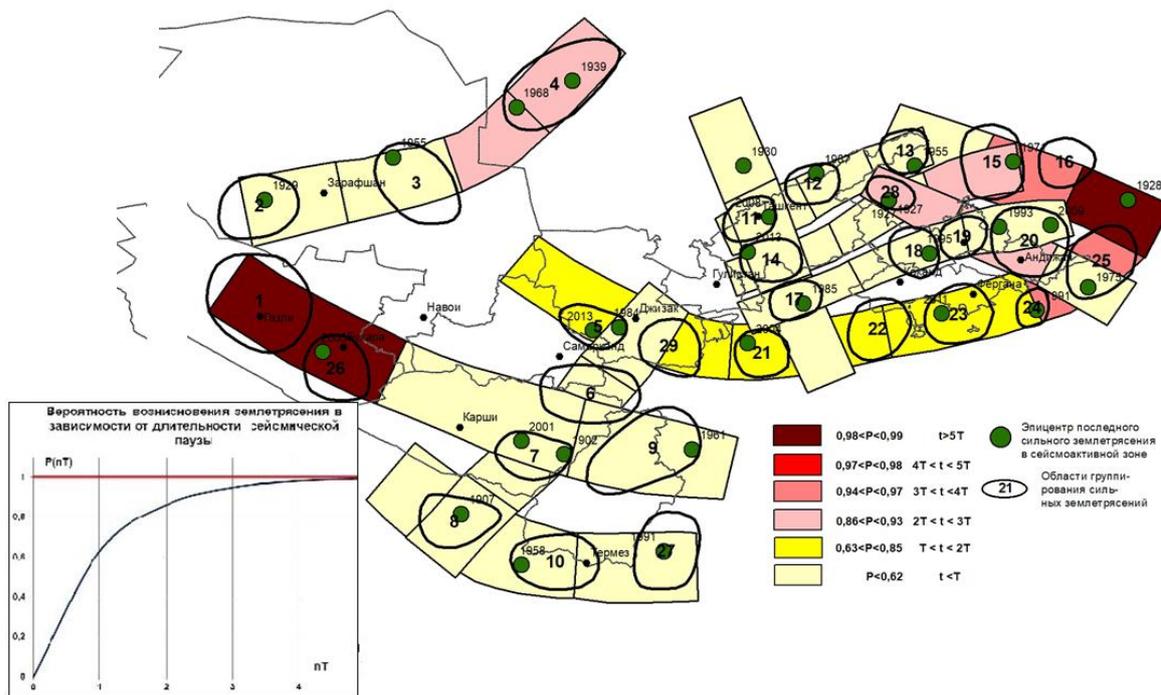


Рисунок 8 – Вероятностная карта ожидания сильных землетрясений в сейсмоактивной зоне по длительности сейсмической паузы землетрясений с $M \geq 4.8$.

Глубина сейсмического затишья на данной карте характеризуется количеством средних

периодов $T_{M=4.8}$, в течение которых землетрясений такого энергетического уровня в зоне не происходило, и вероятностью их возникновения на текущий момент по распределению Пуассона.

Наибольшей глубиной сейсмического затишья по землетрясениям с $M \geq 4.8$ характеризуется центральный и восточный сегменты Таласо-Ферганской сейсмоактивной зоны, где последние сильные землетрясения происходили в 1971 г. и 1928 г. На этих участках длительность сейсмической паузы по сейсмическим событиям с $M \geq 4.8$ составляет 4–5 средних периода повторения землетрясений такой интенсивности. Велика вероятность возникновения сейсмической активизации по данному прогностическому признаку в северной и центральной частях Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны, а также в пределах западного участка Газли-Каратагского фрагмента Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны. Здесь последнее землетрясение с магнитудой $M=5.1$ произошло в 2005 году недалеко от города Бухары. Эти области, в которых активность слабых землетрясений высока, а разрядки в виде сильных землетрясений не происходит, представляют значительный интерес в плане долгосрочного прогноза сейсмической активизации.

Вместе с тем, учитывая, что сильные землетрясения происходят неравномерно во времени, делать прогноз, опираясь только на графики повторяемости землетрясений, нельзя

Дальнейшее исследование текущей сейсмологической обстановки в пределах сейсмоактивных зон проводилось на основе анализа комплекса прогностических параметров сейсмического режима, характеризующих кинетику процесса трещинообразования очаговой области по мере приближения к моменту магистрального разрыва [17-20]. С этой целью были рассчитаны средние долговременные значения параметров сейсмического режима и их флуктуации, отмеченные за последние годы в каждой точке сейсмоактивной зоны, и выявлены области, в которых на текущий момент времени отмечаются аномалии. При этом особое внимание отводилось тем 29 областям сейсмоактивных зон, в которых за исторический период времени происходили сильные землетрясения. Рассматривались следующие параметры сейсмического режима, представляющие прогностическую ценность [17-20]:

- суммарное количество землетрясений, происходящих в каждой точке сейсмоактивной зоны в единицу времени на предмет выявления областей сейсмической активизации и сейсмического затишья [11, 17-20], а также нахождения областей, где на текущий момент времени наблюдаются эффекты так называемой «кольцевой активности» [11];

- временные изменения угла наклона графика повторяемости землетрясений γ в распределении сейсмических событий по энергетическим классам (закон Гутенберга-Рихтера), который называется сейсмической дробностью среды;

- совместное поведение сейсмической активности и сейсмической дробности;

- параметры, характеризующие степень сгруппированности сейсмических событий во времени и в пространстве [19, 20];

- энергетические характеристики сейсмического режима, которые описываются функцией логарифма выделившейся сейсмической энергии, графиками Беньоффа, площадью образующихся в процессе сейсмической деформации разрывов, пропорциональных выделенной энергии с показателем степени $2/3$.

Для различных прогностических параметров сейсмического режима размеры круговых областей, в которых они рассчитывались, а также пороговые значения параметров, выход за которые интерпретировалось как проявление аномалии, выбирались на базе ретроспективного анализа динамики сейсмического процесса в областях подготовки уже произошедших сильных землетрясений (с этой целью были проанализированы временные изменения параметров сейсмического режима в очаговые зоны свыше 40 землетрясений). Для примера на Рис. 9-10 показаны примеры проявления предвестников «активизация сейсмичности» и «аномалии сейсмической дробности» (параметр γ), наблюдавшиеся перед некоторыми сильными землетрясениями на территории Узбекистана.

На Рис. 11-12, для примера, показаны области, в которых на 01.01.2020 г. наблюдаются

аномалии по параметру N_{Σ} и вариациях угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ). Поскольку, как отмечалось выше, подобные аномалии неоднократно предшествовали сильным землетрясениям, то они имеют определенную прогностическую ценность.

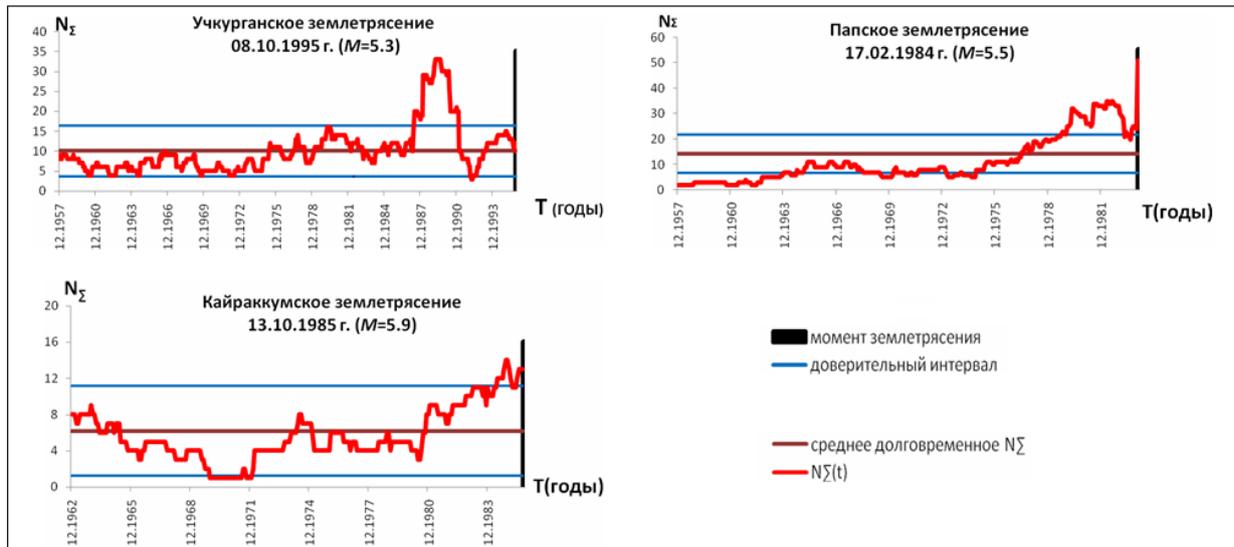


Рисунок 9 – Примеры проявления предвестника «активизация сейсмичности» по параметру N_{Σ} перед некоторыми землетрясениями на территории Узбекистана.

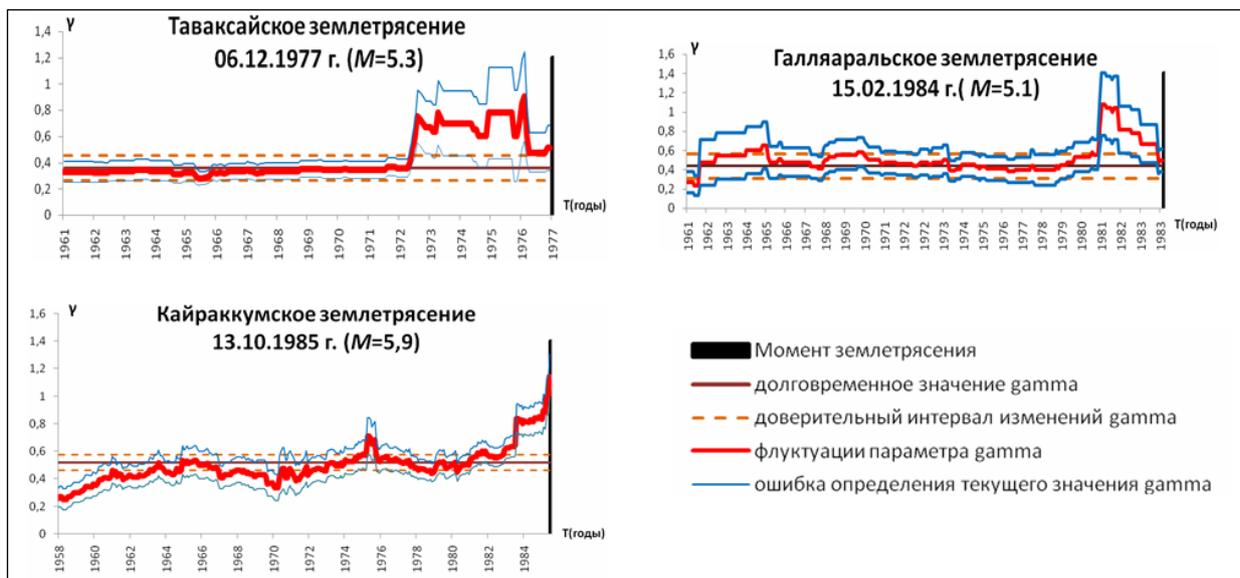


Рисунок 10 – Примеры проявления предвестника аномалии сейсмической дробности (параметр γ) перед некоторыми землетрясениями на территории Узбекистана.

Новая карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима. На основе анализа комплекса прогностических признаков была построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (Рис. 13). По числу проявившихся аномальных признаков были введены четыре градации для характеристики степени сейсмической опасности каждой очаговой зоны на текущий момент времени:

низкая вероятность возникновения землетрясений в ближайшие годы: 0-3 проявившихся прогностических признака (желтые области на Рис. 13);

невысокая вероятность возникновения землетрясений: 4-5 проявившихся прогностических признаков (коричневые области на Рис. 13);

высокая вероятность возникновения землетрясений: 6-7 проявившихся прогностических

признаков (розовые области на Рис. 13);

очень высокая вероятность возникновения землетрясений: 8-11 проявившихся прогностических признаков (красные области на Рис. 13).

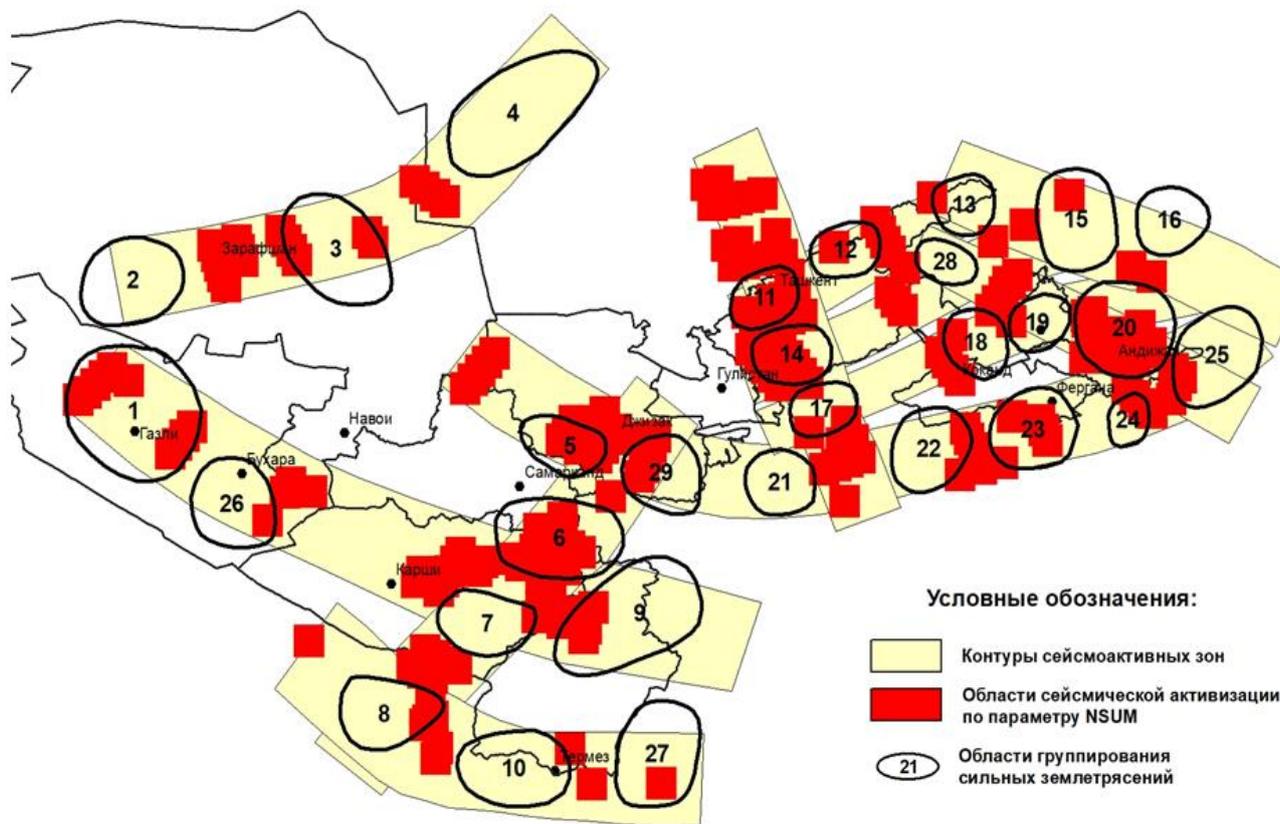


Рисунок 11 – Области сейсмической активизации по параметру N_{Σ} на 01.01.2020 г.

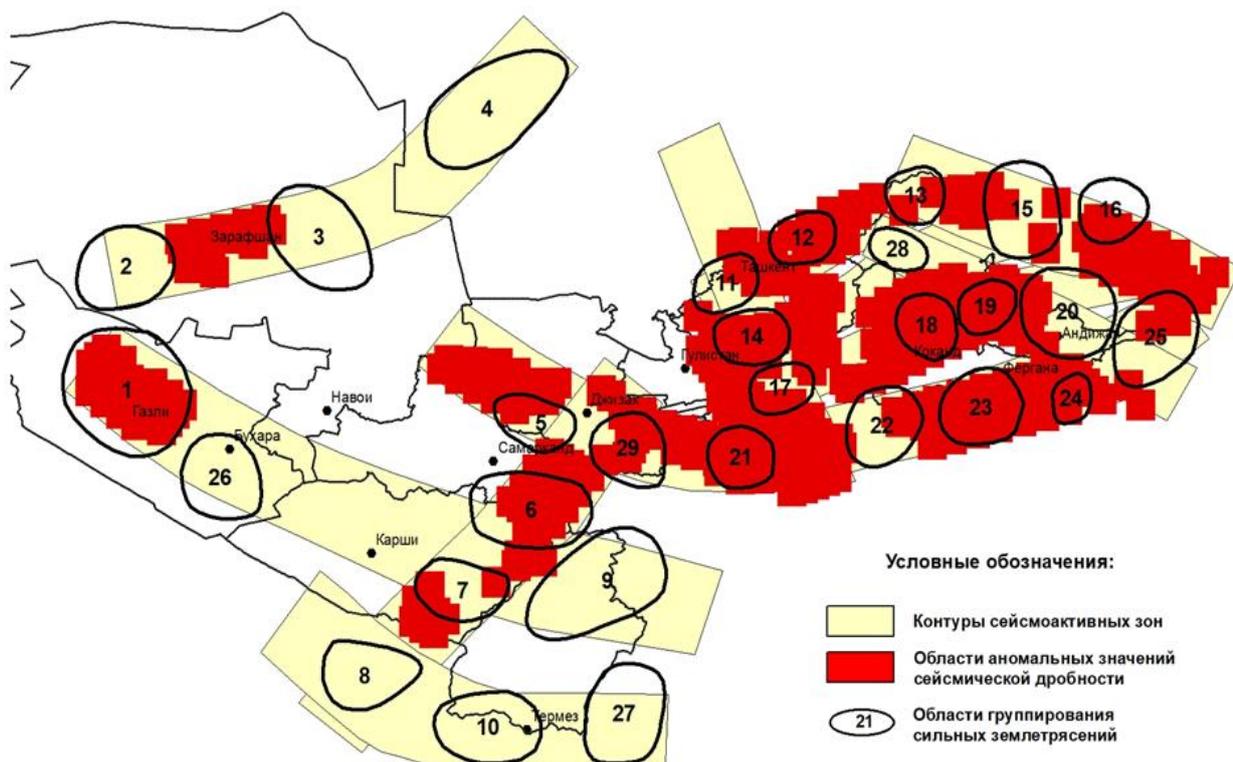


Рисунок 12 – Области аномальных значений сейсмической дробности на 01.01.2020г.

Как это видно из рисунка 13, на сегодняшний момент времени на территории Узбекистана выделено 5 областей с очень высокой вероятностью возникновения сильного землетрясения и 10 областей с высокой вероятностью возникновения сильного землетрясения.

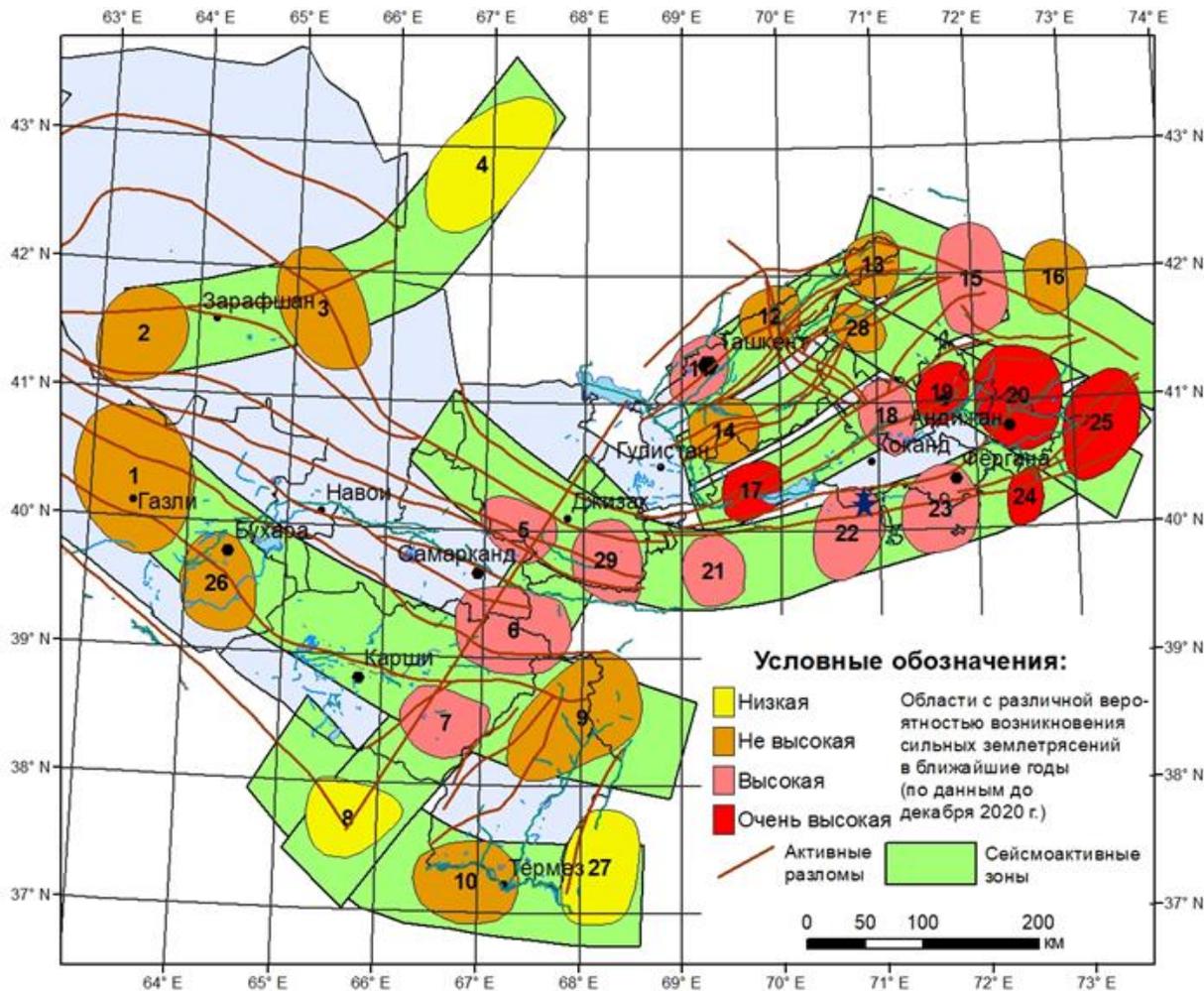


Рисунок 13 – Новая карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима.

Десять из этих областей располагаются в Восточном Узбекистане и четыре – в Центральном Узбекистане. Анализ параметров сейсмического режима показал, что практически все области концентрации сильных землетрясений с исторических времен, расположенные в пределах Южно-Ферганской и Северо-Ферганской сейсмоактивных зон, на сегодняшний момент времени характеризуются высокой и очень высокой вероятностью в них сильных землетрясений в ближайшие годы. Очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений характеризуются также несколько областей, расположенных в южной части Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны.

Выводы. Проведен анализ предшествующих карт долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Узбекистана, построенных в рамках описанной методологии в 2015 и 2017 гг., и показана их высокая эффективность. Практически все сильные (с $M \geq 5.0$) землетрясения, происшедшие на территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях в 2016-2019 гг. попали в выделенные области долгосрочного прогноза с высокой и очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений.

На основе последних сейсмологических данных для территории Узбекистана выявлены области, в которых на текущий момент времени наблюдаются аномалии в различных параметрах сейсмического режима. По количеству проявившихся аномальных признаков области ранжированы по вероятности возникновения в них сильных землетрясений и составлена новая карта долгосрочного прогноза сильных землетрясений на ближайшие годы.

Литература

- 1 Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Синоптический долгосрочный прогноз мест ожидаемой сейсмической активизации на территории Узбекистана // *Геориск*, 2017. – №2. – С. 20–28.
- 2 Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Методология синоптического прогноза мест ожидаемой сейсмической активизации на территории Узбекистана // *Геология и минеральные ресурсы*, 2017. – №2. – С. 59–65.
- 3 Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Identification of expected seismic activity areas by forecasting complex seismic-mode parameters in Uzbekistan // *Geodesy and Geodynamics*, 2018. – Volume 9. Issue 2. – Pp.121-130.
- 4 Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: Фан, 1974. – 216 с.
- 5 Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // *Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане*. Ташкент: Гидроингео, 2002. – С. 59–74.
- 6 Artikov T.U., Ibragimov R. S, Ibragimova T.L, Mirzaev M.A., Artikov M.T. Revealing of seismic activation interrelationships in various seismoactive zones // *Geodesy and Geodynamics*, 2015. – Vol. 5. N6. – Pp.351-360.
- 7 Mikhailova N., Mukambayev A., Aristova I., Kulikova G., Ullah Sh., Pilz M., Bindi D., 2015. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009. *Annals of Geophysics, Special Issue*, 58, 1, S0102. doi:10.4401/ag-6681.
- 8 Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // *Геодинамика и тектонофизика*, 2017. – Т. 8. – № 4. – С. 711–736. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0314).
- 9 Суворов А.И. Закономерности строения и формирования глубинных разломов. – Москва: Наука, 1968. – 316 с.
- 10 Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. – Москва: Наука, 1985. – 408 с.
- 11 Моги К. Предсказание землетрясений. – М: Наука. 1988. – 382 с.
- 12 Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // *Сейсмическое районирование СССР*. – Москва: Наука, 1968. – С.121-150.
- 13 Ребецкий Ю.Л. Напряженное состояние, благоприятное для крупномасштабного хрупкого разрушения горных пород // *Доклады АН*, 2007. – Т. 416. – № 5. – С. 106–109.
- 14 Rebetsky Y.L., Tatevossian R.E. Rupture propagation in strong earthquake sources and tectonic stress field // *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 2013. – V. 184. – № 4–5. – Pp. 335–346.
- 15 Rebetsky Yu.L., Kuzikov S.I., 2016. Active faults of the northern Tien Shan: tectonophysical zoning of seismic risk. *Russian Geology and Geophysics* 57 (6), 967–983. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.05.004>.
- 16 Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Закономерности проявления последовательных сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон Узбекистана // *Доклады АН РУз*, 2015. – №3. – С.38–40.
- 17 Соболев Г. А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – Москва: Наука, 2003. – 270 с.
- 18 Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. –Москва: Наука, 2006. – 254 с.
- 19 Ибрагимов Р.С., Артиков Т.У. Структура сейсмического процесса очаговых зон сильных землетрясений // *Доклады АН РУз*, 2002. –№1. – С. 44-49.
- 20 Artikov T.U., Ibragimov R. S, Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Artikov M.T. Compositional change of seismic event sequences in focal zones during preparation of strong earthquakes // *Geodesy and Geodynamics*, 2014. –Vol. 5. – N2. – Pp.1-8.

Атабаев Д.Х., Исраилова З.У.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, atabaev_d@mail.ru

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ
ТУРАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ С ОРОГЕННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ ТЯНЬ-ШАНЯ
(на примере профиля I-I Бешагач – Самарканд – Навои – Дуль-дуль)**

Atabayev D.X., Israilova Z.U.

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

Turon platformasi bilan Tyan-Shan orogeni strukturalari orasidagi zonalar yer po'sti tog' jinslarining fizik xususiyatlari (I-I Beshagach - Samarqand - Navoiy - Dul-dul profili misolida).

Annotatsiya. Maqolada Turon platformasi bilan Tyan-Shanning orogen strukturalari tutashgan zonasi yerdagi yer po'sti tog' jinslarining petrofizik xususiyatlari ko'rib chiqilgan, shuningdek I-I profil bo'ylab geozichlik modellashtirish natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: Model, tuzilish, profil, qobiq, yer yorig'i, zichlik, elektr qarshilik, magnit moyilligi, elastiklik.

Атабаев Д.Х., Исраилова З.У.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Физические свойства пород земной коры зоны сочленения Туранской платформы с орогенными сооружениями Тянь-Шаня (на примере профиля I-I Бешагач – Самарканд – Навои – Дуль-дуль).

Аннотация. В статье рассматриваются петрофизические свойства горных пород земной коры в пределах зоны сочленения Туранской платформы с орогенными сооружениями Тянь-Шаня, а также показаны результаты геоплотностного моделирования по профилю I-I.

Ключевые слова: Модель, строение, профиль, земная кора, разлом, плотность, электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость, упругость.

Atabaev D.Kh., Israilova Z.U.

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Physical features of the earth's crust rocks within the joint zone between the Turanan platform and the orogenic structures of the Tien-Shan (on the example of profile I-I Beshagach - Samarkand - Navoi - Dul-dul)

Annotation. The article discusses the petrophysical properties of rocks of the earth's crust within the junction zone of the Turan platform with the orogenic structures of the Tien Shan, also shown the results of geo-density modeling along the profile I-I.

Key words: Model, structure, profile, crust, fault, density, electrical resistance, magnetic susceptibility, elasticity.

Введение. Вопросам изучения глубинного геологического строения земной коры и верхней мантии предшествуют знания о петрофизических свойствах горных пород и отдельных секций разреза. При оценке строения земной коры и верхней мантии мы будем исходить из констатации признания межрегиональными только двух опорных границ – поверхности мантии (граница Мохо) и поверхности фундамента. Считая строение консолидированной коры блоково-слоистым, тем не менее, допускаем возможность, в ряде случаев, говорить о выделении слоев, в том числе "осадочного", "гранитного", "переходного", "базальтового" и "коро-мантийного" только для удобства приведения осредненных петрофизических характеристик и выделения типов земной коры [1,3,7,8,13,14].

Петрофизическая составляющая методической основы проведенных исследований.

В основе методики проведенных исследований лежит анализ природы гравитационных, геомагнитных, сейсмических полей с позиции оценки петрофизических свойств горных пород и отдельных толщ.

Петрофизические свойства рифей-вендских и палеозойских комплексов горных пород Курамино-Ферганского срединного массива практически идентичны и существенно отличаются от подстилающих раннепротерозойских. Осадочно-метаморфические породы слабомагнитные;

большинство их имеет магнитную восприимчивость (χ) в пределах десятков $\times 10^{-6}$ СГС, среднее же значение по региону – $(20 - 30) \times 10^{-6}$ СГС. Еще меньшей величиной характеризуется остаточная намагниченность. Как исключение выделяются некоторые метаморфические породы (сланцы с магнетитовой минерализацией), а также образования, находящиеся в зоне активного контакта с изверженными породами (скарнованные, ороговикованные и т.п.), либо оруденелые, обогащенные ферромагнетитами. Магнитная восприимчивость этих пород может достигать десятков тысяч $\times 10^{-6}$ СГС [4,8,9,12].

Магнитные свойства изверженных пород зависят от их состава: намагниченность увеличивается с повышением основности. Эффузивные образования кислого состава обычно слабомагнитны: более основные (диабазы, спиллиты, базальты и др.) могут быть отнесены к магнитным - χ их достигает – 1200×10^{-6} СГС и более. Однако и среди основных эффузивов наряду с магнитными разностями встречаются немагнитные.

Интрузивные породы основного и ультраосновного состава (пироксениты, серпентиниты, габбро) магнитные и сильномагнитные: достигает 15000×10^{-6} СГС. Среди гранитоидов обычно слабомагнитные граниты, аляскиты, некоторые разновидности гранодиоритов. Остальные петрофизические разности относятся к магнитным. В ряде случаев магнитны и кислые разности: χ лейкократовых гранитов Ангрена составляет 800×10^{-6} СГС. В Моголтау большая часть гранодиоритов сильномагнитна - χ составляет 2300×10^{-6} СГС, но наряду с ними выделяется группа практически немагнитных гранодиоритов, геологически не отличающихся от первых и составляет 22 % от изученных. Причиной такого резкого расхождения свойств, по мнению Н.Б.Дортман, является тектонический режим в период их становления; по мнению П.Г.Ахматова – более ранний (каледонский) возраст немагнитных интрузивов [8,10,12].

Большая часть рифей-палеозойских образований имеет объемную плотность от 2,60 до 2,70 г/см³ и в среднем составляет 2,67 г/см³. Средними значениями характеризуются сланцы, песчаники, алевролиты, конгломераты; повышенными – карбонатные (известняки, доломиты) и оруденелые образования. Эффузивные породы среднего и основного состава: избыточная плотность этих пород ($\sigma_{из}$) от 0,03 до 0,05 г/см³. Пониженная плотность – у эффузивов кислого ряда и их производных ($\sigma_{из}$ от - 0,15 г/см³). В интрузивных и эффузивных породах также отмечается отчетливая зависимость плотности от основности. Минимальной плотностью обладают породы кислого ряда (граниты, аляскиты, кварцевые порфириды, кислые эффузивы, ($\sigma = 2,58-2,60$ г/см³); к этой группе относятся сиениты ($\sigma = 2,61$ г/см³). К интрузивным породам со средней плотностью относятся гранодиориты ($\sigma = 2,64-2,66$ г/см³); повышенной плотностью обладают сиенито-диориты, диориты, эффузивы среднего и основного состава ($\sigma = 2,70-2,75$ г/см³). К наиболее плотным относятся породы основного и ультраосновного состава: габбро, перидотиты, пироксениты ($\sigma = 2,80-3,10$ г/см³).

Геоэлектрический разрез региона изучен недостаточно. В целом домезозойские образования характеризуются относительно высокими значениями сопротивлений, которые по сравнению с мезокайнозойскими могут считаться практически бесконечно высоким. Электрические сопротивления домезозойских пород определяются в основном литологическим составом: активно влияет на них также степень метафорфизма. Наиболее высокими сопротивлениями (ρ_k) обладают карбонатные породы – ρ_k известняков от 500 до 15000 ом·м, у доломитов – 3000 - 2000), менее высокими – кристаллические сланцы (600-2000 ом·м) и породы различного состава (300 + 2000 ом·м). Среднее положение занимают песчано-сланцевые и вулканогенные толщи (150 - 700 ом·м). Наименьшим сопротивлением (100 ом·м) обладают глинистые сланцы; с увеличением песчанистого материала сопротивление повышается и наибольших значений оно достигает у песчано-конгломератовых толщ. Эффузивы различного состава имеют в среднем около 500 ом, эффузивно-осадочная толща – от 100 до 1000 ом·м.

Одним из основных факторов, определяющих скоростные свойства домезозойских пород, является их литологический состав. Наибольшей скоростью (5800 - 6000 м/с и более) обладают карбонатные породы, а также амфиболиты и изверженные породы основного ряда. Песчано-сланцевые образования в карбонатной толще снижают ее скорость; доломиты напротив, ведут к увеличению. Комплекс, представленный магматическими, метаморфическими и осадочными породами, характеризуется значениями скоростей от 5000 до 6000 м/с. У песчано-сланцевой толщи, а также у кислых гранитоидов этот показатель тяготеет к нижнему пределу и редко превышает 5000 м/с. Верхне-палеозойские вулканогенные породы представляют собой весьма

неоднородную толщу, характеризующуюся широким диапазоном скоростей – от 3500 до 6000 м/с. Наименьшие скорости у туфов, наибольшие у андезито-дацитовых порфиров из низов акчинской свиты. В целом эффузивы можно считать среднескоростными со скоростью 5250 м/с [1,13].

На упругие свойства горных пород значительное влияние оказывает трещиноватость, ведущая к резкому уменьшению скоростей, которая обычно у трещиноватых пород не выше 4500 м/с. Именно поэтому минимальными значениями скорости характеризуются зоны разрывных нарушений (3500 – 4500 м/с).

Породы мезокайнозоя, залегающие на размытой поверхности палеозоя и представленные меловыми, палеогеновыми, неогеновыми, четвертичными отложениями, сложенные глинами, песчаниками-алевролитами, гравелитами, обладают плотностью $\sigma = 1,8 - 2,3 \text{ г/см}^3$, ($\gamma_{\text{ср}} = 2,2 \text{ г/см}^3$), практически немагнитны, $V_{\text{р}} = 2800 - 3500 \text{ м/сек}$, $\rho_{\text{к}} = 50 - 300 \text{ ом}\cdot\text{м}$. Общая мощность этих отложений от 0 до 1000 м и более.

В пределах Южно-Тянь-Шаньской геосинклинали нижнепалеозойские отложения представленные ритмично чередующимися сланцами, песчаниками, алевролитами с отдельными прослоями гравелитов и конгломератов, известняков, кремнистых пород, порфиров основного состава, кварцевых альбитофиров и их туфов обычно слабوماгнитны (χ - намагниченность горных пород в среднем $0 - 30 \times 10^{-6}$ ед СИ), они имеют достаточно высокое кажущуюся сопротивление ($\rho_{\text{к}} = \text{до } 500 \text{ ом}\cdot\text{м}$) и граничную скорость ($V_{\text{гр}} = 5300 - 5400 \text{ м/с}$), средняя плотность ($\sigma_{\text{ср}} = 2,68 \text{ г/см}^3$).

Среднепалеозойские образования представлены в основном известняками и доломитами, в Каратюбе – мергелистыми и мраморизованными известняками лландловери и венлока, а также алевролитами с кремнистыми включениями. Данный разрез характеризуется слегка повышенной плотностью $\sigma_{\text{ср}} = 2,69 \text{ г/см}^3$, скоростью $V_{\text{гр}} = 5600 \text{ м/с}$, средним сопротивлением $\rho_{\text{к}} = 800 \text{ ом}\cdot\text{м}$, практически немагнитен $\chi_{\text{ср}} = 20 \times 10^{-6}$ ед.СИ. Широкое распространение получили карбонатные образования верхнесилурийского-нижнедевонского возраста. В Кульджуктау (джангельдинская свита, бошгумданская свита, туркменгауская свита, они сложены известняками, доломитами, мраморизованными известняками с редкими прослоями алевролитов и кремнистых пород ($\sigma_{\text{ср}} = 2,72 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = 0 - 20 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5700 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{к ср}} \text{ до } 1000 \text{ ом}\cdot\text{м}$) и включают полный возрастной интервал. Видимая мощность до 2000 м.

На осредненные петрофизические характеристики отложений верхнепалеозойского возраста большое влияние оказывает наличие в разрезе карбонатов, средняя плотность $2,68 \text{ г/см}^3$, немагнитны – $\chi = 0 - 20 \times 10^{-6}$ ед СИ, достаточно высокоскоростные $V_{\text{гр}} = 5600 \text{ м/с}$, имеют большое кажущееся сопротивление с $\rho_{\text{к}} = 300 \text{ ом}\cdot\text{м}$ (достигая 1000 ом).

Замыкают верхнепалеозойский комплекс нижнепермские образования. Они состоят преимущественно из глинистых сланцев, аркозовых песчаников, крупнообломочных и гравийных конгломератов. Эти отложения отличают невысокие (для домезозойских образований) петрофизические параметры - $\sigma_{\text{ср}} = 2,65 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = 20 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5200 \text{ м/с}$, с $\rho_{\text{к ср}} = 100 \text{ ом}\cdot\text{м}$. Кажущееся сопротивление прямо зависит от содержания глинистой фракции и при ее больших количествах может опускаться до 30 ом.

Интрузивные породы играют большую роль в строении верхней части земной коры. Их изучением занимался ряд исследователей. Результаты работ обобщены в монографии "Петрография Узбекистана", которая взята за основу в данном описании. Кроме того использованы материалы Р.Н. Абдуллаева, М.А. Ахмеджанова, А.А. Бакирова, В.С. Князева, В.А. Хохлова и других [1,3,4,6].

На территории Южно-Тянь-Шаньской геосинклинали выделяется ряд различных по возрасту интрузивных комплексов. К самым древним – рифейским – интрузивным образованиям относятся отдельные ксенолиты гранитоидов в киттармайской свите Зирабулак-Зиаэтдинских гор ($\sigma_{\text{ср}} = 2,85 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = \text{до } 1000 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5700 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{к}} = 1500 \text{ ом}\cdot\text{м}$) и габброидов ($\sigma_{\text{ср}} = 2,8 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} \text{ до } 700 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5500 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{к}} = \text{до } 1000 \text{ ом}\cdot\text{м}$), установлены в Кульджуктау и Зирабулакских горах.

В целом можно отметить, что для петрофизических характеристик интрузивных пород установлен ряд закономерностей. Так, плотность увеличивается с увеличением основности пород. Магнитная восприимчивость также зависит от состава пород – возрастает от кислых (практически немагнитных) до ультраосновных (сильномагнитных). Однако, в ряде случаев эта закономерность нарушается, так граниты и гранодиориты обнажающиеся южнее Кульджуктау имеют $\chi_{\text{ср}}$ до

1000×10^{-6} ед СИ, в то же время среди основных пород иногда встречаются немагнитные разности. Граничная скорость и кажущееся сопротивление также в целом возрастают с увеличением основности.

В Каракумо-Таджикском краевом массиве нижнепалеозойские образования начинаются с нижнесилурийских и сложена осадочно-метаморфическими породами (ортоамфиболитами, переслаивающимися со сланцами, песчаниками, мраморами). По петрофизическим свойствам данные образования ничем особым среди остальных палеозойских образований не выделяются: $\sigma_{\text{ср}} = 2,67 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = 20 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5500 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{к ср}} = 300 \text{ ом.м}$, хотя породы, аналогичные составу сарытузской свиты, могут отличаться несколько повышенными значениями плотности и магнитной восприимчивости, которые могут быть обусловлены присутствием орто-амфиболитов.

Нижнекаменноугольные образования представлены карбонатно-вулканогенным типом разреза общей мощностью до 2200 м. Физические свойства этого комплекса находятся в прямой зависимости от наличия карбонатной составляющей, но в целом они имеют несколько повышенную плотность и магнитную восприимчивость: ($\sigma_{\text{ср}} = 2,68 - 2,7 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = 30 - 70 \times 10^{-6}$ ед СИ). На рассматриваемой территории данные образования вскрыты бурением в северо-западной части Бухарской ступени и южнее Зирабулак-Зиаэтдинских гор.

Карбонатно-терригенный разрез, относящийся к верхне башкирскому и московскому ярусам, развит преимущественно в Юго-западных отрогах Гиссарского хребта и представлен чередующимися песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями туфов и линзами известняков, гравелитов и конгломератов. Выше их перекрывают слоистые и массивные известняки, сменяющиеся пачкой аргиллитов, алевролитов с линзами глинистого известняка и песчаника. Верхняя часть данного разреза относится к алачапанской свите. Физические свойства флишевых и терригенно-карбонатных толщ имеют средние для палеозойских образований величины ($\sigma_{\text{ср}} = 2,67 \text{ г/см}^3$, $\chi_{\text{ср}} = 20 \times 10^{-6}$ ед СИ, $V_{\text{гр}} = 5600 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{к ср}} = 500 \text{ ом.м}$). Вулканогенные и вулканогенно-терригенные толщи с эффузивами среднего и основного состава имеют повышенные плотность $\sigma_{\text{ср}} = 2,72 \text{ г/см}^3$ и магнитную восприимчивость $\chi_{\text{ср}} = 150 \times 10^{-6}$ ед СИ, граничная скорость $V_{\text{гр}} = 5600 \text{ м/с}$, кажущееся сопротивление $\rho_{\text{к ср}} = \text{до } 700 \text{ ом.м}$.

Весь комплекс мезо-кайнозойских осадочных пород практически немагнитен либо слабомагнитен. Магнитная восприимчивость колеблется в пределах первых десятков $\times 10^{-6}$ ед СИ и в среднем χ не превышает $5 - 10 \times 10^{-6}$ ед СИ, что практически не отражается на характере магнитного поля.

Плотность мезо-кайнозойского чехла на рассматриваемой территории изменяется от $1,7 \text{ г/см}^3$ до $2,94 \text{ г/см}^3$ (у ангидритов), составляя в среднем $2,1 - 2,3 \text{ г/см}^3$. Величина плотности зависит от литологического состава и глубины залегания пород (на глубинах порядка 3-3,5 км она достигает средней плотности палеозойских комплексов – $2,67 \text{ г/см}^3$). Кроме того, отмечено увеличение плотности (для одноименных литологических разностей) в юго-восточном направлении, в сторону Таджикской депрессии. Сильно сказывается на средней величине плотности наличие соли ($\sigma_{\text{ср}} = 2,15 \text{ г/см}^3$), которая снижает среднюю плотность для верхней юры (несмотря на прослой ангидритов) до $2,3 - 2,4 \text{ г/см}^3$ [4,12].

Граничная скорость в мезо-кайнозойских отложениях изменяется в среднем от 1500 м/с до 4600 м/с . Выделяются аномальной скоростью известняки бухарского горизонта ($V_{\text{гр}} = \text{до } 4000 \text{ м/с}$) и ангидриты и карбонаты верхней юры ($V_{\text{гр}} 5000 - 6000 \text{ м/с}$).

Геоэлектрический разрез осадочного чехла изучен недостаточно полно, но в целом можно сказать, что он характеризуется низкими значениями сопротивления (первые десятки ом.м).

Породы позднего докембрия метаморфизованные чаще всего, не выше амфиболитовой фации, имеют существенно меняющуюся $V_{\text{р}}$ в зависимости от состава пород и степени метаморфизма; плотность представляет более консервативную величину и поэтому прямых зависимостей между $V_{\text{р}}$ и σ практически не установлено. В комплексе по данным можно ориентировочно наметить две основные группы значений $2,71 \text{ г/см}^3$ и $6,3 \text{ км/с}$ – для карбонатных разностей и $2,77 \text{ г/см}^3$ и $6,2 \text{ км/с}$ – для габбро-диоритов.

Ранне-докембрийские образования амфиболитовой фации достоверно охарактеризованы в лабораторных условиях лишь для одной группы образцов: $\sigma = 2,83 \text{ г/см}^3$, $V_{\text{р}} = 6,4 \text{ км/с}$ (с учетом поправки $0,3 \text{ км/с}$ за тепло).

Порода глубоких горизонтов земной коры (при нормальных коровых температурах) в среднем имеют плотность $2,99 \text{ г/см}^3$ при скорости продольных волн до $7,05 \text{ км/с}$ при диапазоне от

$\sigma=2,81$ г/см³, $V_p=6,41$ км/с до $3,22$ г/см³ и $7,8$ км/с. Последние величины наиболее характерны для ультра базитов и гранатовых гранулитов. Все приведенные значения вполне укладываются в эмпирическую зависимость $\sigma = 2,74 + 0,25 (V_p^{-6})$, что дает реальную возможность использовать ее для построения плотностных моделей по материалам сейсмологических исследований [2,4,12].

Результаты работ. Анализ этих материалов показал, что петрофизические характеристики интрузивных пород краевого массива и геосинклинальной системы во многом похожи. Исключение составляют магнитные свойства, в частности, магнитная восприимчивость. Ее величина значительно больше у тех интрузивных образований, которые расположены в пределах краевого массива. Все вышеизложенные сведения о геологическом строении и петрофизических характеристиках до мезозойских образований рассматриваемого региона легли в дальнейшем в основу всех последующих построений:

По петрофизическим характеристикам выделяются следующие аномалеобразующие объекты:

Плотностные свойства.

1. Наиболее выдержанными границами в домезозойском разрезе являются:

а) поверхность кристаллического основания $\Delta\sigma_{cp} = 0,18$ г/см³;

б) поверхность домезозойских образований (относительно мезо-кайнозойских толщ) $\Delta\sigma_{cp} = 0,32$ г/см³.

2. Внутри рифей-палеозойских образований выделяются:

а) карбонатный комплекс ($\Delta\sigma_{cp} = 0,03-0,05$ г/см³);

б) вулканогенные и вулканогенно-терригенные комплексы с эффузивами среднего и основного состава ($\Delta\sigma_{cp} = 0,02- 0,06$ г/см³);

в) верхнепалеозойские молассовые толщи ($\Delta\sigma_{cp} = 0,05 - 0,07$ г/см³);

г) интрузивные образования ультраосновного, основного и среднего состава ($\Delta\sigma_{cp} = 0,15 - 0,2$ г/см³, $\sigma_{cp} = 0,1 - 0,18$ г/см³, $\sigma_{cp} = 0,07$ г/см³ соответственно);

д) интрузивные и эффузивные образования кислого состава ($\sigma_{cp} = 0,05 - 0,12$ г/см³).

Магнитные свойства.

1. Наиболее магнитными являются интрузивные породы основного, ультраосновного состава и эффузивы основного состава (χ_{cp} до 1500×10^{-6} ед СИ).

2. Метаморфические породы кристаллического основания (амфиболиты, амфиболитовые сланцы и пр.) $\chi_{cp} =$ до 200×10^{-6} ед СИ – для краевого массива; $\chi_{cp} = 150 \times 10^{-6}$ ед СИ – геосинклинально-складчатой системы.

Скоростные характеристики.

А. Высокими и повышенными граничными скоростями обладают:

1. Метаморфические породы кристаллического основания $V_{Gr} = 6200$ м/с.

2. Карбонатные образования, $V_{Gr} = 5800 - 6000$ м/с.

3. Основные и ультраосновные интрузивные породы. $V_{Gr} = 5600 - 6000$ м/с.

Б. Пониженными граничными скоростями отмечаются:

1. Верхнепалеозойские (пермские) терригенные образования ($V_{Gr} = 5200 - 5400$ м/с).

2. Зоны разрывных нарушений. $V_{Gr} = 3800 - 4800$ м/с.

Для изучения глубинного строения изучаемой территории по профилям МОВЗ (Метод обменных волн землетрясений) были построены геоплотностные модели. Основу этих моделей первого приближения составили сейсмогеологические разрезы по данным ГСЗ (Глубинное сейсмическое зондирование), КМПВ (Корреляционный метод преломленных волн), МОВЗ, особенности верхней части разреза обосновывались результатами геологических съемок, бурения, а также имеющимися материалами геолого-геофизических исследований, выполненных в предыдущие годы (Рис.1).

Профиль I-I (Рис.2). Общий характер строения геоплотностного разреза – слоисто-блоковый; условно, в первом приближении, его поверхность Мохо погружается на восток от 40 до 43 км. Нами выделяется переходная зона Мохо ($\sigma_{эф}=3,10$ г/см³) мощность которой также увеличивается в восточном направлении от 3,5 до 5,0 км. В целом следует отметить достаточно разнородное строение верхней коры (глубже кровли кристаллического основания), где картируются геоблоки с совершенно различными горизонтальными размерами (10÷50 км) и эффективной плотностью ($\sigma_{эф}=2,62-2,90$ г/см³). Для этой части разреза не выдерживается правило

общего нарастания плотности с глубиной. Наоборот, мы отмечаем некое чередование блоков с различной плотностью, когда объекты с низкой плотностью соседствуют с плотными и аномально плотными (для рассматриваемых глубин).

Особо следует обратить внимание на восточную часть профиля, где резко разуплотненные тела ($\sigma_{эф}=2,65-2,70$ г/см³) выделяются на глубинах, им не свойственным – 10–25 км, в тоже время, аномально плотные и достаточно протяженные блоки фиксируются на отметках 4–6 км, что тоже для них не характерно.

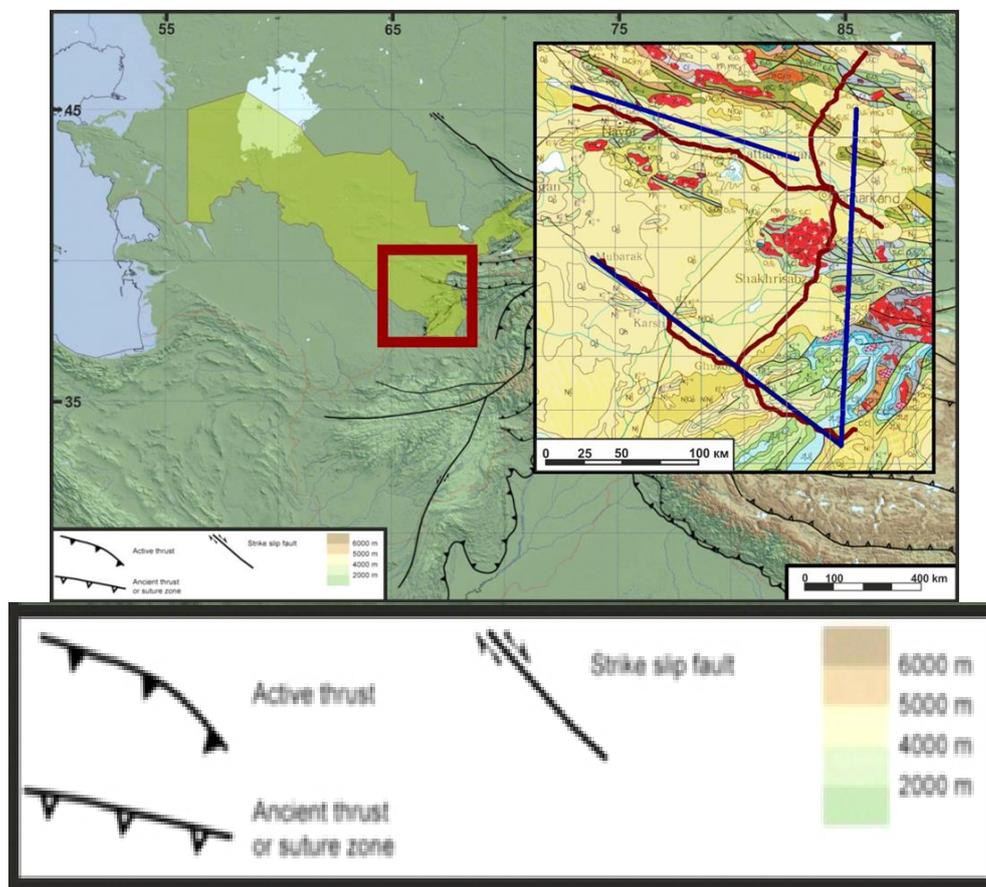


Рисунок 1. Профили геоплотностного моделирования

Установленное распределение плотности по разрезу косвенно подтверждается материалами по профилю ГСЗ Карабекаул-Койташ, где в пределах этой территории на сопоставимых глубинах картируется волновод, характеризующийся резко пониженными значениями пластовой скорости и эффективной плотности [5,8,12].

Нижняя кора отличается более выдержанным строением, фиксируется общее нарастание плотности с глубиной – от 2,9 до 3,1 г/см³. Размеры выделяемых геоблоков – 50–90 км, мощность их от 3 до 11 км.

Особенностью строения верхней части разреза (выше поверхности кристаллического основания) является достаточно спокойное, можно сказать, монотонное залегание палеозойских образований, представленных на основе эффективных петрофизических параметров, преимущественно карбонатными, терригенно-карбонатными и метаморфическими комплексами ($\sigma_{эф}=2,68-2,72$ г/см³) при обилии интрузивных тел кислого состава (граниты $\sigma_{эф}=2,56-2,6$ г/см³, гранодиориты $\sigma_{эф}=2,6-2,64$ г/см³). Интрузии, в некоторых случаях, не выходят на палеозойскую поверхность, располагаясь вблизи кровли кристаллического основания.

Мощность интрузивных образований достигает 5,5-5,0 км, горизонтальные размеры до 40 км. Тела повышенной основности в разрезе практически не картируются. Исключение составляет небольшой объект, предположительно среднего состава ($\sigma_{эф}=2,72$ г/см³), с горизонтальными размерами до 6,0 км и мощностью около километра.

На отсутствие тел повышенной основности указывает и характер изменения магнитного поля, которое на значительной части профиля отрицательное, а максимальные его значения не превышают 25 гамм. К слову сказать, и над выделенным объектом практически отсутствует магнитная аномалия, что дает возможность предположить, что объект сильно эродирован.

В пределах рассмотренной части геотраверса выделяются несколько крупных разрывных нарушений, вероятно секущие всю земную кору и служащих границами для геоблоков. В центральной части фиксируется два параллельных разлома, которые практически делят профиль на две части: западную и восточную. Особенностью этой зоны разломов является то, что область между ними разуплотненная и может служить благоприятным каналом для проникновения глубинных флюидов.

С точки зрения перспектив нефтегазоносности и обнаружения также других видов полезных ископаемых, с учетом современных взглядов [9,10,12], наиболее благоприятными можно считать участки профиля, где отмечены контакты аномально плотных и разуплотненных геологических тел, независимо от их глубины расположения. Это, в первую очередь, центральные и восточные области профиля, где на разных глубинах соприкасаются объекты с $\sigma_{эф}=2,65-2,70$ г/см³ и $\sigma_{эф}=2,90-2,95$ г/см³. Указанная зависимость установлена для многих районов Узбекистана [2,5,8,12,14].

Также можно отметить, что к данному выводу способствует также и тот факт, что палеозойский разрез над указанными участками профиля сложен известняками и карбонатно-терригенными породами, которые могут иметь необходимые фильтрационно-емкостные свойства и структуру для формирования ловушек нефти и газа. Наличие крупных разрывных нарушений в пределах этих территорий является дополнительным благоприятным фактором.

Геоплотностная модель по профилю I - I

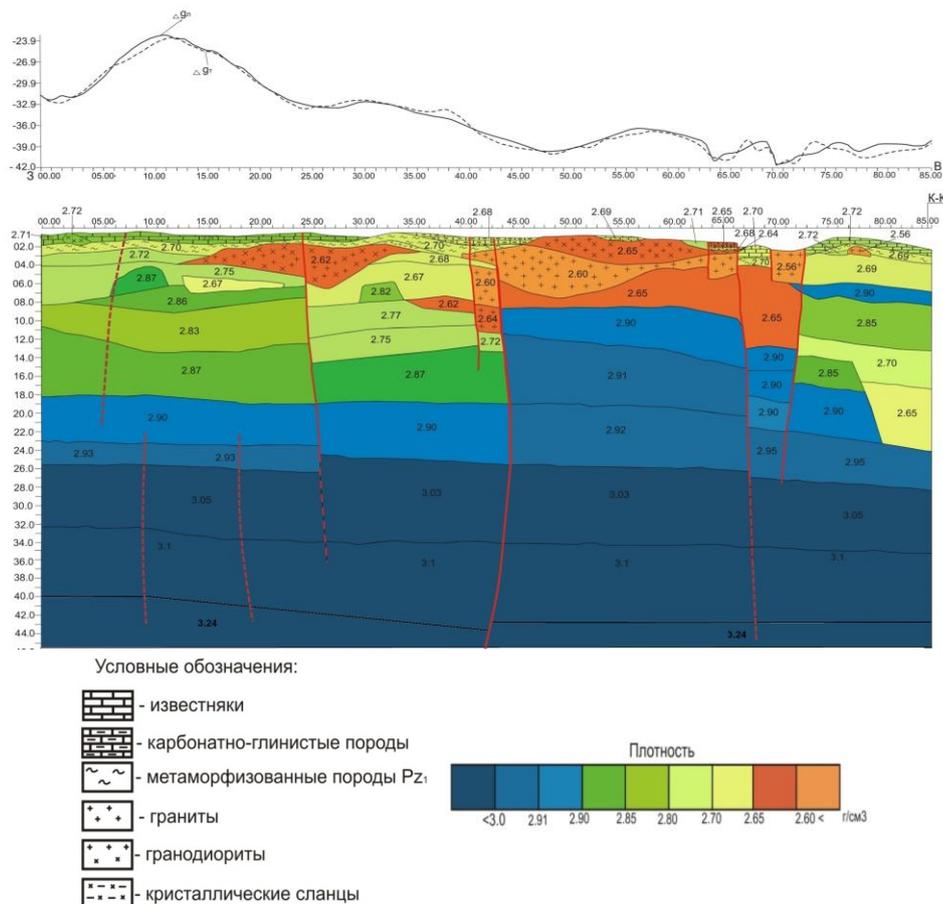


Рисунок 2. Геоплотностная модель по профилю I – I.

Заключение. На основе проведенных исследований осуществлен анализ петрофизических свойств горных пород для различных секций разреза в пределах Курамино-Ферганского срединного массива, Южно-Тянь-Шаньской геосинклинали, Каракумо-Таджикского краевого массива и Юго-западных отрогов Гиссарского хребта. Данные характеристики способствовали изучению глубинного строения вдоль профиля I-I Бешагач – Самарканд – Навои – Дуль-дуль).

Литература

1. Абдуллаев Р.Н., Далимов Т.Н., Мухин П.А., Базарбаев Э.Р. Рифтогенез в развитии палеозойских складчатых обдастей. – Ташкент: Фан, 1989.
2. Атабаев Х.А., Бутовская Е.М. Специфические годографы землетрясений для некоторых блоков территории Средней Азии. Ташкент, типография ТашГУ, 1987.
3. Ахмеджанов М.А., Борисов О.М. Тектоника домезозойских образований Среднего и Южного Тянь-Шаня. – Ташкент: Фан, 1977.
4. Атабаев Д.Х. Глубинное строение Сурхандарьинской депрессии и его отображения в рельефе. Автореф. кан. дис. – Т., НУУз имени Мирзо Улугбека., 2010 г.
5. Атабаев Д.Х. Перспективы нефте-газоносности Южно-Тянь-Шанской гео-синклинальной складчатой системы.-// Современный прогноз углеводородного потенциала недр и прогрессивные технологии поисково-разведочных работ на нефть и газ – Материалы Республиканской научно-практической конференции, 17-18 ноября 2016 г., Ташкент. С.51-52.
6. Бабаджанов Т.Л., Кунин Н.Я., Лук-Зильберман В.И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комп-лексов Средней Азии по геофизическим данным. – Ташкент : Фан, 1986.
7. Бабаджанов Т.Л. Глубинное геологическое строение и перспективы нефтегазоносности центральной части Средней Азии. – Автореф. докт. дис. – М., ВНИГНИ., 1991 г.
8. Бабаджанов Т.Л., Мордвинцев О.П. Особенности строения земной коры Юго-Западного Узбекистана. // *Geologiya va mineral resurslar*. 2001. № 4. С.42–46.
9. Бабаджанов Т.П., Ким Г.Б., Рубо В.В., Мордвинцев О.П., Хасанов Р.Р., Сидорова И.П. Аномальные геоблоки литосферы и их связь с нефтегазо и рудообразованием (на примере центральных регионов Средней Азии) // *Геофизика XXI столетия: 2003–2004 гг.* – М.: Научный мир, 2005. - С. 219–226.
10. Бабаджанов Т.Л., Мордвинцев О.П. К вопросу учета генезиса углеводородов при выборе стратегии геолого-разведочных работ // *Узб. журн. нефти и газа.* – 2009. – № 6.
11. Бабаджанов Т.Л., Мордвинцев О.П., Мордвинцев Д.О.. Глубинное геологическое строение как основа для прогнозирования размещения месторождений полезных ископаемых в Центральноазиатском регионе. Материалы ИГиГ. 2012. Ташкент. 160 с.
12. Мордвинцев О.П., Атабаев Р.Х., Хасанов Р.Р. Некоторые особенности корреляции петрофизических параметров домезозойских образований юго-западного Узбекистана. // *Проблемы геологии фанерозоя Тянь-Шаня*, Вып. 1. Сб. науч. тр НУ Уз. – Ташкент, 2003. С 193-196.
13. Попов В.И., Таль-Вирский Б.Б., Попов А.И. Трансазиатский рифтовый пояс Наливкина. Ташкент, «Фан», 1978.
14. Сидорова И.П., Кустарникова А.А., Ушаков С.А., Сидорова Е.А. Новые данные по глубинному строению Центрально-Кызылкумского Рудно-Магматического центра // *Geologiya va mineral resurslar*. 2006. № 6. С.16–24.

УДК 550.34

Ибрагимов А.Х., Ли А.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ О СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В УЗБЕКИСТАНЕ

Ibragimov A.H., Li A.

O'zR FA Seysmologiya instituti

O'zbekistonda kuchli zilzilalarning erta ogohlantirish tizimini amalga oshirish.

Аннотация. Мақсад – seysmik stantsiyalarning siyrak tarmog'ida kuchli zilzilalar haqida erta ogohlantirish tizimini ishlab chiqish. Rivojlanish uchta yo'nalishda olib boriladi – hodisadan keyin izosist xaritalarni tezkor avtomatik ravishda yaratish, markaziy serverga ma'lumotlarni yuborish qobiliyati oshirish bilan akselerometrlarni yaratish, kutilayotgan tebranish intensivligi va hodisani kutish vaqtini hisoblash bilan va doimiy ravishda 2 sekunddan oshiq doimiy to'liqinni va ma'lum bir kattalikning tezlanish tezligini oladigan qurilmani ishlab chiqish. Natijalar – kuchli hodisalarning izosist xaritalarini avtomatik ravishda tuzish tizimi yaratildi, telegram-bot orqali kutilayotgan zilzila to'g'risida ogohlantiruvchi uzoq stantsiyalardan ma'lumot to'plash serveri ishga tushirildi. Tadqiqot doirasi – aholini himoya qilish.

Калит so'zlar: zilzila, erta ogohlantirish, davr, tuproqning ko'chishi darajasi, tezlashuv.

Ибрагимов А.Х., Ли А.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

Реализация системы раннего оповещения о сильных землетрясениях Узбекистана.

Аннотация. Цель – разработка системы раннего оповещения о сильных землетрясениях в условиях редкой сети сейсмических станций. Разработки ведутся в трех направлениях – оперативная автоматическая генерация карт изосейст после события, создание акселерометров с возможностью отправки данных на центральный сервер с последующим расчетом ожидаемой интенсивности колебаний и времени ожидания события, и разработка прибора непрерывно поступлению волны с периодом больше 2 секунд и величиной ускорений определенной величины. Результаты – создана система автоматического построения карт изосейст сильных событий, запущен сервер сбора данных от удаленных станций, отправляющий предупреждение об ожидаемом землетрясении посредством telegram-bot. Область применения исследований – защита населения.

Ключевые слова: землетрясение, раннее оповещение, период, скорость смещения грунтов, ускорение.

Ibragimov A.Kh., Li A.

Institution of Seismology, Academy of Science of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan,

Implementation of the early warning system for strong earthquakes in Uzbekistan.

Annotation. The aim is to develop an early warning system for strong earthquakes in a rare network of seismic stations. The development is carried out in three directions - the operational automatic generation of isoseismal maps after the event, the creation of accelerometers with the ability to send data to the central server with the subsequent calculation of the expected intensity of oscillations and the waiting time for the event, and the development of the device continuously receiving a wave with a period of more than 2 seconds and the magnitude of accelerations of a certain value. Results - a system for automatically building maps of isoseist strong events has been created, a data collection server from remote stations has been launched, sending a warning about the expected earthquake via telegram-bot. The field of application of research is the protection of the population.

Key words: earthquake, early warning, period, soil displacement rate, acceleration.

Введение. Цель – разработка системы раннего оповещения о сильных землетрясениях в условиях редкой сети сейсмических станций. Разработки ведутся в трех направлениях – оперативная автоматическая генерация карт изосейст после события, создание акселерометров с возможностью отправки данных на центральный сервер с последующим расчетом ожидаемой интенсивности колебаний и времени ожидания события, и разработка прибора непрерывно поступлению волны с периодом больше 2 секунд и величиной ускорений определенной величины. Результаты – создана система автоматического построения карт изосейст сильных событий, запущен сервер сбора данных от удаленных станций, отправляющий предупреждение об ожидаемом землетрясении посредством telegram-bot. Область применения исследований – защита населения.

К настоящему времени системы раннего оповещения о возникновении сильного

землетрясения (СРОЗ) эффективно используются в Японии, Тайване, Мексике, тестируются в США, Греции, Румынии, Турции (в рамках проекта REАКТ и SAFER). В Центральной Азии была начата разработка прототипа системы оповещения на основе SOSEWIN (GFZ), но пока информация о результатах не опубликована. Алгоритмы работы подобных систем детально описаны в работах сейсмологов США, Японии и Италии [1–6].

Принцип действия СРОЗ основан на следующем. Очаг события генерирует три типа волн: продольные (P), поперечные (S) и поверхностные (волны Лява, L и Релея, R). По параметрам P -волны система определяет магнитуду землетрясения и рассчитывает интенсивность создаваемых S - и LR -волнами сейсмических воздействий на защищаемой территории.

Алгоритмы работы СРОЗ

ElarmS – определяет энергию, излучаемую очагом землетрясения. Используется спектр P -волны по данным нескольких станций. По эмпирической модели затухания энергии с расстоянием оценивается интенсивность на сотрясаемой площади. Методология позволяет генерировать сигнал тревоги до прихода S - и LR -волн. Метод требует применения данных не менее 4-х станций [1]. Применение алгоритма ElarmS с учетом задержки потока данных при его передаче в центр обработки, для эпицентральных расстояний менее 125 км. нецелесообразно, т.к. тревога будет генерироваться одновременно с приходом поперечных и поверхностных сейсмических волн.

Virtual Seismologist (VS method) – метод «Виртуальный сейсмолог» [3] использует в качестве входных данных ускорения, скорости и смещения чего для многофакторного вероятностного комплексного использования Байесовской модели. Здесь применяется множество параметров, такие как топология сети, текущая сейсмическая активность, модель испарывания в очаге и др. В основу метода входит робастный анализ параметрических данных.

Onsite method – τ_c - Pd алгоритм [2], основанный на определении магнитуды землетрясения по периоду τ_c и пиковой амплитуде смещения грунта Pd первого вступления P -волны. Этот алгоритм позволяет быстро определять магнитуду событий, однако менее точен в сравнении с алгоритмами определения параметров событий по данным ряда станций.

В случае, если в качестве сенсора используется акселерометр, его сигнал подвергается двойному интегрированию в режиме реального времени: акселерограмма – велосиграмма – смещения. Здесь определяется период смещений (параметр τ_c). Пиковые значения Pd вычисляются по интегрированной велосиграмме. На Рис. 1 приведен пример работы системы.

В Табл. 1 приведены уравнения регрессии связи периода P -волны τ_c с магнитудой сейсмических событий по данным различных авторов.

Таблица 1 – Связь τ_c с магнитудой по данным различных авторов.

№	Уравнение регрессии между τ_c и магнитудой	Авторы
1	$\text{Log}(\tau_c) = 0,237M - 1,462$	Wu et al. [8]
2	$\text{Log}(\tau_c) = 0,267Mw - 1,462$	Sokolov et al. [9]
3	$\text{Log}(\tau_c) = 0,221Mw - 1,113$	Wu et al. [10]
4	$\text{Log}(\tau_c) = 0,296M - 1,716$	Böse, et al. [11]
5	$\text{Log}(\tau_c) = 0,210M - 1,190$	Zollo at al. [12]
6	$\text{Log}(\tau_c) = 0,246M - 5,239$	Willy [13]

В Табл. 2 приведены уравнения регрессии связи амплитуды P -волны P_d с магнитудой сейсмических событий по данным различных авторов.

Таблица 2 – Связь P_d с магнитудой по данным различных авторов.

№	Уравнение регрессии между P_d и магнитудой	Авторы
1	$\text{Log}(P_d) = 0,73Mw - 3,77$	Wurman [14]
2	$\text{Log}(P_d) = 0,66ML - 4,02$	Allen [15]

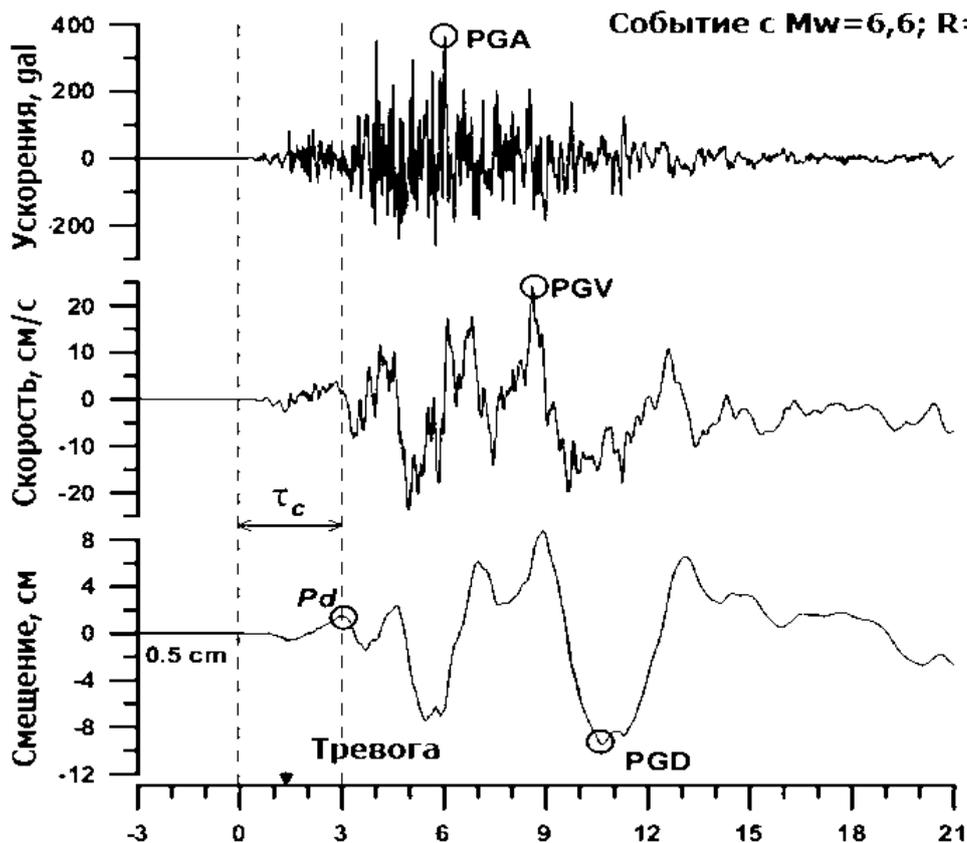


Рисунок 1 – Пример алгоритма срабатывания системы

В рамках Государственной программы по уменьшению ущерба от стихийных бедствий в Узбекистане разрабатывается прототип системы экстренного оповещения о сильных землетрясениях.

С использованием сейсмограмм станций GSN (IRIS) землетрясений с магнитудой 6-9,6 получено уравнение регрессии вида:

$$M_w = 5,169 + 1,225 \ln(Pt) + 0,81 \quad (1)$$

На рисунке 2 приведена зависимость M_w от периода P-волны.

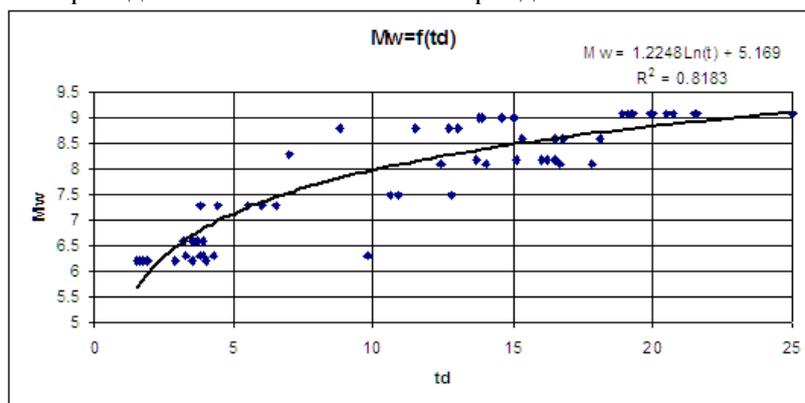


Рисунок 2 – Связь M_w с периодом P-волны.

Сеть сейсмического мониторинга территории Узбекистана включает 40 стационарных пунктов регистрации, из них 16 станций в режиме онлайн, т. е. остальные пункты для реализации системы раннего оповещения неприменимы. Еще одна проблема – станции, расположенные вблизи очаговых зон, как правило, размещены в горной местности и, соответственно не обеспечены возможностью передачи данных в режиме реального времени.

Изучение конфигурации национальной сети сейсмического мониторинга показало неэффективность применения методов ElarmS и Virtual Seismologist, требующих использование данных четырех и более сеймостанций. С учетом длительности пакетов данных SeedLink (протокол сейсмологических данных) – 8с (tcp/ip протокол передачи данных без потери информации), использование описанных выше алгоритмов нецелесообразно. На рисунке 2 приведена диаграмма времени предупреждения с применением различных алгоритмов.

В случае сейсмического события на расстоянии 125 км от Ташкента с использованием потока данных от станций, оповещение придет одновременно с поперечными и поверхностными волнами.

Поскольку стояла задача передачи информации о сильных сейсмических событиях (оповещении), на базе микроконтроллера ARDUINO UNO-3 и цифрового MEMS-акселерометра ADXL-345 разработан бюджетный акселерометр с функцией передачи данных по протоколу HTTP. Для получения и отображения данных разработано серверное программное обеспечение на языке PHP, которое реализует протокол взаимодействия по архитектуре REST API. Данные о событиях, а также списки станций хранятся в базе данных MySQL. К настоящему времени проведено тестирование его устойчивой работы. Он оснащен Ethernet-адаптером для подключения к сети.

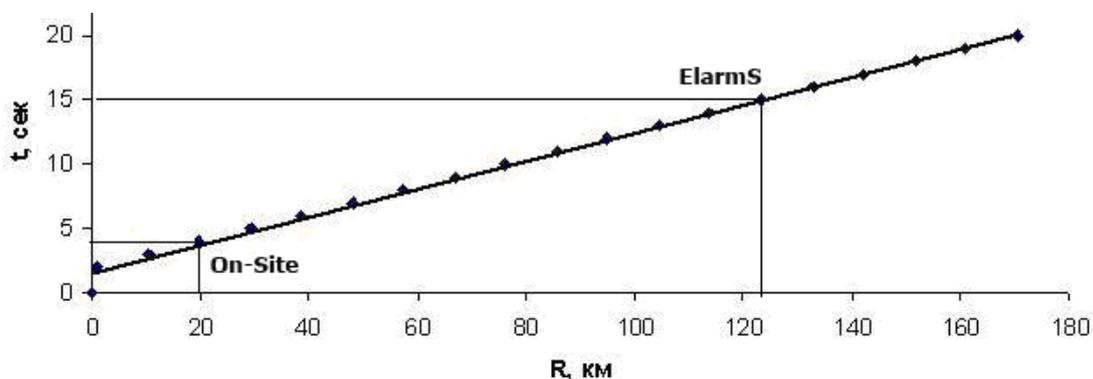


Рисунок 2 – Время определения магнитуды события с использованием On-Site и ElarmS.

Исходя из возможности оперативной передачи данных, предложена следующая топология системы оповещения: выбирается станция, работающая в онлайн режиме, максимально близко расположенная к очаговой зоне. Акселерометр, установленный в пункте регистрации, отправляет пиковые значения ускорений при приходе сейсмического события на сервер сбора данных посредством HTTP POST-запроса определенной структуры.

Предварительно планировалась разработка системы на основе системы сбора и передачи данных Seiscomp-3 (Seismic Communication Processor) – сбор потока данных от удаленных станций в режиме реального времени и передача его на сервер СРОЗ. Длительность MiniSeed пакетов, передаваемых по протоколу SeedLink на систему SeisComp-3, составляет 8 секунд, т.е. если после прихода Р-волны, через 8 секунд приходит S-волна, то она преодолевает расстояние 57,5 км. С учетом задержки потока данных в каналах связи (не менее 3-5 сек., в зависимости от скорости подключения станции), длительность пакета MiniSeed по протоколу SeedLink, а также время срабатывания системы (триггер + 3 сек. для определения периода и амплитуды Р-волны) суммарное время «принятия решения» составляет 12–14 секунд.

Расчеты показывают, что использование описываемой конфигурации системы позволяет оповещать о сильном событии на минимальном расстоянии 60 км.

Зная величину ускорений, пришедших на пункт регистрации (в данном случае на удаленную сеймостанцию), а также закономерность их затухания с расстоянием, на серверном программном обеспечении вычисляются ускорения, ожидаемые на защищаемой территории, и пересчитываются в интенсивность по шкале EMS-98.

Рассмотрим временные интервалы работы системы (Табл.3)

Таблица 3. Расчет времени предупреждения системы.

Станция	Эпицентральное расстояние, км	Время прихода Р-волны, сек	Время прихода S-волны, сек
Очаг Канского землетрясения 19.07.2011 г. M=6,1. Южно-Ферганский разлом			
Фергана	30	5	8.6
Андижан	95	15,8	27.1
Наманган	92	15,3	26.3
Ташата	110	18,3	31.4
Ташкент	246	41	70
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии – за 60 сек. до прихода в Ташкент</i>			
Северо-Ферганская очаговая зона			
Фергана	101	16	28.8
Андижан	85	14.1	24.2
Наманган	30	5	8.5
Ташата	97	16	27.7
Ташкент	187	31.1	53.4
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии – за 44 сек. до прихода в Ташкент</i>			
Жалалабадская очаговая зона			
Фергана	122	20.3	34.9
Андижан	65	10.8	18.6
Наманган	121	20.2	34.6
Ташата	58	9.7	16.6
Ташкент	328	54	93.4
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии – за 74 сек. до прихода в Ташкент</i>			
Газлийская очаговая зона			
Газли	30	5.0	8.6
Нурата	188	31.3	53.7
Самарканд	322	53.7	92.0
Тамды	137	22.8	39.1
Ташкент	324	54	92
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии – за 84 сек. до прихода в Ташкент</i>			
Бахмальская очаговая зона			
Джизак	32	5.3	9.1
Самарканд	90	15.0	25.7
Ташкент	193	32.2	55.1
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии - за 46 сек. до прихода в Ташкент</i>			
Гиндукуш			
Джизак	550	91.7	157.1
Самарканд	640	106.7	182.9
Ташкент	589	98.2	168.3
Фергана	434	72.3	124.0
Андижан	488	81.3	139.4
Наманган	505	84.2	144.3
Байсун	391	65.1	111.0
<i>С использованием акселерометрической сети предупреждение о событии - за 76 сек. до прихода в Ташкент</i>			

Зная величину ускорений, пришедших на пункт регистрации (в данном случае на удаленную сейсмостанцию), а также закономерность их затухания с расстоянием, на серверном программном обеспечении вычисляются ускорения, ожидаемые на защищаемой территории, и пересчитываются в интенсивность по шкале EMS-98. На Рис. 3 показано сейсмические лучи от зоны возможного очага землетрясения и ст. Фергана. От Южно-Ферганского разлома S-волны

приходят в Ташкент за 71 с, от ст. Фергана – за 66 с. От очага до ст. Фергана S-волны волны приходят за 8 с. Время ожидания в Ташкенте составляет 58 с.

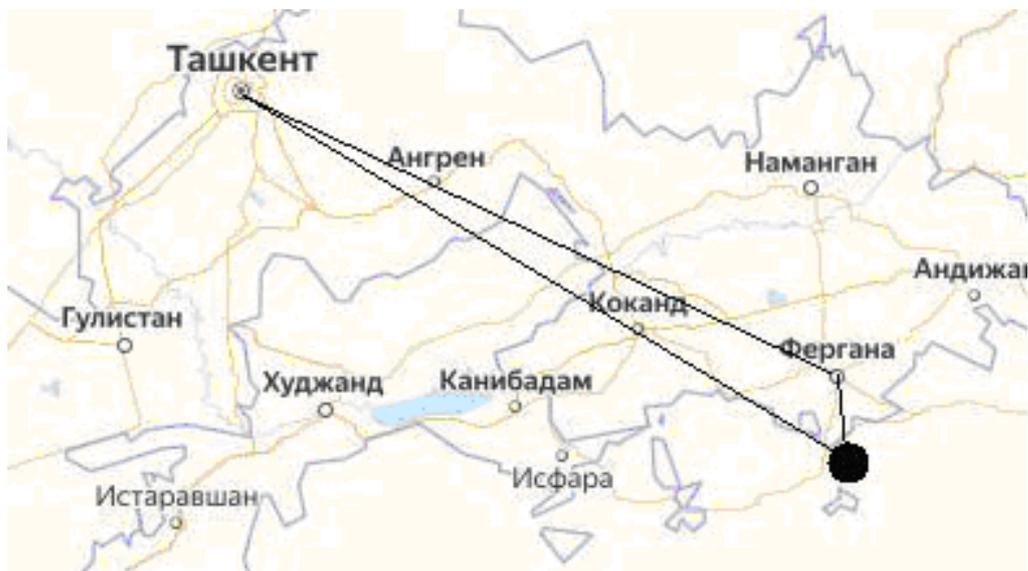


Рисунок 3 – Сейсмические лучи от зоны возможного очага землетрясения и ст. Фергана.

На Рис.4 приведена предполагаемая схема размещения акселерометров для передачи данных на сервер с указанием очаговых зон (черные кружки).

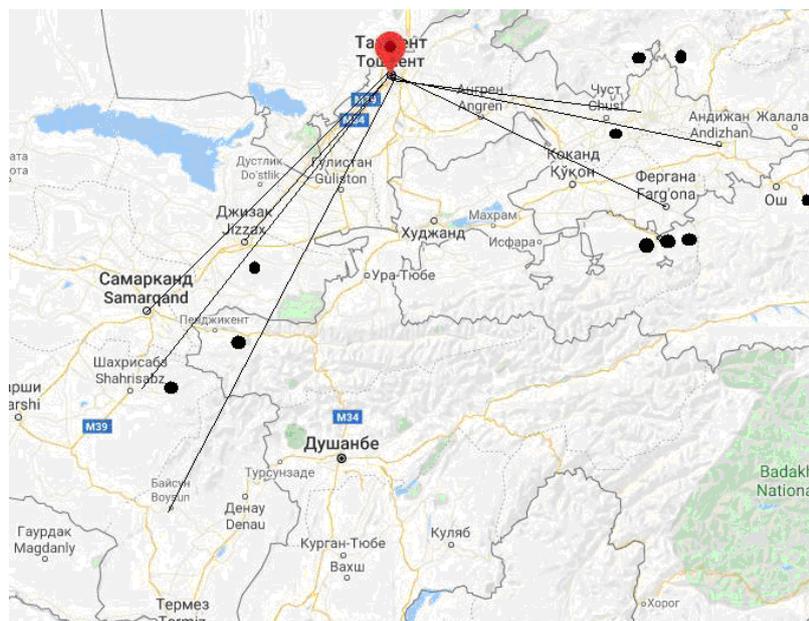


Рисунок 4 – Схема размещения акселерометров

На Рис.5 представлен скриншот с экрана веб-сервера, на котором размещена информация о величине пиковых ускорений (на примере Намангана), ожидаемой интенсивности сейсмических воздействий в Ташкенте, а также времени, через которое ожидается приход колебаний.

Для оперативного получения информации разработан Telegram-bot «SeismoNet Uzbekistan», с авторизацией входа. Пример сообщения бота:

- Событие на датчике NMG (Наманган).

Интенсивность в Ташкенте 4.5. Время прихода в Ташкент 55.1 сек.

К настоящему времени изготовлено, настроено и протестировано 8 приборов. Калибровка производилась методом сравнения с использованием цифрового акселерометра CMG-5TDE производства Guralp, Великобритания.

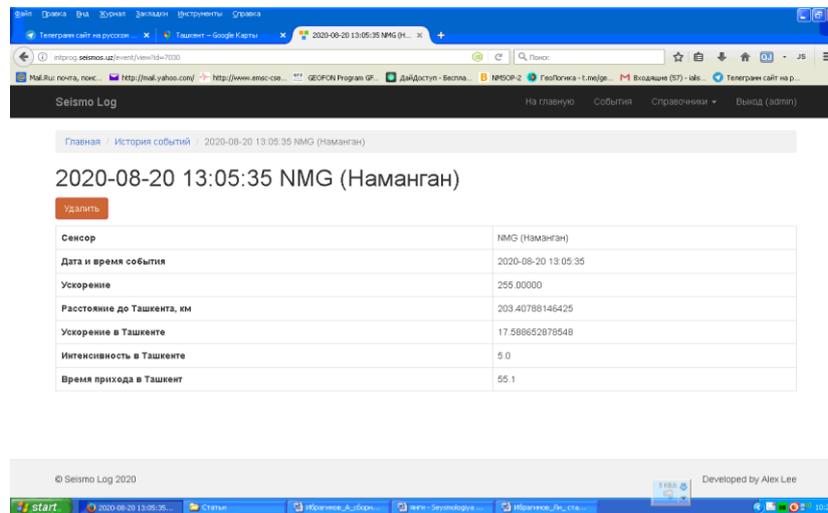


Рисунок 5. Окно веб-сервера с информацией о максимальных пиковых ускорениях на ст.Наманган, ожидаемой интенсивности и времени прихода сотрясений в Ташкент

Пороговое значение триггера акселерометров выставлено на величину 40 см/с^2 , что соответствует 5,5 баллам по шкале EMS-98. Время срабатывания от толчка до поступления предупреждения составило 0,5 секунды.

В случае сейсмических событий с $M > 5$, сервер генерирует карту пиковых ускорений на пунктах регистрации, т.е. можно определить инструментальную интенсивность по всей территории Республики.

Развитие системы раннего оповещения предусматривало разработку системы автоматического определения параметров землетрясений и автоматическую генерацию карт изосейст. Эта часть работы выполнена с использованием бесплатной системы EARTHWORM, получающей поток данных от системы Seoscomp-3. После сильных ($M > 4.5$) землетрясений автоматически генерируется карта изосейст (Рис.6).

Для этого на языке программирования Object Pascal было разработано вспомогательное программное обеспечение WormHTMLParser обеспечивающий получения данных из автоматически формируемых файлов с событиями системой EARTHWORM. Данные файлы представляют собой документы с html разметкой, они обрабатываются и анализируются программой WormHTMLParser, которая, в свою очередь, генерирует код карты изосейст. Шаблон интерфейса карты может быть изменен в случае необходимости, он хранится в отдельном html-файле.

Третье направление – разработка программного комплекса и прибора для непрерывного FFT-анализа в режиме реального времени для оценки параметров ожидаемых сильных событий по периоду и амплитуде ускорений, поступающих с MEMS-акселерометра. В данном случае вычислительных ресурсов микроконтроллера недостаточно, и необходимо использовать компьютер. Система работает по принципу прибора P-alert, разработанного в Тайване [16], но использует другие алгоритмы. Принцип действия следующий. Очаг события генерирует три типа волн: продольные (P), поперечные (S) и поверхностные (волны Лява, L и Релея, R). На долю поперечных и поверхностных волн обычно приходится до 80% энергии землетрясения, т.е. ими вызываются наибольшие колебания. Скорость распространения P-волны в зависимости от свойств геологической среды варьирует в пределах 6-8 км/с. Скорость же поперечных и поверхностных волн не превышает 3,5 км/с. При гипоцентральной расстоянии 100 км разница во времени прихода продольных и других волн составляет 12,6 сек.; на расстоянии 20 – 23,2 сек.; при 300 км – 33 сек.

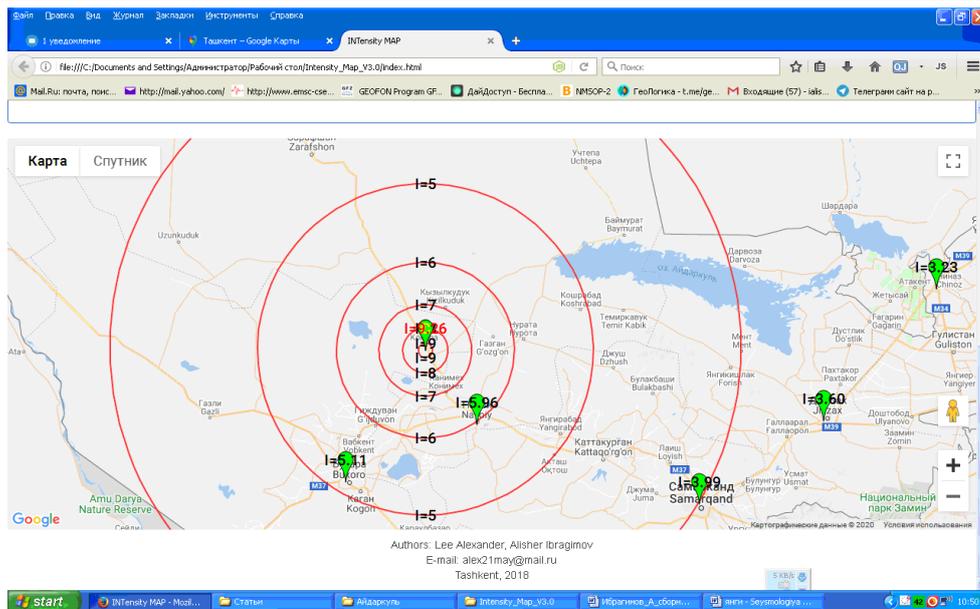


Рисунок 6. Карта изосейст, сгенерированная системой

Прибор для предупреждения о сильном землетрясении пришлось разрабатывать на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 3, поскольку у микроконтроллера Arduino не хватает вычислительных мощностей. В качестве датчика используется цифровой MEMS-акселерометр ADXL-345, частотный диапазон которого составляет 0,1-3500 Гц. Последний подключается к микрокомпьютеру посредством порта I2C.

Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 представляет собой одноплатный компьютер, с возможностью установки на него системы Linux, сборки, предназначенной именно для этого устройства. На микрокомпьютер были установлены требуемое программное обеспечение, такое как библиотеки Python, инструменты администрирования, которые нужны для работы алгоритмов основного программного обеспечения. В качестве основного языка программирования используется Python 3, а для работы с математическими вычислениями и отображением результатов различные библиотеки (NumPy, SciPy, Matplotlib). Дополнительно будут использоваться bash-скрипты и приложение cron для администрирования и автоматизации действий. Основное программное обеспечение состоит из следующих алгоритмических блоков:

- 1) Подключение и обработка I2C порта в программу
- 2) Инициализация основных переменных и констант
- 3) Цикл чтения данных во временный массив «окно», который состоит из:
 - Обработка «окна» с помощью фильтра по частоте 0,5 Гц
 - FFT-анализ массива, полученного после фильтрации
 - Сравнение полученного результата с критериями срабатывания триггера
 - Вызов триггера с отправкой сигнала на веб-сервер

По преобладающему периоду P -волны соответствует полученное авторами уравнение:

$$M_w = 5,22 + 6,66 * \log(tp) \quad (2)$$

где tp – период P - волны.

По величине пиковых ускорений по P -волне магнитуда рассчитывается из соотношения:

$$\ln(A) = 1,136 + 1,453 * M - 0,115 (8,5 - M)^2 \quad (3)$$

Где A – см/с², M – локальная магнитуда.

Заключение. Проведенные исследования показали следующее. Сеть сейсмического мониторинга территории Узбекистана включает 40 стационарных пунктов регистрации, из них 16 станций в режиме онлайн, т. е. остальные пункты для реализации системы раннего оповещения неприменимы.

Проведен анализ применимости различных алгоритмов СРОЗ с использованием потока данных сети сейсмического мониторинга Республики Узбекистан. Рекомендована архитектура системы с использованием региональных пунктов регистрации с отправкой информации о пиковых ускорениях на центральный сервер оповещения. Анализ сейсмограмм землетрясений с $M > 6$ на малых эпицентральных расстояниях (< 50 км) показал наличие нелинейной реакции грунтов, что связано с их прочностными свойствами.

Работа выполнена в рамках гранта Министерство инновационного развития Республики Узбекистан № ПЗ-20170921217.

Литература

1. Allen, R.M. The status of earthquake early warning around the world: an introductory overview / Richard M. Allen, Paolo Gasparini, Osamu Kamigaichi and Maren Böse // *Seismological Research Letters*, September/October 2009. – Vol. 80, No. 5. – Pp. 682–693. DOI: 10.1785/gssrl.80.5.682.
2. Kanamori, H. Real-time seismology and earthquake damage mitigation / Hiroo Kanamori // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2005. – Vol. 33. – Pp. 195–214. DOI: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122626.
3. Wurman G. Earthquake Early Warning and the Physics of Earthquake Rupture / A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. University of California, Berkeley. 2010. 97 p.
4. Earthworm Central [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.earthwormcentral.org/>. – Date of access: 17.05.2020.
5. Wu, Y.M. at al. Earthquake Early Warning System in Taiwan / Yih-Min Wu, Nai-Chi Hsiao, Tai-Lin Chin, Da-Yi Chen, Ya-Ting Chan, Kai-Shyr Wang // Ed.: M. Beer, I. Kougioumtzoglou, E. Patelli, I. Au. – *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. 2013. – Springer, Berlin, Heidelberg. – DOI: 10.1007/978-3-642-36197-5_99-1
6. Earthquake Early Warning System Palert [Electronic resource]: Jenlogix Industrial Technology Partner. – Mode of access: <https://www.earthquakeearlywarning.systems/palert.html>. – Date of access: 17.05.2020.
7. DGU-07095 IntensityMap V3.0 компьютер дастури
8. Wu, Y.-M., H. Kanamori, R.M. Allen, E. Hauksson, 2007: // Determination of earthquake early warning parameters, T_c and P_d , for southern California, *Geophys. J. Int.*, 170, pp. 711-717, doi:10.1111/j.1365-246X.3732007.03430.x.
9. Vladimir Sokolov, Takashi Furumura, Friedemann Wenzel. On the use of JMA intensity in earthquake early warning systems. *Bull Earthquake Eng.*, 2010, p.p.12-31.
10. Wu Y. M., Kanamori H. // Exploring the feasibility of on-site earthquake early warning using close-in records of the 2007 Noto Hanto earthquake. *Earth, Planets and Space*. 2008
11. Böse, M., Heaton, T. & Hauksson, E., 2012. // Rapid estimation of earthquake source and ground-motion parameters for earthquake early warning using data from single three-component broadband or strong-motion sensor, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **102**(2), pp. 738-750, doi: 10.1785/0120110152.
12. Aldo Zollo at al. A threshold based earthquake early warning using dense accelerometer networks. *Geophys. J. Int.*(2010) 183, 963–974.
13. Willy H. K. Lee, Juan Manuel Espinos a-Aranda. *Earthquake Early Warning Systems: Current Status and Perspectives// Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003. pp 409-423
14. Gilead Wurman at al. Toward earthquake early warning in northern California. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 112.2007.p.p.1-19.
15. Allen, R. M., H. Brown, M. Hellweg, O. Khainovski, P. Lombard, D. Neuhauser, 2009: Real-time earthquake detection and hazard assessment by ElarmS across California. *Geophys Res Lett* 36 L00B08, doi:10.1029/2008GL036766.
16. Yih-Min Wu at all. Performance of a Low-Cost Earthquake Early Warning System (P-Alert) during the 2016 M L 6.4 Meinong (Taiwan) Earthquake. *Seismological Research Letters* Volume 87, Number5 September/Oct.2016.,p.p.1050-10

ZILZILALARNI PROGNOZLASH

УДК 550.343

Абдуллабеков К.Н.

Институт Сейсмологии Академия наук, Ташкент, Республика Узбекистан, akna1942@mail.ru

СОСТОЯНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И КОНЦЕПЦИЯ ИХ РАЗВИТИЯ НА 2021-2030 ГОДЫ

Abdullabekov K.N.

O'zR FA Seismologiya instituti

Zilzilalarni bashorat qilish muammosi bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning holati va ularni 2021-2030 yillarda rivojlantirish konsepsiyasi.

Annotatsiya. O'zbekistonda takroriy marshrut, areal tadqiqotlari, geodinamik poligonlarda, kuchli zilzilalarning epitsentral zonalarida va texnogen ob'ektlarda statsionar kuzatuvlar orqali olingan kompleks geofizik tadqiqotlar natijalarining eng muhimlari keltirilgan. 2021-2030-yillarda fundamental va amaliy ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish konsepsiyasi, prekursorlar majmuasining namoyon bo'lishi makon-vaqt qonuniyatlarini aniqlash, zilzilaga tayyorgarlikning zamonaviy modellarini ishlab chiqish va zilzilani bashorat qilish xizmatini yaratishning ilmiy asoslarini batafsil tavsiflaydi. Amaliy tadqiqotlar konsepsiyasi kompleks seysmik bashorat qilish kuzatuvlari tarmog'ini optimallashtirish va qayta jihozlash orqali geodinamik poligonlarni modernizatsiya qilish muammolarini batafsil yoritib beradi. Zilzilalarni prognoz qilish muammosi bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish konsepsiyasi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 30-iyuldagi 4794-son "O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududlarining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmonida nazarda tutilgan muhim vazifalarni amalga oshirish doirasida ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: kompleks prognoz, elektromagnit maydonlar, geodinamika, ko'pburchak, optimallashtirish, fizik asoslari, tushuncha.

Абдуллабеков К.Н.

Институт Сейсмологии Академия наук, Ташкент, Республика Узбекистан, akna1942@mail.ru

Состояние научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений и концепция их развития на 2021-2030 годы.

Аннотация. Перечислены наиболее важные результаты комплексных геофизических исследований, полученных в Узбекистане способами повторных маршрутных, площадных съемок, стационарных наблюдений на геодинамических полигонах, в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений и техногенных объектах. Подробно описана концепция развития фундаментальных и прикладных научных исследований в 2021-2030 годах по выявлению пространственно-временных закономерностей проявления комплекса предвестников, разработке современных моделей подготовки землетрясений и научных основ создания службы прогнозирования землетрясений. В концепции прикладных исследований подробно освещены проблемы модернизации геодинамических полигонов, путем оптимизации и переоснащения мониторинговой сети комплексных сейсмопрогностических наблюдений. Концепция развития научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений составлена в рамках выполнения важных задач, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан № 4794 от 30 июля 2020 года «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан».

Ключевые слова: Комплексный прогноз, электромагнитные поля, геодинамика, полигон, оптимизация, физические основания, концепция.

Abdullabekov K.N.

Institute of Seismology Academy of Sciences, Tashkent, Republic of Uzbekistan, akna1942@mail.ru

The state of scientific research on the problem of forecasting earthquakes and the concept of their development for 2021-2030.

Annotation. The most important results of complex geophysical studies obtained in Uzbekistan by means of repeated route, areal surveys, stationary observations at geodynamic polygons, in the epicentral zones of strong earthquakes and in man-made objects are listed. The concept of the development of fundamental and applied scientific research in 2021-2030 is described in detail to identify the spatio-temporal patterns of the manifestation of a complex of precursors, the development of modern models of earthquake preparation and the scientific foundations of creating an earthquake forecasting service. The concept of applied research covers in detail the problems of modernizing geodynamic polygons by optimizing and re-equipping the monitoring network of complex seismic forecasting observations. The concept for the development of scientific research on the problem of

earthquake prediction was drawn up within the framework of the implementation of important tasks stipulated by the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 4794 dated July 30, 2020 "On measures to radically improve the system for ensuring seismic safety of the population and territories of the Republic of Uzbekistan."

Key words: Complex forecast, electromagnetic fields, geodynamics, polygon, optimization, physical foundations, concept.

Введение. Главными научными направлениями Института сейсмологии АН РУз являются проблемы сейсмического районирования и прогнозирования землетрясений. Настоящая статья посвящена изложению современного состояния научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений и дальнейшим путям их развития. Проблема прогнозирования землетрясений исключительно трудная и сложная задача, связанная с глобальными, региональными, локальными и другими тончайшими процессами, постоянно меняющимися во времени и в пространстве. Над уменьшением ущерба этого грозного явления природы занимаются многотысячная армия исследователей ряда стран мира в течение многих десятилетий.

Под прогнозом землетрясений подразумевается прогноз места, силы и времени ожидаемого события. Несмотря на длительные научные исследования ученых США, Японии, Китая, бывшего Союза, включая Узбекистан, и многих стран мира, проблема прогнозирования землетрясений еще до конца не решена полностью. Этой проблемой ученые стали усиленно заниматься особенно после трагических землетрясений в 1906 году в Калифорнии (США), в 1923 году в Токио и других странах. Широкомасштабные научные исследования на сейсмоактивных регионах бывшего Союза были организованы в течение последних 50-70 лет, после сильных и катастрофических землетрясений в Ашхабаде (1948), Хаите (1949), Ташкенте (1966), Спитаке (1988) и других местах. В Узбекистане, хотя сейсмологические и другие геофизические исследования были начаты в 70-х годах 18-го столетия, проблемой прогнозирования землетрясений усиленно стали заниматься после разрушительного Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 года и создания в системе Академии наук Института сейсмологии. Научные исследования Института геологии и геофизики, возглавляемого академиком И.Х.Хамрабаевым, были направлены на решение вопросов глубинного строения земной коры, оценке сейсмической опасности и сейсмического районирования.

История развития. В 60-70-х годах прошлого столетия представления о прогнозе землетрясений были очень скудные. Часто споры шли о наличии или отсутствии достоверных и надежных предвестников. Ниже коротко остановимся об этапах и наиважнейших результатах научных исследований, полученных в Узбекистане. На первом этапе были решены организационные вопросы. Директором вновь организованного Института был назначен опытный и инициативный академик АН РУз Гани Арифханович Мавлянов, 110-летие которого широко отмечается в этом году. Первые годы организации Института кадров, занимающихся проблемами прогнозирования землетрясений, почти не было. В вновь организованный институт из различных организаций были приглашены преимущественно молодые научные сотрудники в возрасте 30-35 лет. Были составлены долгосрочные договоры о научном сотрудничестве с Институтом физики земли (ИФЗ РАН), Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН), Московским государственным университетом им. М.В.Ломоносова (МГУ), Всесоюзным геологоразведочным институтом (ВНИГРИ) и другими. Десятки молодых специалистов, принятые в аспирантуру, были прикомандированы в центральные города бывшего Союза.

Были созданы Ташкентский, Ферганский, Кызылкумский геодинамические полигоны, Чарвакский, Таваксайский, Полторацкий и другие микрополигоны. Организованы комплексные сейсмопрогностические наблюдения на сети стационарных станций, повторных маршрутных и площадных съемок. Проводились также режимные наблюдения на техногенных объектах, в зонах эксплуатируемых подземных газохранилищ, месторождений нефти и газа, крупных водохранилищ и т.д. Проводились также лабораторные эксперименты по исследованию изменения физических свойств горных пород под давлением и температурой. Выполнялись теоретические расчеты ожидаемых величин аномальных изменений геофизических полей. Были организованы комплексные режимные наблюдения в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений [1-3].

Таким образом, начиная с организации Института, проводится мониторинг комплексных

сейсмопрогностических наблюдений на всей территории Республики. За прошедшее время получены уникальные в мировой практике результаты. Ниже перечислим наиболее важные результаты научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений, полученных в мире и Институте сейсмологии.

Результаты исследований. В мировом масштабе были выявлены несколько десятков способов прогнозирования землетрясений. Сделаны десятки научных открытия и сотни способы прогнозирования землетрясений. Разработаны теории прогнозирования землетрясений. Установлены многочисленные эмпирические формулы проявления предвестников с расстоянием и во времени в зависимости от магнитуды. Составлены каталоги предвестников землетрясений по различным методам прогнозирования землетрясений. Написаны многочисленные научные статьи, монографии, инструкции по организации и проведению научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений.

В результате многолетних комплексных исследований предвестников землетрясений Институтом сейсмологии получены интересные и важные результаты, некоторые из которых являются уникальными в мировом масштабе. Перечислим некоторые из них:

- выделены многочисленные долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные предвестники и вариации, связанные с афтершоковым последствием;

- уточнены эмпирические зависимости между пространственно-временными параметрами среднесрочных предвестников и магнитудой землетрясений;

- на основании анализа среднегодовых данных векового хода геомагнитного поля на мировой сети обсерваторий выделены медленные аномальные изменения магнитного поля с характерными временами 15-25 лет, приуроченные к активным сеймотектоническим областям земной коры. Выделено медленное аномальное изменение магнитного поля в Душети (Тбилиси), связанное с Горийским землетрясением 1920 года с магнитудой $M=6.5$;

- аномальные вариации комплекса предвестников землетрясений преимущественно проявляются в сейсмогенных зонах. Аномалии вдоль оси сейсмогенных зон распространяются на большие расстояния, чем в крест простиранию;

- впервые проведены высокоточные магнитометрические наблюдения до, в момент и после толчка над очагом сильнейшего Газлийского землетрясения 17 мая 1976 года с магнитудой $M=7.3$.

- обнаружено аномальное искажение амплитуды бухтообразных вариаций геомагнитного поля в период Газлийского, Чимионского и других землетрясений;

- на Чарвакском полигоне выделены аномальные вариации геомагнитного поля, связанные, с режимом эксплуатации водохранилища, с геодинамическими процессами и рядом землетрясений, произошедших в регионе;

- впервые выделены аномальные вариации геомагнитного поля и электропроводности горных пород, связанные с режимом эксплуатации Полторацкого подземного газохранилища;

- найдены и исследованы комплексные деформометрические, геофизические, гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. Выявлена эмпирическая зависимость между временем медленных изменений комплекса предвестников и магнитудой землетрясений, выражающаяся формулой $T=4M-14$ [4];

- установлены особенности проявления предвестников во времени и пространстве, уточнены эмпирические формулы, показывающие зависимости размеров проявления предвестников с расстоянием и во времени в зависимости от магнитуды [5-8];

- аномальные изменения, связанные с землетрясениями по временному признаку разделены на долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные и изменения последствия. Выделенные четыре типа аномальных изменений различных полей в совокупности позволили создать более усовершенствованную геофизическую модель подготовки тектонического землетрясения, отличающаяся от ранее известных указанием более точных времен этапов подготовки землетрясений различных магнитуд [9];

- разработана инструкция по проведению различных (стационарных, повторных площадных, маршрутных и других) наблюдений по исследованию предвестников и прогнозированию землетрясений. [10];

- на уровне научных открытий исследованы импульсные электромагнитные излучения земной коры, изменения газо-химического состава подземных вод и т.д.

Мониторинг комплексных сейсмопрогностических наблюдений на геодинамических

полигонах осуществляется методами повторных площадных и маршрутных съемок, стационарных непрерывных или дискретных наблюдений. Мониторинг организован в соответствии с разработанной инструкцией и методических руководств. Методические руководства составлены с учетом специфических условий каждого направления. Маршруты и пункты наблюдений выбираются с учетом геолого-тектонических условий, сейсмичности, вертикального и горизонтального градиентов исследуемых полей, чувствительности применяемой аппаратуры и ряда других параметров. Учитываются оптимальность расположения пунктов наблюдений, линейные размеры, интенсивность ожидаемых аномальных изменений и ряд другие факторы, присущие каждому методу в отдельности.

При проведении фундаментальных и прикладных исследований большое внимание уделяется исследованию физических оснований поиска предвестников. Физической природой возникновения аномальных изменений магнитного и электрического полей считаются явления пьезомагнетизма, пьезоэлектричества, влияние электрокинетических токов и другие процессы.

Сейсмологическая наука направлена на решение важных проблем, связанных с жизнедеятельностью населения Республики. Поэтому она всегда находится под пристальным вниманием государства и населения. Решению актуальных проблем сейсмологии и сейсмостойкого строительства направлены ряд Постановлений Президента и Кабинета Министров Республики Узбекистан. Перечислим некоторые из них.

– постановление КМ РУ от 03.04.2007 года № 71 «Об утверждении Государственной программы по прогнозированию и предупреждению чрезвычайных ситуаций»;

– постановление КМ РУ от 09.07.2009 года № 191 «Об укреплении материально-технической базы сейсмологических станций Института сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан»;

– постановление КМ РУ от 19.07.2011 года № 208 «Об утверждении Комплексной программы по подготовке населения к действиям при землетрясениях»;

– постановление КМ РУ от 24 августа 2011 года № 242 «О дальнейшем совершенствовании Государственной системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях Республики Узбекистан»;

– постановление КМ РУ от 12 мая 2014 года № 119 «Об утверждении положения о порядке осуществления мониторинга недр Республики Узбекистан»;

– постановление Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года № ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан»;

– постановление Президента № ПП-4794 от 30 июля 2020 года «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан».

Возможности оптимизации концепции. Последнее Постановление заслуживает особого внимания масштабностью охвата назревших проблем обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики. В нем запланированы решения актуальных проблем сегодняшнего и завтрашнего дней по обеспечению безопасности населения и материальных ценностей. Поставлены решения широкомасштабных проблем перед рядом министерств и ведомств. В частности, Министерству по чрезвычайным ситуациям, Министерству строительства, Министерству высшего и среднего специального образования, Институтам сейсмологии, Механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз и ряду других организаций. В частности Институту сейсмологии в пункте 12а Постановления, наряду с другими учреждениями, поручено в срок до 1 марта 2021 года составление Концепции по развитию сферы сейсмологии, обеспечения сейсмостойкости сооружений и сейсмической безопасности до 2030 года. В Концепции Института будут отражены актуальные вопросы сейсмологии по оценке сейсмической опасности, сейсмического районирования, проблеме прогнозирования землетрясений, оценке сейсмического риска и другие вопросы.

В настоящей статье мы дали план фундаментальных и прикладных научных исследований по проблеме прогнозирования места, силы и времени землетрясений преимущественно по геофизике. Эта часть Концепции Института сейсмологии, конечно, будет дополнена деформометрическими, гидрогеосейсмологическими и другими научными исследованиями.

Правительственные Постановления объявляются в связи с острой необходимостью решения накопившихся актуальных проблем, стоящих перед Республикой и широкими слоями населения. Новое Постановление объявлено также на основании глубокого критического анализа деятельности научно-исследовательских институтов Академии наук, Министерства строительства, Министерства по чрезвычайным ситуациям и ряда других организаций, основная деятельность которых направлена на защиту населения и промышленных объектов от стихийных бедствий, в данном случае от ущерба от сильных землетрясений. Выше мы перечислили наиболее важные результаты, полученные Институтом сейсмологии. Однако критический анализ деятельности Института показывает, что наряду с успешными результатами накопилось и ряд нерешенных проблем, препятствующих развитию научных исследований на современном уровне. Прогнозирование землетрясений возможно при наличии оптимальной сети сейсмопрогностических станций, позволяющих выделять полную картину пространственно-временных изменений комплекса предвестников минимум тремя методами. Неправильный прогноз вызовет среди населения не нужную панику. Получение полной картины пространственно-временных изменений предвестников возможно при наличии оптимальной сети мониторинга сейсмопрогностических станций.

К сожалению, сеть мониторинга сейсмопрогностических наблюдений до настоящего времени не оптимизирована. Не хватает деформометрических, геофизических, гидрогеосейсмологических приборов. Институт остро нуждается в приобретении современных приборов. В рамках предыдущего постановления Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года № ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» сделано очень многое. Открыты дополнительно 24 сейсмопрогностические станции. Существующие и новые станции оснащены преимущественно сейсмическими станциями. Организована автоматизация сейсмических наблюдений, передачи их данных в центр анализа и прогноза землетрясений. Однако станции были оснащены в основном сейсмической аппаратурой. Как известно, сейсмические станции служат только для регистрации произошедших землетрясений. Станции не были оснащены комплексными геофизическими, деформометрическими, гидрогеосейсмологическими станциями. По нашему мнению, основной упор был сделан на автоматизацию передачи информации и их обработке. Эти работы конечно актуальны и своевременны. Однако, землетрясения продукт земли. Они подготавливаются в различных глубинах земной коры. По нашему мнению, первостепенной задачей Института сейсмологии и Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз является полное оснащение оптимальной сети сейсмопрогностических станций современной аппаратурой. Для решения проблемы прогнозирования землетрясений на первом этапе должны организовать современную систему мониторинга.

Таким образом, главным недостатком научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений является некорректная организация мониторинга сейсмопрогностических наблюдений. Успех работы, в первую очередь, зависит от правильной организации методики комплексных наблюдений. Землетрясения подготавливаются в разных глубинах земной коры. Учитывая это обстоятельство, особое внимание нужно уделять методике проведения полевых наблюдений. К методическим вопросам относятся выбор аппаратуры, способов измерений, масштаба съемок, частоты измерений, проверка наличия вертикального и горизонтального градиентов и т.д. Конечный успех мониторинга комплексных наблюдений зависит от выбора правильной методики наблюдений на геодинамических полигонах. На следующем этапе необходимо обратить особое внимание на вопросы автоматизации наблюдений, передаче информации, обработке результатов измерений и на конечной стадии к интерпретации полученных результатов. В этом плане в 2019 году выпущена Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом [10]. Она составлена с учетом последних достижений Института сейсмологии по проблеме прогнозирования землетрясений. Аналогичные инструкции планируется разработать и по другим методам прогнозирования землетрясений.

Концепция развития научных исследований Института сейсмологии по проблеме прогнозирования землетрясений на 2021–2030 годы.

Среди стихийных бедствий по масштабам человеческих жертв и экономического ущерба землетрясения занимают одно из ведущих мест. На первый взгляд, научно-исследовательские и

практические работы по проблеме прогнозирования землетрясений организованы удовлетворительно и не вызывают особых тревог. На всей территории Республики организован мониторинг комплексных сеймопрогностических наблюдений. Сеть состоит из более 50-ти сейсмических и комплексных прогностических станций. Ведется контроль за сейсмической ситуацией на глобальном, региональном и локальном уровнях. В вышестоящие инстанции выдаётся еженедельная, ежеквартальная и ежегодная информация о произошедших и ожидаемых сейсмических событиях.

Многие научно-исследовательские работы проведены на мировом уровне и заслуживают внимания. Первое в Центральной Азии научное открытие и рождение нового гидрогеосейсмологического направления дали мощный импульс развитию научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений. Из Института гидрогеологии и инженерной геологии Госкомгеологии РУз перешли в Институт сейсмологии для постоянной работы академик А.Н.Султанходжаев и 5 кандидатов наук. Многие научно-исследовательские работы были организованы своевременно, и они принесли свои плоды. Например, при бывшем Союзе первое Постановление о коренном улучшении научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений в Узбекистане было объявлено в 1977 году. Всесоюзное Постановление о целевом финансировании и усилении научно-исследовательских работ в области прогнозирования землетрясений вышло спустя год – в 1978 году. Однако проблема прогнозирования землетрясений еще далека от идеальности.

Учитывая назревшие проблемы в области сейсмологии, разработана Концепция развития сейсмологических исследований на 2021–2030 годы. В Концепции значительное место занимают научно исследовательские работы по проблеме прогнозирования землетрясений.

Фундаментальные исследования. В области фундаментальных исследований на 2021–2024 годы запланировано «Установление закономерностей проявления комплекса предвестников во времени и пространстве». Как приводилось выше, в течение последних десятилетий ведущими учеными многих стран, включая и ученых Узбекистана, в этом направлении сделано очень многое. Накопилось огромное количество фактического материала по мониторингу комплекса деформометрических, геофизических, гидрогеосейсмологических и других направлений. Найдены многочисленные эмпирические зависимости между пространственно-временными параметрами и магнитудой землетрясений. Содержатся также многочисленные публикации по исследованию физико-химических, механических и других оснований различных предвестников. Полученные результаты исследования пространственно-временных параметров проявления предвестников в зависимости от магнитуды землетрясений существенно отличаются друг от друга. Порою встречаются противоречащие результаты. Недостаточно исследован вопрос особенностей проявления предвестников в зависимости от геолого-тектонических условий регионов. Не исследован также вопрос проявления предвестников в зависимости от региональных и локальных проявлений сейсмичности. С учетом вышеизложенных фактов, в 2021–24 годах планируется установить закономерности проявления комплекса предвестников землетрясений в зависимости от магнитуды и других геолого-тектонических условий. Продолжающийся мониторинг комплексных предвестников на геодинамических полигонах Узбекистана, наличие огромного фактического материала, кадрового потенциала и других показателей поставленная цель – установление пространственно-временных закономерностей проявления комплекса предвестников в зависимости от магнитуды будет решена успешно.

На следующем этапе фундаментальных исследований в 2025–2028 годах запланировано «Создание современной модели процессов подготовки землетрясений». Создание модели подготовки землетрясений является ключевой задачей проблемы прогнозирования землетрясений. Она позволяет корректировать комплексные научные исследования по данной проблеме и охватывает основные проблемы прогнозирования землетрясений. В данном направлении, начиная с 70-80-х годов прошлого столетия, сделано очень многое. Особенно большую роль сыграли модели, созданные американскими и советскими учеными [11-13]. Заслуживает внимания также и модель, предложенная узбекскими учеными Г.А.Мавляновым и В.И.Уломовым [14]. Однако эти и другие модели опирались на факты, известные для того времени. Они были направлены в основном на процессы, происходящие в очаге землетрясений. Зоны подготовки землетрясений почти не рассматривались. Не достаточно учитывались пространственно-временные параметры проявления предвестников. Говоря о времени подготовки, писалось, что землетрясения готовятся

в течение длительного времени - несколько десятков лет. Конкретные цифры долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных предвестников не приводились. Несмотря на это они сыграли огромную роль в развитии научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений.

В течение последних десятилетий во многих странах мира, включая и Узбекистан, накопилось огромное количество фактического материала по мониторингу комплекса предвестников, выявлению зависимостей между пространственно-временными параметрами и магнитудой землетрясений, публикации, содержащие результаты выявления различных новых предвестников и многие другие. Однако они не обобщены и не анализированы в совокупности. Очень мало публикаций о связи различных предвестников с геолого-тектоническим строением. Учитывая вышеизложенное, в 2025–2028 годах в рамках фундаментальных исследований запланировано создание современной модели процессов подготовки землетрясений.

В концепции развития научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений в 2029–2030 годах запланировано «Создание научных основ службы прогнозирования землетрясений». На первый взгляд, планирование такой темы является несколько парадоксальным. Во всем мире в течение многих десятилетий проводятся обширные научно-исследовательские работы по проблеме прогнозирования землетрясений, и только теперь ставится такая тема. По нашему мнению, действительно только теперь настало время выполнения такой темы. До настоящего времени научные исследования по проблеме прогнозирования землетрясений во всем мире, включая и исследования в Узбекистане, носят научно-исследовательский характер. Нигде в мировой практике до настоящего времени официальный орган службы прогнозирования землетрясений не был создан. Учитывая выше изложенное, мы считаем, что настало время для создания научных основ службы прогнозирования землетрясений в Узбекистане. Для этого должны опираться на результаты предыдущих фундаментальных тем по созданию закономерностей проявления предвестников во времени и пространстве и современной модели процессов подготовки землетрясений. На данном этапе фундаментальные и прикладные исследования будут переплетаться между собой. Целью фундаментальных исследования является научное обоснование выбора оптимальной сети комплексных сейсмопрогностических станций, физико-механических, химических и других оснований поиска предвестников. Мы считаем, что в недалеком будущем на государственном уровне будет создан официальный орган службы прогнозирования землетрясений. Она должна быть обеспечена высококвалифицированными кадрами, современными приборами и оборудованием, средствами связи, передачи информации, обработки и выдачи надежных прогнозных заключений.

Как видно из вышеизложенного, создание службы прогнозирования землетрясений очень сложная, многоплановая и дорогая работа. Но она направлена на сохранение жизни населения, материальных ценностей.

Прикладные исследования. На первом этапе – в 2021–2024 годах запланировано выполнение прикладной темы “Модернизация Ташкентского и Ферганского геодинамических полигонов с целью детального исследования деформометрических, геофизических, гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений”.

Прикладные исследования будут проводиться в сочетании с фундаментальными и инновационными работами.

На первом этапе наиболее важной задачей является модернизация Ташкентского и Ферганского геодинамических полигонов с целью детального исследования комплекса деформометрических, геофизических и гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений. Для успешного проведения фундаментальных научных исследований с целью разработки закономерностей проявления комплекса предвестников землетрясений во времени и пространстве в ближайшие годы необходимо модернизировать Ташкентский и Ферганский геодинамические полигоны. Ташкентский, Ферганский и Кызылкумский геодинамические полигоны были организованы в первые годы создания Института сейсмологии АН РУз.

Неоценима роль этих полигонов в исследовании и получении важных результатов в проведении фундаментальных и прикладных научных исследований. Проведение длительных комплексных наблюдений на этих полигонах позволили получить ряд важных научных результатов на мировом уровне. Однако со временем они устарели и не отвечают современным требованиям проведения научных исследований на современном уровне. Самое печальное, на этих полигонах с годами существенно сократился объем проводимого мониторинга комплексных

сейсмопрогностических наблюдений. Прекращены наклонометрические наблюдения, сократились магнитометрические наблюдения методами повторных площадных и маршрутных съемок. Не проводятся электрометрические работы по исследованию изменения электропроводности и электросопротивления горных пород. В связи с переходом на космогеодезические методы исследования современных движений земной коры с помощью GPS приборов, прекратились наземные геодезические работы, проводимые Предприятием 12 по выявлению горизонтальных и вертикальных движений земной коры. К сожалению, исследование современных движений земной коры с помощью GPS приборов до сих пор не налажено. Как видно из вышеизложенного, для организации научных исследований на современном уровне геодинамические полигоны нуждаются в модернизации. Модернизация полигонов включает пересмотр всех научно-методических основ комплексных наблюдений, включая выбор оптимального расположения стационарных и рядовых пунктов наблюдений, аппаратуры, района исследований, передачи информации и другие назревшие вопросы. Модернизация требует обновления приборов и оборудования. Модернизированная сеть должна позволять регистрировать полную картину пространственно-временных проявлений комплекса предвестников ожидаемых сильных землетрясений. Без модернизации геодинамических полигонов не возможно достичь желаемых результатов. Для надежного прогнозирования землетрясений в первую очередь должны правильно организовать мониторинг деформометрических, геофизических и гидрогеосейсмологических наблюдений. На следующем этапе должны усовершенствовать автоматизацию наблюдений, передачу информации и экстренную обработку.

Без разработки методических основ мониторинга и правильной организации комплексных сейсмопрогностических наблюдений, позволяющих получать полную картину пространственно-временных изменений исследуемых полей, невозможно выполнять фундаментальную тему по выявлению закономерностей проявления комплекса предвестников во времени и пространстве. Для надежного прогнозирования места, силы и времени ожидаемых землетрясений аномальные предвестники должны быть выделены минимум тремя независимыми методами – комплексными деформометрическими, геофизическими и гидрогеосейсмологическими методами.

Таким образом, надежный прогноз сильных землетрясений возможен только при правильной организации мониторинга комплексных сейсмопрогностических наблюдений. Получение надежных результатов на полигонах зависит от правильного выбора каждого пункта стационарных, повторных маршрутных или площадных наблюдений и правильного осуществления частоты наблюдений. Таким образом, на первом этапе прикладных исследований в 2021–22 годах запланировано осуществление модернизации Ташкентского и в 2023–24 годах Ферганского полигонов. Ответственными исполнителями являются лаборатории «Физика сейсмогенных процессов», «Гидрогеосейсмологии и Экспериментальной сейсмологии».

При выполнении фундаментальной темы по выявлению пространственно-временных закономерностей проявления комплекса предвестников землетрясений в зависимости от магнитуды наряду с обобщением и анализом, полученных результатов на полигонах Узбекистана и других стран, требуется и анализ сопоставления результатов, полученных во время сильных землетрясений, произошедших на территории геодинамического полигона и в пограничных районах с соседними республиками. Однако на территориях полигонов бывают и годы сейсмического затишья. В таких случаях исключительно полезны организация научных исследований в зонах техногенных объектов – эксплуатируемых месторождений нефти и газа, водохранилищ, подземных газохранилищ и других объектах. Эти работы позволяют моделировать сеймотектонические процессы в районах исследований. Они также позволяют разработать оптимальный режим эксплуатации в техногенных объектах.

Учитывая вышеизложенное, в 2025-2026 годах лабораторией Физика сейсмогенных процессов планируется проведение прикладной темы: «Исследование вариаций геофизических полей, связанных с режимом эксплуатации Чарвакского водохранилища и сеймотектоническими процессами на территории Восточного Узбекистана и в 2027-2028 годах». Исследование вариаций геофизических полей, связанных с режимом эксплуатации газо-нефтяных месторождений».

Для территории Чарвакского полигона лаборатория располагает уникальным фактическим материалом. Здесь осуществлен мониторинг стационарных и повторных маршрутных наблюдений вокруг водохранилища начиная с 1972 года. В начальные годы эксперимент осуществлен совместно с Институтом земного магнетизма, ионосферы, распространения радиоволн

(Московская обл.) и Институтом геофизики (Екатеринбург). В первые годы основной упор был сделан на исследование вариаций магнитного поля, связанных с режимом эксплуатации водохранилища. Позже исследованиями 2010–2020 годов выяснилось, что аномальные вариации поля связаны наряду с режимом эксплуатации и с сейсмическими процессами, происходящими на территории Восточного Узбекистана, а также с общими геодинамическими процессами, происходящими в регионе [6]. На очередном этапе планируется детально исследовать каждый тип аномальных изменений в отдельности и в совокупности. Таким образом, прикладными исследованиями на территории Чарвакского полигона, в первую очередь, планируется контролировать сеймотектоническую обстановку территории, важного для населения Ташкента и Ташкентской области. Важность таких исследований показали последние события на территории Сардобинского водохранилища. Как видно из выше изложенного, продолжение мониторинга магнитометрических исследований на территории Чарвакского полигона является одной из исключительно важных задач Института сейсмологии.

Проведение прикладных исследований на территориях Памук-Зевардинской группы структур, направленных на исследование вариаций магнитного поля, связанных с режимом эксплуатации месторождений нефти и газа, также является актуальной задачей. На конечной стадии эти исследования позволят не только моделировать сеймотектонические процессы в регионе, но и разработать оптимальный режим эксплуатации на техногенных объектах.

На следующем этапе прикладных исследований в 2029-2030 годах запланировано проведение научных исследований по теме «Разработка методических основ создания службы прогнозирования землетрясений в Узбекистане». На первый взгляд, планирование такой темы является несколько парадоксальным. Действительно, по проблеме прогнозирования землетрясений сделано очень многое. Созданы геодинамические полигоны, организованы комплексные сейсмопрогностические наблюдения. Получены уникальные в мировой практике результаты. Однако критический анализ методики проводимых исследований показывает необходимости пересмотра методики мониторинга комплексных сейсмопрогностических наблюдений. В последние годы в этом направлении сделано очень много. Полигоны оснащены современными сейсмопрогностическими приборами. Организованы автоматическая регистрация и передача информации в Центр анализа и прогноза землетрясений. На современном уровне организованы сейсмические наблюдения. Особенно заслуживает внимания служба срочных донесений о произошедших землетрясениях. Все это, на первый взгляд, выглядит весьма удовлетворительно. Однако опыт предыдущих исследований и их критический анализ показывает, что назрела острая необходимость пересмотра методических работ по организации комплексного сейсмопрогностического мониторинга. Часть вышеназванных мероприятий предусмотрено на первом этапе – в модернизации геодинамических полигонов в 2021-2024 годах. Предлагаемая на 2029-2030 годы прикладная тема является продолжением предыдущих исследований в этом направлении. В ней будут подробно освещены все методические вопросы, связанные с созданием методических основ создания службы прогнозирования землетрясений: выбора района исследований исходя из геолого-тектонического строения выбираемых объектов, выбора аппаратуры, масштаба съемки, частоты повторных съемок, оценки точности измерений, выбора оптимального комплекса методов регистрации предвестников. Будут освещены методы обработки и выделения полезного сигнала от общего. Будут освещены также действия различных служб МЧС при получении долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза места, времени и силы ожидаемого сейсмического события.

Данная статья написана в рамках выполнения фундаментальной темы ФА-Ф-8-006 «Исследование особенностей проявления напряженно-деформированного состояния разноранговых сеймотектонических структур комплексом геолого-геофизических методов» и выполнения пункта 12а постановления Президента № ПП-4794 – «Разработать в срок до 1 марта 2021 года Концепцию по развитию сферы сейсмологии, обеспечения сейсмической безопасности до 2030 года».

Литература

1. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане – Ташкент: Гидроингео.-2002. - 132 с.
2. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Муминов М.Ю., Туйчиев А.И. Результаты многолетних исследований сейсмомангнитного эффекта в Узбекистане. // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире.- Труды IX Международной научно-практической конференции ГЕОРИСК-2015. - Москва, 14-15 октября.- том 1.- С.433-439.
3. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Современное состояние исследований по проблеме прогнозирования землетрясений. // Seysmologiya muammolari.- №1. – Ташкент. – 2019.- С.18-23.
4. Абдуллабеков К.Н. Долгопериодные магнитные предвестники землетрясений. // Доклады АН РУз.- 2007. - №3.- С.33-35.
5. Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И. Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием и размеры геотектонических блоков. // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. - Материалы VII международного симпозиума.- 19-24 июня 2017 г. – Бишкек.- С.268-272.
6. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р. Локальные вариации геомагнитного поля техногенной и геодинамической природы в районе водохранилища Чарвак. // Разведка и охрана недр. – Россия.- №35.- 2018.- С.27-32.
7. Abdullbekov K.N., Tuychiev A.I. Manifestation of earthquake precursors with distance and dimension of geotectonic blocks // International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences. – India.- 2019.- Vol. - N9 (2). - ,P.71-75.
8. Максудов С.Х., Абдуллабеков К.Н., Юсупов В.Р., Туйчиев А.И. Вариации геомагнитного поля, обусловленные разноглубинными процессами в земной коре и верхней мантии // Seysmologiya muammolari. - 2019.- №2.- С. 13-28.
9. Абдуллабеков К.Н. Геофизическая модель процессов подготовки землетрясений. – Доклады АН РУз. – 2008. - №2. - С.49-52.
10. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом. // Мини топография АН РУз. – 2019. - 16 с.
11. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Лабораторные и теоретические исследования процесса подготовки землетрясений. Изв.АН СССР.Физика Земли. 1974, № 10, с.107-114.
12. Sholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake Prediction: a Physical Basis. Science, 1973, V.181, №4102 p.803.
13. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. ИФЗ РАН. 1991, 218с.
14. Мавлянов Г.А., Уломов В.И. Поиски предвестников землетрясений в Узбекистане. В кн. Поиски предвестников землетрясений. Ташкент. Фан, 1976, с.25-38.

SEYSMOTEKTONIKA VA GEODINAMIKA

УДК 550.348.098

Нурматов У.А., Садыков Ю.М., Юсупджанова У. А.

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, Ташкент, РУз, Olmason29@mail.ru

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БАХМАЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 29 СЕНТЯБРЯ 2017 ГОДА

Nurmatov U.A., Sodiqov Yu.M., Yusupdjanova U.A.

FA G'.A.Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti, O'zbekiston, Toshkent, Olmason29@mail.ru

2017-yil 29-sentyabr Baxmal zilzilasi sodir bo'lishining seysmotektonik va seysmologik sharoitlari.

Annotatsiya. Maqolada Baxmal zilzilasining geologik-geofizik, seysmotektonik, seysmologik sharoitlarini o'rganish natijalari keltirilgan. Asosiy zarbadan oldin sodir bo'lgan zilzilalarning fazoviy va vaqtinchalik ketma-ketliklari, shuningdek, silkinishlar va keyingi voqealar o'rganildi. Manba maydoni pozitsiyasining tektonikasi bilan holatini qiyosiy tahlil qilish va zilzila yuzaga kelish shartlarini baholash bo'yicha tegishli xulosalar chiqarish.

Kalit so'zlar. Tektonik harakatlar, tuzilish, yoriq, neotektonik harakatlar, zilzilalar, afterok, forshok.

Нурматов У.А., Садыков Ю.М., Юсупджанова У. А.

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, Ташкент, РУз, Olmason29@mail.ru

Сейсмотектоническая и сейсмологическая условия возникновения Бакмальского землетрясения 29 сентября 2017 года.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования геолого-геофизических, сейсмотектонических, сейсмологических условий возникновения Бакмальского землетрясения. Изучены пространственные и временные последовательности землетрясений, возникшие до главного толчка, а также афтершоков и последующих событий. Произведен сопоставительный анализ положения очаговой области с разломной тектоникой и сделаны соответствующие выводы касающиеся оценке условий возникновения землетрясения.

Ключевые слова. Тектонические движения, структура, разлом, неотектонические движения, землетрясения, афтершок, форшок.

Nurmatov U.A., Sadykov Yu.M., Yusupdjanova U.A.

Institute of Seismology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Seismotectonic and seismological conditions of the occurrence of the Bakhmal earthquake of September 29, 2017.

Annotation. The article presents the results of a study of the geological-geophysical, seismotectonic, seismological conditions of the Bakhmal earthquake. The spatial and temporal sequences of earthquakes that occurred before the main shock, as well as aftershocks and subsequent events were studied. A comparative analysis of the position of the source area with fault tectonics is carried out and the corresponding conclusions are drawn regarding the assessment of the conditions for the occurrence of an earthquake.

Keywords. Tectonic movements, structure, fault, neotectonic movements, earthquakes, aftershock, foreshock.

Введение. Первые результаты исследований условий формирования Бакмальского землетрясения 29 сентября 2017 г. с $M=5.1$ приведены в работе [1]. Информационную основу этой статьи составили результаты макросейсмических и сейсмотектонических исследований, полученные в эпицентральной зоне землетрясения. По результатам макросейсмических исследований эпицентр землетрясения приурочен к южному склону Молгузарских хребтов. Инструментальный эпицентр землетрясения, по данным Республиканского Центра сейсмопрогностического мониторинга МЧС Руз, расположен между Южно-Ферганской и Северо-Куджуктау-Туркестанской сейсмогенными зонами. Расстояние эпицентра землетрясения от Южно-Ферганского глубинного разлома равняется 20 км, а от Южно-Туркестанского – 5 км. По результатам Р.Н.Ибрагимова и др.[2] оба разлома имеют южное падение с углом 65-70°. С учетом морфологии разломов в работе [1] отмечено, что землетрясение вызвано вследствие активизации Южно-Ферганского глубинного разлома. В пользу такого утверждения вступали также характер проявления сейсмического эффекта на поверхности. В пределах территорий, приуроченных к лежащему крылу Южно-Ферганского разлома (район Зомина, киш.Аччи, Карамазар и др.)

интенсивность землетрясения относительно слабее, чем на висячем крыле (Усман, киш. Бахмал, Мугал, Зартепа и др.). Отмечено, что Молгузарская структура, расположенная на висячем крыле Южно-Ферганского разлома, сыграло экранирующую роль в распространение сейсмических сотрясений [1]. Необходимо отметить, что использованные в работе [1] инструментальные параметры землетрясения были предварительными. В дальнейшем эти параметры были уточнены путем привлечения для обработки данных других сейсмических станций. Результаты окончательного определения координат эпицентра показали, что он приурочен к Северо-Кулджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоне, обусловленной Северо-Кулджуктау-Зарафшанским разломом [2]. Ретроспективный анализ каталога землетрясений Узбекистана за период 2016–2018 гг. показал, что до возникновения Бахмальского землетрясения между Южно-Ферганской и Северо-Кулджуктау-Туркестанской сейсмогенными зонами возникли более 10 землетрясений умеренной силы ($4.5 \geq M \geq 2.0$), которые могли быть форшоками происшедшего землетрясения. Кроме того, за прошедшее время в пределах очаговой области зарегистрирован ряд автершоков Бахмальского землетрясения. Анализ особенностей проявления возникших до главного толчка землетрясений и автершоков может внести определенное уточнение на результаты оценки сеймотектонических условий возникновения землетрясения.

Исходя из сложившейся обстановки, **цель настоящих исследований** направлена на изучение пространственного, временного распределения возникших до главного толчка землетрясений, происшедших афтершоков и последующих землетрясений с привлечением материалов по разломной тектонике, сейсмичности и др. информации и выявлять сеймотектонических и сейсмологических особенностей очаговой зоны и условий возникновения Бахмальского землетрясения.

Результаты анализа. В первую очередь были анализированы особенности распределения землетрясений возникших до главного толчка в пределах очаговой области Бахмальского землетрясения и на сопредельных территориях. На Рис. 1 площадь возникновения этих землетрясений околнурена овальной линией. На рисунке также приведены основные сейсмогенные зоны изучаемой территории и сопредельных территорий, эпицентры исторических землетрясений, землетрясений, возникших в пределах эпицентральной области Бахмальского землетрясения за период 2016–2020 гг. Цифры рядом с эпицентром на рисунке указывают на последовательность возникновения землетрясений по каталогу РЦСП МЧС РУз[3].

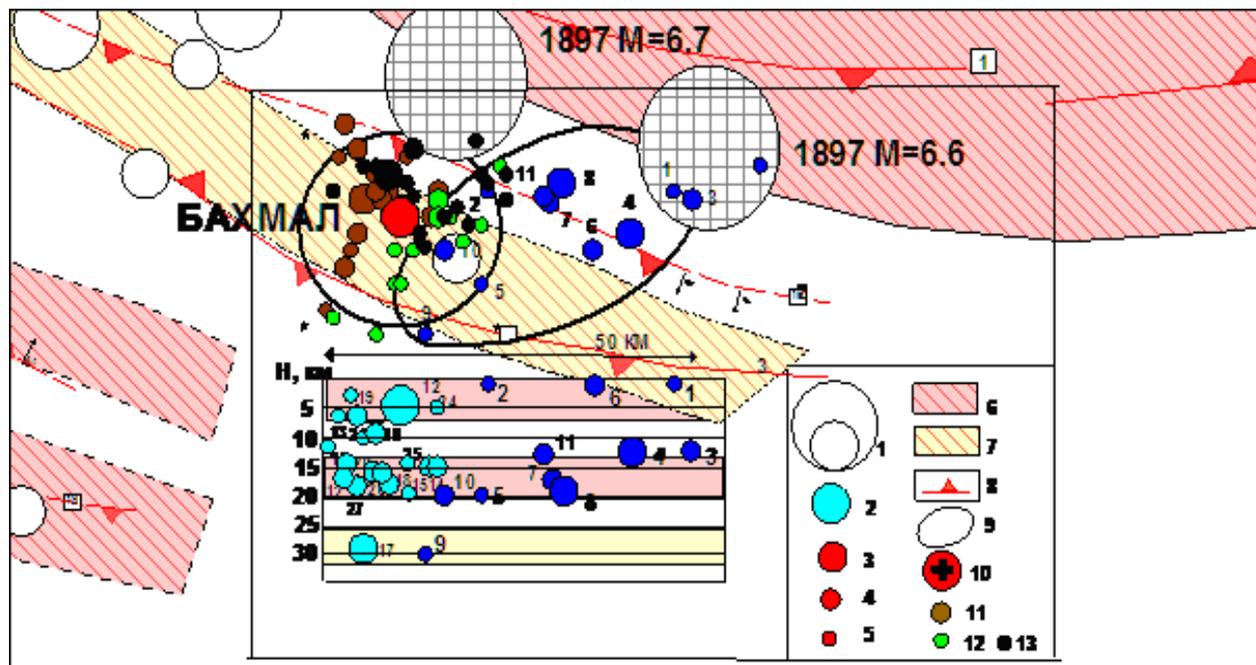


Рис.1. Пространственное и временное распределение эпицентров землетрясений в районе возникновения Бахмальского землетрясения в период 2016–2017 гг.

Эпицентры землетрясений с M : 1 – исторических землетрясений с $M \geq 5.0$ и ≥ 6.0 ; 2 – с $M \geq 5.0$; 3 ≥ 4.0 ; 4 ≥ 3.0 ; 5 – 2.0; 6–7 – сейсмогенные зоны с сейсмическим потенциалом $M \geq 6.5$ и $M \geq 6.0$; 8 – разломы земной коры (1 – Южно-Ферганский; 2 – Южно-Туркестанский; 3 – Северо-Кулджуктау-Зарафшанский); 9 – условная граница возникновения форшоков; 10 – эпицентр Бахмальского землетрясения; 11 – эпицентры автершоков; 12 – эпицентры землетрясений, возникших в 2019 г.; 13 – эпицентры землетрясений, возникших в 2020 г.

Анализ результатов приведенных на рис.1 показывает, что перед возникновением Бахмальского землетрясения наблюдалась некоторое увеличение слабой сейсмичности в межразломном пространстве с частичным охватом обеих сейсмогенных зон. Активизация началась в первом квартале 2016 г. возникновением слабого землетрясения в очаговой области Уратепинского землетрясения 1897 г. В третьем квартале этого года в межразломном пространстве возникли еще 5 землетрясений. Самое сильное из них имело силу $M=4.0$. Две из них возникли на расстоянии 10 и 12 км от очага Бахмальского землетрясения. Последующие 5 землетрясений возникли в первом и во втором квартале 2017 г. Самое близкое из них возникло на расстоянии 5 км от очага Бахмальского землетрясения. По данным Ю.В.Ризниченко размеры очага землетрясения определяется выражением $\lg L = 0.440 \cdot M_w - 1.289$. Согласно этому, выражения размера очага Бахмальского землетрясения с $M=5.1$ доходят до 10-11 км. [4]. На Рис.1 видно, что из 12 землетрясений минимум 4 произошли в пределах этого размера.

Большинство исследователей считают, что область распространения афтершиковой последовательности землетрясений является тем объемом земной коры, в пределах которого происходит процесс перераспределения и снятия накопленного в очаговой области напряжений [5]. Следовательно, события, возникшие до основного землетрясения в пределах области распространения афтершиков, можно включить в число форшоков этого землетрясения. По данным Т.К.Gardner and L.Кнорроф [6], размер области распространения афтершоков землетрясения с $M=5.0$ равняется 40 км. Если исходить из этой позиции, то все землетрясения, возникшие в третьем квартале 2016г. и трех кварталов 2017 г., с достаточной уверенностью можно отнести к форшокам Бахмальского землетрясения.

Таким образом, почти за год до возникновения Бахмальского землетрясения в ее области подготовки начали проявляться форшоковая активность. Активизация охватила все сейсмогенные слои очаговой области, начиная от 5–7км до 25–30 км.

Характерным является наличие направленности в расположении эпицентров землетрясений. Площадь возникновения землетрясений имеет северо-восточное простирание и пересекает межсейсмогенное пространство. Распределение землетрясений по глубине также имеет северо-восточное простирание. Начиная с очаговой зоны Уратюпинского землетрясения 1897 г., т.е. с Южно-Ферганской сейсмогенной зоны очаги землетрясений постепенно углубляются в юго-западном направлении. Самое глубокое из них возникло на глубине 30 км почти под очагом Бахмальского землетрясения. На первый взгляд кажется, что возмущения активности начался со стороны Южно-Ферганского разлома.

Проанализируем теперь особенности пространственно-временного распределения афтершоков и последующих землетрясений, возникшие в пределах очаговой области Бахмальского землетрясения. На Рис.1 приведены пространственное распределение эпицентров землетрясений за период 2017–2020 годы. Из литературных данных известно, что характерное время афтершоковой активности зависит от энергии главного толчка и изменяется от нескольких дней до нескольких месяцев и нескольких годов. По данным [6] характерное время афтершоковой последовательности землетрясения с $M=5.0$ равняется $t=155$ дней. На Рис.1 разными цветами приведены эпицентры землетрясений, возникшие в течение 2017 (Шкв) – 2018, 2019 и 2020 гг. Там же приведены распределение очагов землетрясений за период 2017(Шкв) – 2018гг. по глубине. Как видно из рисунка эпицентры афтершоков и последующих землетрясений, возникшие в 2017–2018гг. пространственно расположены в северо-восточном направлении. Кроме того, все они произошли к западу от главного толчка. Ряд из них произошли вне сейсмогенной зоне. Обращает на себя внимание то, что пространственное положение эпицентров землетрясений 2019 года также имеют северо-восточное простирание. Однако на этот раз все они произошли к востоку от эпицентра главного толчка. В отличие от предыдущих годов в 2020 году пространственное расположение эпицентров землетрясений не имеет конкретной направленности, но все они приурочены к северу от главного толчка к межсейсмогенной зоне.

В последовательности возникновения афтершоков по глубине наблюдается следующая особенность. Основная их масса проявляется в пределах трех основных сейсмогенных слоев. Глубина первого слоя достигает до 7 км. В пределах этого слоя возник очаг главного землетрясения. Следующий сейсмогенный слой расположен на глубине 12-20 км. Большая часть относительно сильных афтершоков происходила в этом слое. Третий сейсмогенный слой расположен на глубине 25-30 км. Самый сильный афтершок Бахмальского землетрясения с $M=4.0$ с $H=29$ км возник в этом сейсмогенном слое. Необходимо отметить, что происшедшие форшоки землетрясения тоже концентрировались в пределах этих трех сейсмогенных слоев.

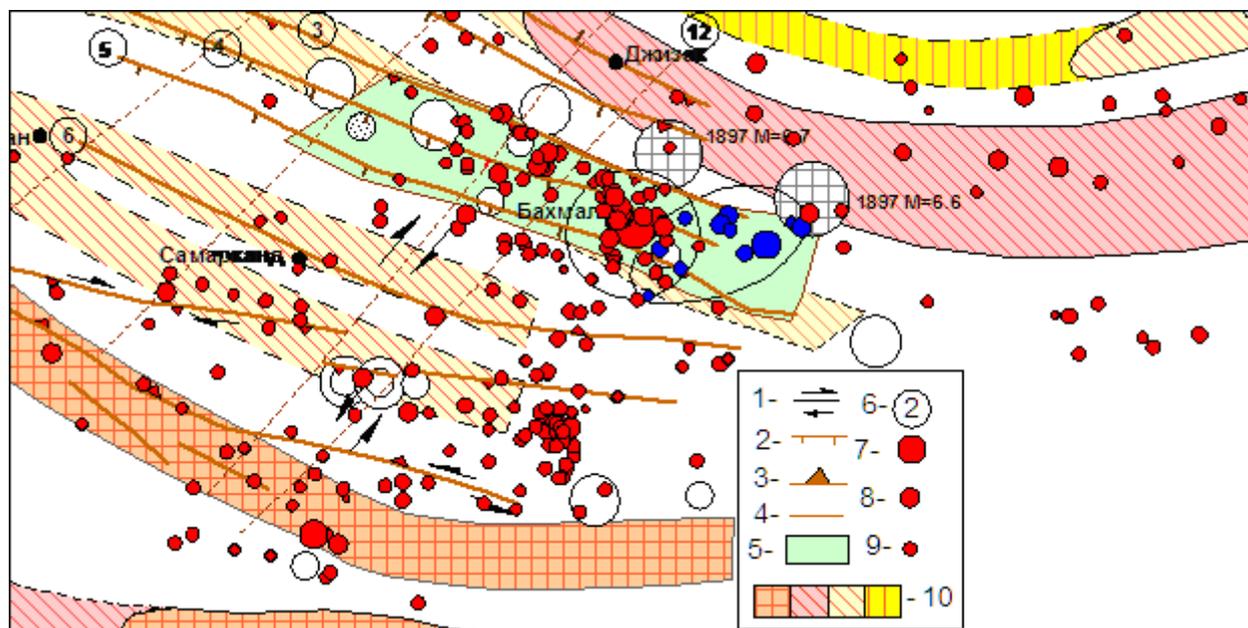
Таким образом, из полученных результатов можно заключить, что в период подготовки и возникновения Бахмальского землетрясения в напряженном состоянии находилась вся 30 километровая толща земной коры. В течение 1,5 лет основная часть накопленного напряжения разрядилась афтершоками и самостоятельными землетрясениями, эпицентры которых расположены в северо-восточном направлении. При этом разрядка происходила поочередно сначала в западных от главного толчка участках, а затем – в восточных. Направленность пространственного расположения эпицентров и очередность их возникновения в сторонах от главного толчка свидетельствует о том, что при подготовке и возникновении Бахмальского землетрясения помимо процессов, происходящих в разломных зонах северо-западного простирания, участвовали неоднородности или процессы, развивающиеся в северо-восточном направлении. По всей видимости, очаговая зона поочередно раздроблена в северо-восточном направлении.

Проанализируем теперь сейсмотектонические особенности очаговой области Бахмальского землетрясения. На Рис.1 приведены активные новейшие разломы, которые Р.Н.Ибрагимовым и др.[2] были приняты в качестве геологической основы выделенных сейсмогенных зон территории. Из рисунка видно, что Северо-Кулджуктау-Зарафшанский разлом был принят за основу выделения Северо-Кулджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоны, к которой приурочено Бахмальское землетрясение. Однако, по оценкам Р.Н.Ибрагимова, юго-восточная часть Южно-Туркестанского разлома не считалась активной или сейсмогенной. Основной причиной этого было недостоверное выделение большинства разломов территории Западного Узбекистана, в том числе и Южно-Туркестанского разлома. Результаты последних исследований проведенные с целью составления сейсмотектонической модели центральной части Узбекистана с привлечением материалов по глубинному строению, геофизических полей, нео- и современной тектонике, сейсмичности и др. позволили внести некоторые коррективы на характеристики и пространственного положения разломов [7]. На Рис.2 приведен фрагмент составленной сейсмотектонической модели, который включает область возникновения Бахмальского землетрясения. Из рисунка видно, что район возникновения Бахмальского землетрясения приурочен к зоне включающий три системы разломов – Северо-Актау-Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарского (Южно-Туркестанский по Ибрагимову и др.[2]), Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарского и Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанского [7]. Морфологически все разломы представляет собой сбросы с южным падением сместителя. При такой морфологии разломов обусловленная ими сейсмогенная зона должна включить в себе все площади расположенные к югу от линии разлома. Наличие многочисленных эпицентров землетрясений в пределах зоны динамического влияния разломов свидетельствует об их сейсмогенности. Однако в варианте карты Ибрагимов и др. [2]) Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарский разлом вообще отсутствует, а юго-восточная часть Северо-Актау-Северо Карачатау-Северо-Мальгузарского разлома не считалась сейсмоактивной. Исходя из представленных данных, можно предположить, что сейсмогенная зона этой части территории намного шире, чем в [2] (см.рис.2). Кроме того, судя по расположению эпицентров форшоковых землетрясений, направленности эпицентров афтершоков Бахмальского землетрясения кажется, что Северо-Кулджуктау-Туркестанская сейсмогенная зона северо-западного простирания на этой части пересекается с неоднородностью северо-восточного направления, которая оказывает значимое влияние на напряженное состояние очаговой зоны.

Геофизическими исследованиями в пределах Западного Узбекистана выделен ряд разломов северо-восточного простирания. Наиболее ярко выраженный из них Северный краевой разлом Тянь-Шаня (по Б.Б.Таль-Вирскому [8]) или Западно-Тянь-Шанский (по [7]) находится на расстоянии около 5 км к западу от эпицентральной зоны Бахмальского землетрясения. Если считать среднюю ширину зоны динамического влияния разломов Западного Узбекистана равным 20 км [9], то с достаточной уверенностью можно утверждать, что эпицентральной областью

Бахмальского землетрясения находится в зоне динамического влияния Северного краевого разлома Тянь-Шаня.

По результатам исследований Северный краевой разлом Тянь-Шаня протягивается от Приташкентской флексурно-разрывной зоны на северо-востоке до Лянгар-Караильской флексурно-разрывной зоны на юго-западе.



Условные обозначения: 1 – разломы земной коры, выделенные геофизическими методами; разломы земной коры: 2 – сбросы; 3 – взбросы; 4 – неопределенной морфологии; 5 – предлагаемы вариант сейсмогенной зоны; 6 – номер разлома; эпицентры землетрясений с $M: 7 \geq 4.0$; $8 \geq 3.0$; $9 \geq 2.0$; 10-сейсмогенные зоны по [2].

Рис.2. Сейсотектоническая обстановка эпицентральной зоны Бахмальского землетрясения и сопредельных территорий.

Эта протяженная зона разлома, разделяющая орогенные области Тянь-Шаня и Памира от равнинных территорий Туранской плиты, по всей видимости, играет определяющий роль в проявлении современной сейсмичности в зонах своего динамического влияния, т.е. в тех участках, где он пересекается с разломами формирующие сейсмогенные зоны. Об этом свидетельствуют возникшие в этом направлении Бахмальские землетрясения 1935 и 1955 гг. с $M=5.3$ и 5.2 , Галляаральские 1974 г. с $M=5.0$ и 1984 г. с $M=5.2$, Китабское землетрясение 2016 г. с $M=5.0$. Все эти землетрясения составляют единую цепочку землетрясений расположенные по простиранию зоны динамического влияния Северного краевого разлома Тянь-Шаня. Характерным является то, что изосейсты большинства этих разломов имеют северо-восточное направление. В качестве примера на Рис.3 приведен изосейста.

Как видно из рисунка, хотя направления сейсмогенной зоны, куда приурочен очаг землетрясения, имеет северо-западное простирание, его изосейста направлен на северо-восток. Аналогичная картина наблюдается и в эпицентральной области Маржанбулакского землетрясения (Рис.4). Направленность изосейст перечисленных землетрясений на северо-восток свидетельствует о том, что направленность пространственного распределения афтершоков Бахмальского землетрясения не является случайностью. Существует точка зрения о том, что очаги сильных землетрясений приурочиваются к месту пересечения крупных разломов земной коры. Составлены теоретические модели зацепов, в которых объясняется механизм работы пересечений [10]. Наблюдаемая в зоне Северного краевого разлома Тянь-Шаня картина свидетельствует о том, процесс взаимодействия двух пересекающихся зон имеет не линейный, а объемный характер.

По всей видимости, в реальных геодинамических ситуациях направления главного разлома с которым связана сейсмогенная зона не является определяющим, и условия возникновения землетрясений будет диктоваться действием преобладающих в настоящее время сил северо-

восточного простираия.

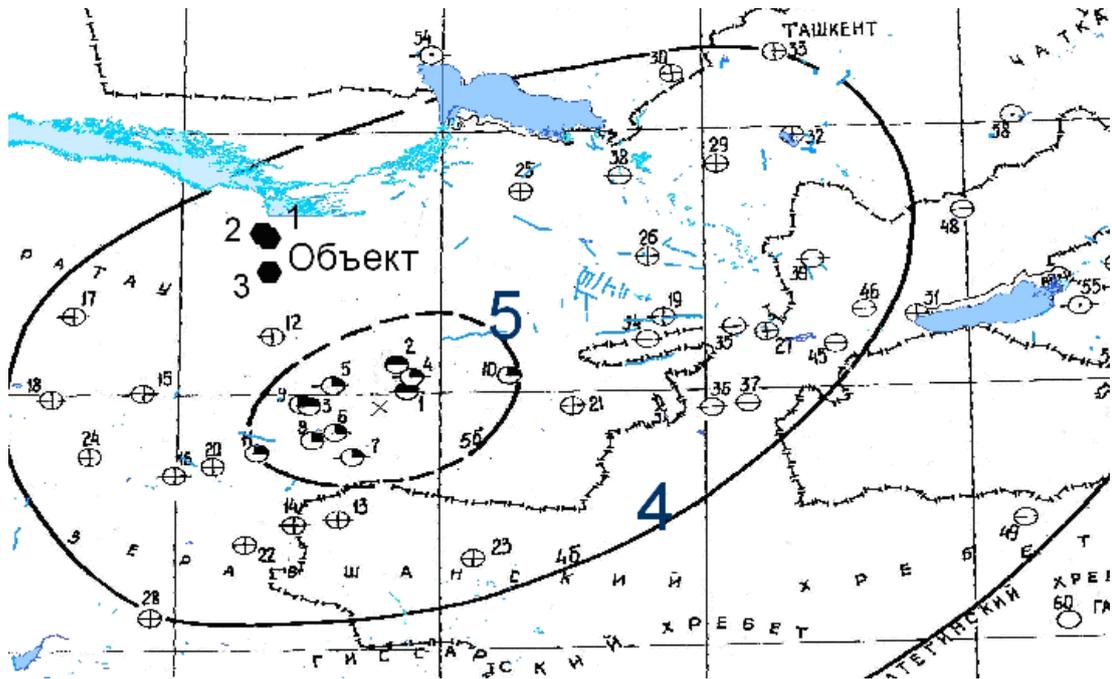


Рис.3. Карта изосейст Галляаральского (Джизакского) землетрясения 1984 года с магнитудой $M_L=5.2$ (с работы Артыкова и др.)

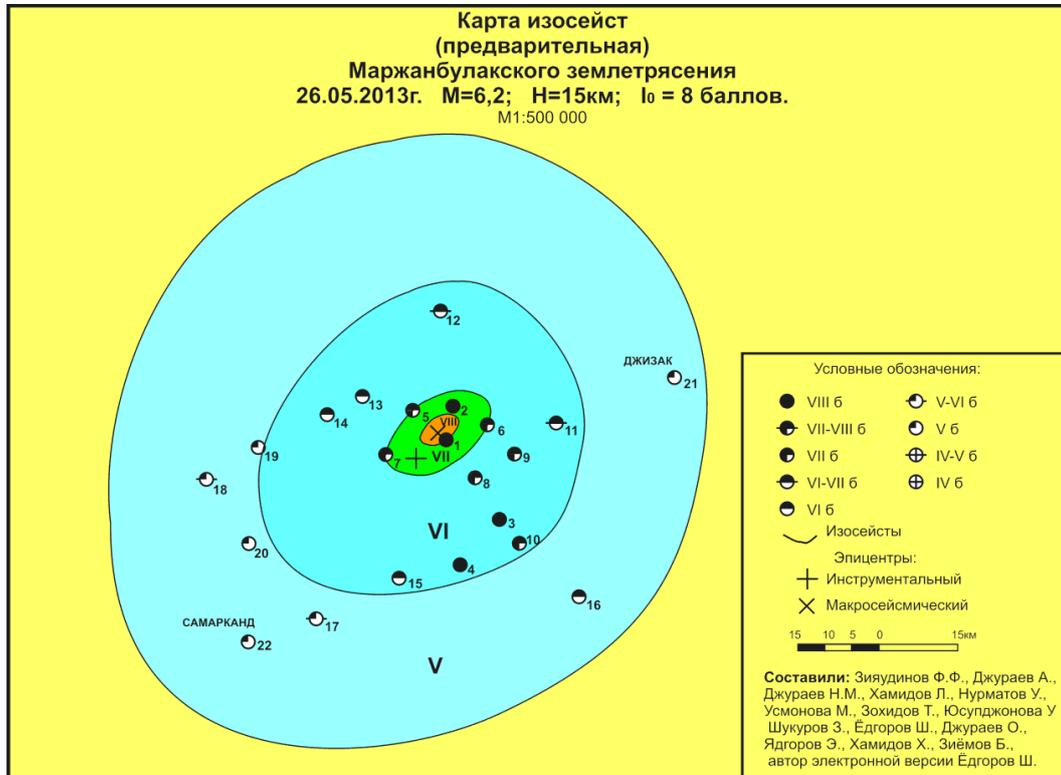


Рис. 4. Карта изосейст Марджанбулакского землетрясения 2013 года с магнитудой $M_L=6.1$ Галляаральского землетрясения 1984 г. (Рисунок заимствован из работы Т.У. Артыкова, Р.С. Ибрагимова и др.)

С этой позиции можно утверждать, что в настоящее время в центральной части Узбекистана вклад сил действующих в северо-восточном направлении являются преобладающим, и они играют главенствующую роль в процессе подготовки и возникновении землетрясений.

Таким образом, полученные основные результаты можно сформулировать следующим и:

- за год до возникновения Бахмальского землетрясения в ее области подготовки начала проявляться форшоковая активность;

- в период подготовки и возникновения Бахмальского землетрясения в напряженном состоянии находилась вся 30 километровая толща земной коры. Основная часть накопленного напряжения разрядилась афтершоками и самостоятельными землетрясениями, эпицентры которых расположены в северо-восточном направлении;

- разрядка напряжений происходила поочередно сначала в западных от главного толчка участках, а затем в восточных. Направленность пространственного расположения эпицентров и очередность их возникновения в сторонах от главного толчка свидетельствует о том, что при подготовке и возникновении Бахмальского землетрясения помимо процессов, происходящих в разломных зонах северо-западного простирания, участвовали неоднородности или процессы, развивающиеся в северо-восточном направлении.

- особую роль в возникновении Бахмальского землетрясения играл Северный краевой разлом южного Тянь-Шаня;

- в настоящее время в центральной части Узбекистана вклад сил действующих в северо-восточном направлении являются преобладающими, они играют главенствующую роль в проявлении современной сейсмичности центральной части Узбекистана.

Работа выполнена в рамках фундаментального гранта №ФА-Ф—8-006.

Литература

1. Исмаилов В.А., Нурматов У.А., Ибрагимов А.Х., Хусомиддинов А.С. О последствиях Бахмальского землетрясения 29 сентября 2017 года. Геология и минеральные ресурсы. №1, 2018. С.35-39.
2. Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений. Отв. ред. Абдуллабеков К.Н., Ташкент, ГИДРОИНГЕО, 2002. 132 с.
3. Оперативные бюллетени КОМЭ ИС АН РУз и РЦСМ МЧС РУз. 2016-2020 гг.
3. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 9–27.
4. Пшенников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. М.: Наука, 1965. 87 с.
5. Gardner T.K. and Knoppof L. Is The of earthquakes in southern California. Wiht aftershoe removed, polssonian bulletin of the Seismological Society of America. 1974.vol/64, 5, p.1363-1366.
6. Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У.А. Сейсмотектоническая модель центральной части Узбекистана. Проблемы сейсмологии, №1, т.2, 2020. С.32-39.
7. Таль-Вирский Б.Б. геофизические поля и тектоника Средней Азии. М.: Недра, 1982. 271 с.
8. Нурматов У.А., Юсупджанова У.А., Фатхуллаева З. Оценка зоны динамического влияния крупных разломов Центрального Кызылкума и сопредельных территорий. Сб. докл. межд. конф. Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии. Ташкент, 2018. С.230-234.
9. Уломов В.И. Очаговая сейсмичность и долгосрочный прогноз землетрясений. //Проблемные вопросы сейсмологии Средней Азии. Ташкент, Фан, 1988.С.32-87.

УДК 550.34

¹Хамидов Л.А., ²Алимухамедов И.М., ¹Хамидов Х.Л., ¹Артиков Ф.Р.,
¹Ганиева Б.Р., ³Анварова С.Р., ³Ибрагимов Ф.И.

¹Институт Сейсмологии им.Г.А. Мавлянова, Академия наук РУз;

²Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития РУз;

³Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека.

МОДЕЛИ ВАРИАЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЛОКАЛЬНУЮ ГЕОДИНАМИКУ ЗОН ИХ АКТИВНОГО ВЛИЯНИЯ

**Xamidov L.A., Alimuxamedov I.M., Xamidov H.L., Artikov F.R.,
Ganieva B.R., Anvarova S.R., Ibragimov F.I.**

¹G'.O. Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi;

²O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi Ilg'or texnologiyalar markazi;

³Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

Yirik suv omborlari asosidagi kuchlanganlik-deformatsiyalanish holati o'zgarishining ularning yaqin atrofi lokal geodinamikasiga ta'siri modellari

Аннотация. Мақоллада О'zbekistondagi yirik suv omborlariga yaqin hudularda baholangan deformatsiyalar, geodezik o'lchovlar natijalarini tahlil qilish asosida yirik suv omborlaridan foydalanilayotganda uning asosi va qirg'oq nishabliklari o'zgaruvchan suv hajmiga bog'liq bukilib siljish amplitudalariga mos keladigan siquvchi va cho'zuvchi kuch yuklanishlari ta'sirida bo'lishi izohlangan. Yirik suv omborlari asosidagi tog' massivlarining deformatsiyalari tektonik zilzilalar o'choqlarining maksimal deformatsiya miqdorlariga to'g'ri kelishi mumkinligi ko'rsatilib, ular yer qobig'ining seysmik faol qatlamidagi muntazam ravishdagi kuchlanish va deformatsiyalanish holatiga va fondagi geodinamik harakatlariga bevosita ta'sir qilishi mumkinligi asoslangan. Tadqiqot maqsadi yirik gidrotexnik inshootlarni kesib o'tadigan seysmik faol yoriqlar hududlari uchun matematik fizika masalalarini tuzib yechimini aniqlash va shu asosda yirik suv omborlarining deformatsion ta'sir hududlarida geodinamik jarayonlarning rivojlanishini tadqiq etishga qaratilgan. O'zbekistonning qator yirik suv omborlari yaqin hududlarida o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida seysmologik, geodezik va boshqa parametrlar bilan mahalliy geodinamik maydonidagi o'zgarishlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik tafsiflandi. Kuzatilgan seysmik faollik, bir necha yirik suv havzalarining yaqin hududlaridagi siljish miqdorlarini tahlillash natijalari suv hajmining o'zgarishlaridan hosil bo'ladigan asosdagi ustama deformatsiyalar mahalliy kuchsiz zilzilalarning faollashuviga olib kelayotgan bo'lishi mumkinligi ko'rsatildi. Ularning chiziqli bo'lmagan xarakterga ega ekanligi va boshqa ta'sir etuvchi omillar, ya'ni ustama kuch yuklanishi, mahalliy zaif tektonik yoriqlar mavjudligi, suvga to'yinganlik ta'siri va g'ovaklarda ichki bosimning o'zgarishi bilan bog'liqligi izohlandi.

Калит so'zlar: qonuniyatlar, siqish, deformatsiya, suv omborlari, seysmologik parametrlar, siljish, geodezik o'lchovlar, suv sathi.

**Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р.,
Ганиева Б.Р., Анварова С.Р., Ибрагимов Ф.И.**

¹Институт Сейсмологии им.Г.А. Мавлянова, Академия наук РУз;

²Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развитияРУз;

³Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека;

Модели вариации напряженно-деформированного состояния оснований крупных водохранилищ, воздействующих на локальную геодинамику зон их активного влияния

Аннотация. В статье анализируя результаты оценки деформаций, геодезических измерений в ближних зонах водохранилищ Узбекистана изложено, что при эксплуатации крупных водохранилищ его основание и береговые склоны находятся в поле действия нагрузок сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания при вариации объема воды. Показано, что деформации горных массивов на основаниях крупных водохранилищ могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярное напряженно-деформированное состояние и фоновые геодинамические движения близ лежащего сейсмически активного слоя земной коры. Целью исследования является выявление закономерностей развития геодинамических процессов в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ, решая задачи математической физики для конкретных сейсмически активных разломных зон пересекающих основания крупных гидротехнических сооружений. Определены связи между сейсмологическими, геодезическими и другие параметрами изменения локального геодинамического поля полученных наблюдениями, проведенными в ближних зонах ряда крупных водохранилищ Узбекистана. Анализ результатов обработки наблюденных за сейсмической активностью,

смещениями в ближних зонах нескольких крупных водохранилищ и оценок местных дополнительных деформаций показал наличие влияния изменения уровня воды в водохранилищах на активизацию локальных слабых землетрясений. Разъяснено, что они имеют нелинейный характер и связаны с другими влияющими факторами: дополнительной нагрузкой, наличием местных слабо активных тектонических разрывов, обводнением и изменением порового давления.

Ключевые слова: закономерности, сжатие, деформация, водохранилища, сейсмологические параметры, смещение, геодезические измерения, уровень воды.

**Khamidov L.A., Alimukhamedov I.M., Khamidov Kh.L., Artikov F.R.,
Ganieva B.R., Anvarova S.R., Ibragimov F.I.**

¹*Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan;*

²*Center of Advanced Technologies under the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan;*

³*National University of Uzbekistan Mirzo Ulugbek;*

Models of variation of the stress-strain state foundations of large reservoirs affecting local geodynamics zones of their active influence

Annotation. The analysis of the results of assessing deformations, geodetic measurements in the near zones of reservoirs in Uzbekistan states, that during the exploitation of large reservoirs, its base and coastal slopes are in the field of action of compression and tension loads of the corresponding intensity of the base bending amplitudes with varying of water volume. It is shown that deformed mountain massifs of the bases of large reservoirs can correspond to the limiting tectonic focal deformations of the state, affecting the regular stress-strain and background geodynamic movements near the lying seismically active layer of the earth's crust. The aim of the study is to identify the regularity in the development of geodynamic processes in the deformational effected zones of large reservoirs, solving problems of mathematical physics for specific seismically active fault zones crossing the base of large hydraulic structures. Relationships between seismological, geodetic and other parameters of changes in the local geodynamic field, which were obtained by observations carried out in the near zones of a several large reservoirs in Uzbekistan, have been determined. Analysis of the results of processing observations of seismic activity, displacements in the near zones of several large reservoirs and estimates of local additional deformations showed the presence of the influence of the water level changes in reservoirs to the activation of local weak earthquakes. It is explained, that they have a non-linear characteristics and are associated with other influencing factors: additional load, the presence of local weakly active tectonic ruptures, flooding and changes in pore pressure.

Key words: regularity, compression, deformation, reservoir, seismological parameters, displacement, geodetic measurements, water level.

Введение. Из истории за ближайшие сто лет можно привести много примеров нарушения геодинамического равновесия в зонах влияния крупных водных резервуаров. Землетрясения являются основным индикатором нарушения этого равновесия. Оно особенно чувствительно в зонах активного влияния крупных водохранилищ. В статье отражены основные результаты научных исследований, выполненных в рамках постановления Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 г № ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» [1]. Вопросы обеспечения сейсмической безопасности зон деформационного влияния водохранилищ, в последнее десятилетие становятся все более значимыми при анализе техногенных катастроф. Они обусловлены в основном неглубинными геодинамическими процессами и локального напряженно-деформированного состояния меняющегося при эксплуатации водохранилищ. Они происходят как вне зависимости от деятельности человека, так и в зависимости от уровней антропогенных воздействий. Землетрясения техногенного характера по своим разрушительным последствиям и количеству человеческих жертв занимают не последнее место среди других природных катастроф. Поэтому этим проблемам во всем мире уделяется большое внимание. Особенно в странах, на территории которых имеются сейсмические зоны, активность которых существенно превышает уровень регулярности геодинамического равновесия. Для сейсмоопасных регионов Узбекистана особую опасность представляют сейсмические зоны, расположенные в западном Тянь-Шане, Ферганской долине и Южном Узбекистане, включая восточные части Ташкентского и Андижанского областей с высокой плотностью населения, где эксплуатируется ряд крупных водохранилищ.

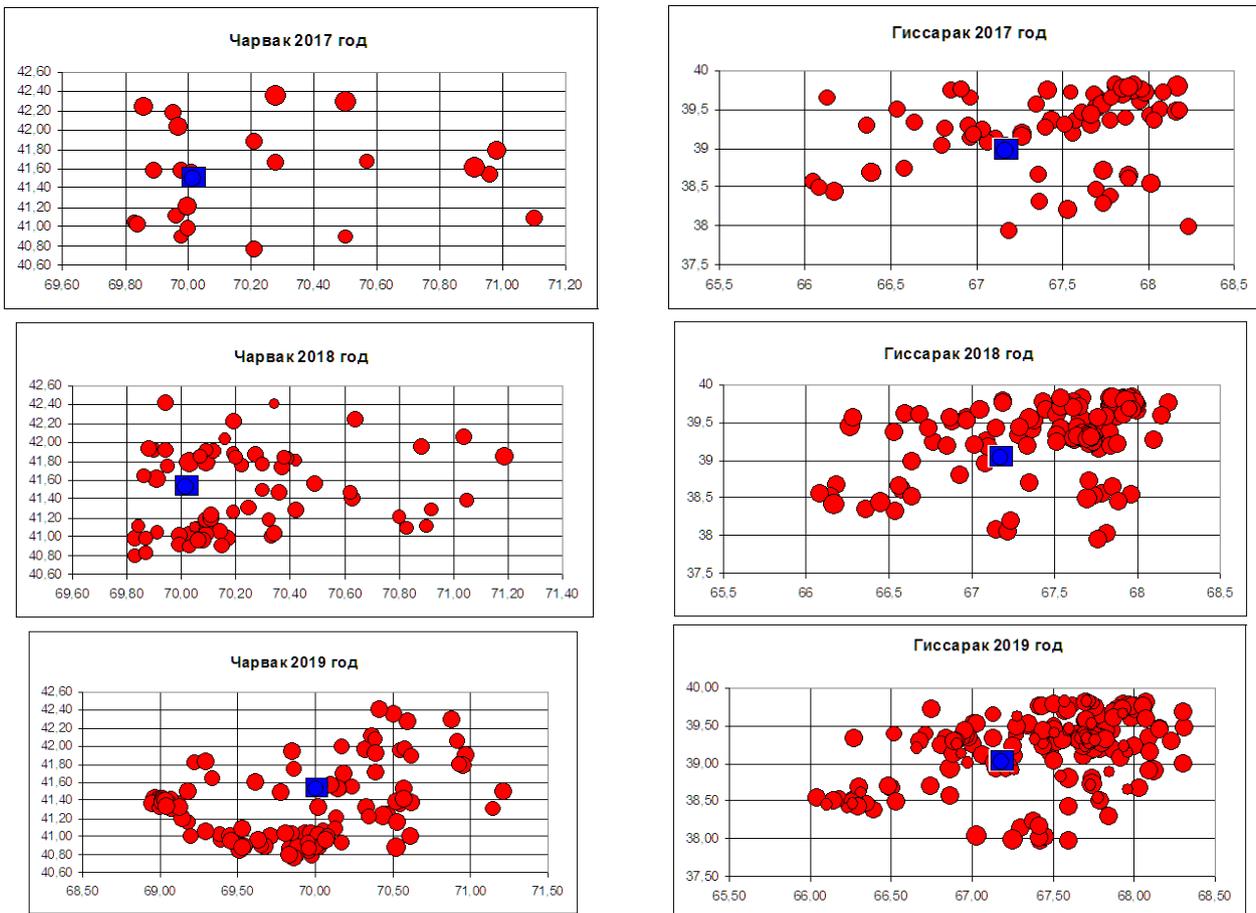
Основной задачей и целью исследований является выявление закономерностей развития геодинамических процессов в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ, решая задачи математической физики для конкретных сейсмически активных разломных зон,

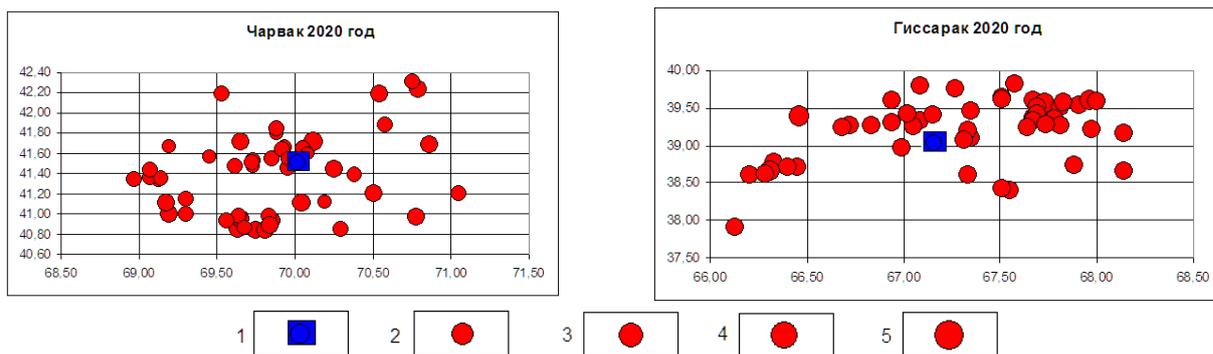
пересекающих основания крупных гидротехнических сооружений.

На первом этапе работ проведен анализ и исследования по имеющимся видам геодинимического мониторинга напряженного состояния недр в зонах влияния крупных водохранилищ. Работа выполнена базируясь на данные, полученные по нескольким методикам. Эти данные получены сейсмологическими, геодезическими, тектонофизическими и другими наблюдениями, проведенными в ближних зонах ряда крупных водохранилищ Узбекистана.

Изменения, происходящие в земной коре под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека, не столь заметны [2]. Однако имеется ряд свидетельств негативного воздействия крупных инженерных сооружений на деформационно-сейсмические режимы [3,4,5]. На крупных водохранилищах мира, таких как Койна (Индия), Кариба (Зимбабве), Мид (США), Токтогуль (Кыргызстан) и др. скорость вертикального движения земной коры составляет 7-10 мм/г [6,7]. Величина пригибания ложа прямо пропорциональна удельной нагрузке воды на единицу площади дна. На водохранилищах с напором в сотни метров (Ингурское – 410, Нурекское – 273, Саяно-Шушенское – 212, Токтогульское – 180 м, Чарвакское – 168 м., Тупалангское – 165 м., Гиссаракское – 145 м., Андижанское – 115 м) поверхность земли прогибается на 20-25 см [6,7,8,9]. Локальные землетрясения, возникающие при заполнении водохранилища, имеют незначительные магнитуды – менее 2 - 2,5, реже проявляются толчки с магнитудой 3.5 – 5.0 и совсем редко 6 – 6.5. Только в 3-х случаях наблюдались разрушительные последствия: в районе водохранилищ Кремаста (Греция), Койна (Индия) и Кариба в Африке [6,10,11]. Использование цифровых станций при локации слабых землетрясений дали возможность составить достаточно устойчивую картину распределения очагов по площади, близких к крупным водохранилищам [12,13] (примеры показаны на Рисунке 1).

Анализ полученных данных за сейсмической активностью показали наличие зависимости между изменением уровня воды в водохранилище и сейсмической активностью слабых землетрясений. Зависимость имеет нелинейный характер и связан с другими влияющими факторами: дополнительной нагрузкой, наличием тектонических разрывов, обводнением, изменением порового давления и т.п. [10,11].





1 – места расположения Чарвакского и Гиссаракского водохранилищ; энергетический класс соответственно: 2 – $K \leq 9$; 3- $K \leq 10$; 4- $K \leq 11$; 5- $K \leq 12$.

Рис.1. Распределения слабых землетрясений для Чарвакского и Гиссаракского водохранилищ по годам.

Оценка характера проявления техногенных землетрясений проделали долгий путь с момента их появления и стали неотъемлемой частью интерпретации сейсмичности вблизи особо важных и крупных водохранилищ. Они использованы также и в наших исследованиях для сейсмических и геофизических прогнозов геодинамики зон влияния резервуаров. Это позволило, наряду с получением достоверных цифровых данных при натурных наблюдениях, выявить современное состояние локальной сейсмичности каждого крупного водохранилища в отдельности при возможных различиях режима эксплуатации.

Анализом результатов оценки деформаций, геодезических измерений в ближних зонах водохранилищ Узбекистана выявлено, что при эксплуатации крупных водохранилищ его основание и береговые склоны находятся в поле действия достаточных низкочастотных нагрузок сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания при вариации объема воды. Деформации основания получились соответствующими предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярное напряженно-деформированное состояние и фоновых геодинамических движений близ лежащего сейсмически активного слоя земной коры [14,15,16].

Поэтому на втором этапе исследований поставлены и решены задачи математической физики для конкретных сейсмически активных разломных зон, моделируя напряженно-деформированное состояние земной коры на примере ближних зон эксплуатируемых водохранилищ Узбекистана. Предполагалось, что нарушения изостатического равновесия в период эксплуатации водохранилища являются основным силовым источником, изменяющим состояние литостатического равновесия в разломах, в которых, как правило, накапливаются достаточно соизмеримые с сеймотектоническими напряжениями усилия. Поэтому, в пределах линейных физических и геометрических связей, с учетом предварительно напряженного состояния поставлены задачи математической физики для конкретных сейсмически активных разломных зон, моделируя напряженно-деформированное состояние земной коры ближних зон эксплуатируемых водохранилищ Узбекистана [17,18,19]. Модуль расчета построена на основании тензоров перемещений 2D-Кельвина и 3D-Купрадзе для одной сосредоточенной нагрузки в качестве компонента модели очага предстоящего землетрясения в поле действующих квазигеостатических сил [17]. Предположено, что жесткое упругое полупространство с напластованными сверху более мягкими плоскопараллельными слоями: ослабленной несколькими не ортогональными (в частном случае ортогональными) цилиндрическими неоднородностями большой протяженности, испытывает на всем протяжении продольный сдвиг, сжатие, на бесконечности задаваемое в виде однородной деформации и вертикальное давление от веса водохранилища.

Пусть полупространство: имеющее внутренние цилиндрические концентраторы напряжений и кусочно-неоднородную весомую среду находится в плоско-деформированном состоянии. Тогда, выбрав центр прямоугольных декартовых координат так, что бы одна ось была направлена по оси концентратора, а остальные – по условию выбора правой системы, придем к статической задаче для уравнения равновесия Ламе [17]:

$$(\lambda + \mu) \text{grad}(\text{div} \mathbf{W}) + \mu \nabla^2 \mathbf{W} = - mgh;$$

где $W\{u,v,w\} : u=u(x,y,z); v=v(x,y,z); w=w(x,y,z)$ компоненты перемещений; λ, μ – упругие постоянные Ламе; с условиями на границе: $\sigma^{(i)}_{mn} = \sigma^{(i+1)}_{mn}$; $W^i_1 = W^i_2$; $\sigma^{(i)}_{ns} = \sigma^{(i+1)}_{ns}$; для сочетания и участков групп концентраторов; $\sigma^{(i)}_{mn} = \sigma^{(i+1)}_{mn}; W^i_1 = W^i_2; \sigma^{(i)}_{mn} = k \sigma^{(i)}_{ns}$ где $\sigma^{(i)}_{jj}$ - jj -тые компоненты напряжений в i -том концентраторе; k – коэффициент Кулона (трения покоя). на свободной поверхности. $\sigma_{nn} = 0$; $\sigma_{ns} = 0$; на границе с основанием водохранилища действует квазистатическая

нагрузка δg_v от давления веса объема $\delta g_v = \frac{1}{4\pi\mu T} \sum_{k=1}^m (P_k \Delta S_k \Delta t_k / S_k^2)$; где $\pi \approx 3,14$; μ – модуль сдвига; T – общее время нагрузки разгрузки на основание; P_k – давление на основание при Δt_k ; ΔS_k – разница изменения площади зеркала при росте k от разных Δt_k ; Δt_k – интервалы от нагрузки до разгрузки (или обратно) времени (всегда $T > \Delta t_k$); S_k^2 – изменения площади зеркала. Дополнительные (местные) напряжения появляются за счет наличия нескольких разрывов:

$$\sigma_{pq} = \sigma^0_{pq} + \sigma^*_{pq} + \sigma^{**}_{pq} + \delta g_v ; p \sim q \sim (1, 2, 3, \dots).$$

Рассчитаны перемещения по схеме «водохранилище + основание» для заданных граничных условий. Точки x_i, y_i, z_i соответствовали точке подвижки от исходной точки по i -той площадке разрыва с падением напряжений $\Delta\sigma$. Концентрация напряжений и дополнительное распределение сил в зонах близких к разломам определялось по схеме «водохранилище + основание» так, чтобы энергия имела значение потенциально возможной соответствующей подвижке. Функция $\sigma_{ij}(u,v,w)$, удовлетворяющая уравнению Ламе для полупространства для выявленных сосредоточенных сил (P, Q, N) и при соответствующем δg_v и $\Delta\sigma_i$, дала картину 2D поля напряженно-деформированного состояния [15,17]. На рисунке 2 показан пример расчета вариации давления (продольных напряжений $\Delta\sigma$) на горные породы за 12 месяцев 2016, 2017, 2018 годов в зоне возможного влияния Гиссаракского водохранилища.

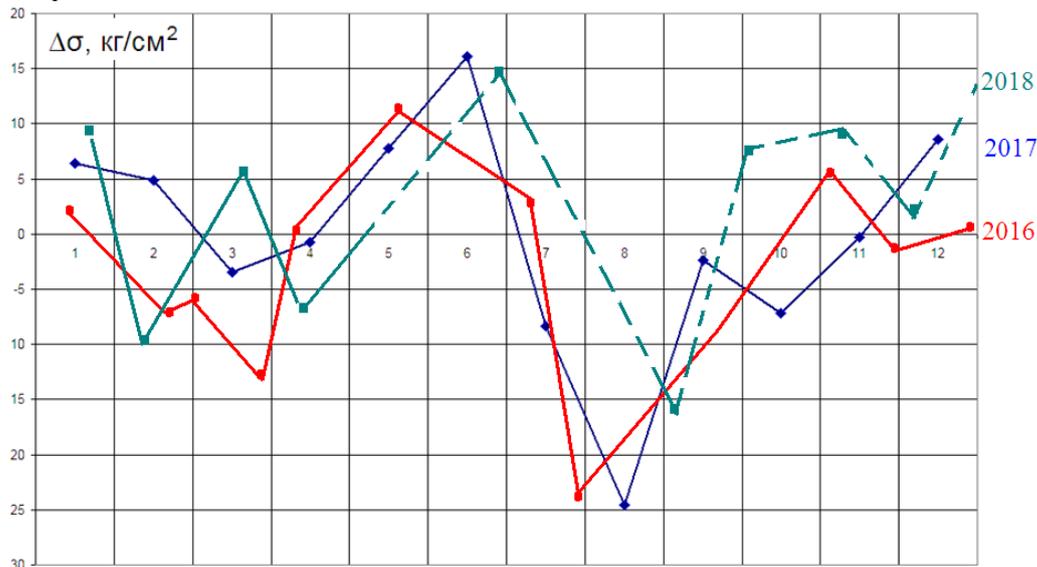


Рис. 2. Расчеты вариации давления (напряжений $\Delta\sigma$) на горные породы за 12 месяцев (2016, 2017, 2018 годы) в зоне возможного влияния Гиссаракского водохранилища.

Используя принцип Сен-Венана, принято, что точки (x_0, y_0, z_0) и (x_{0j}, y_{0j}, z_{0j}) приложения сосредоточенной силы будут находиться в середине разрыва [17,19]. Сопоставление полей касательных напряжений с современной геодинамической обстановкой показали хорошее сходство [20].

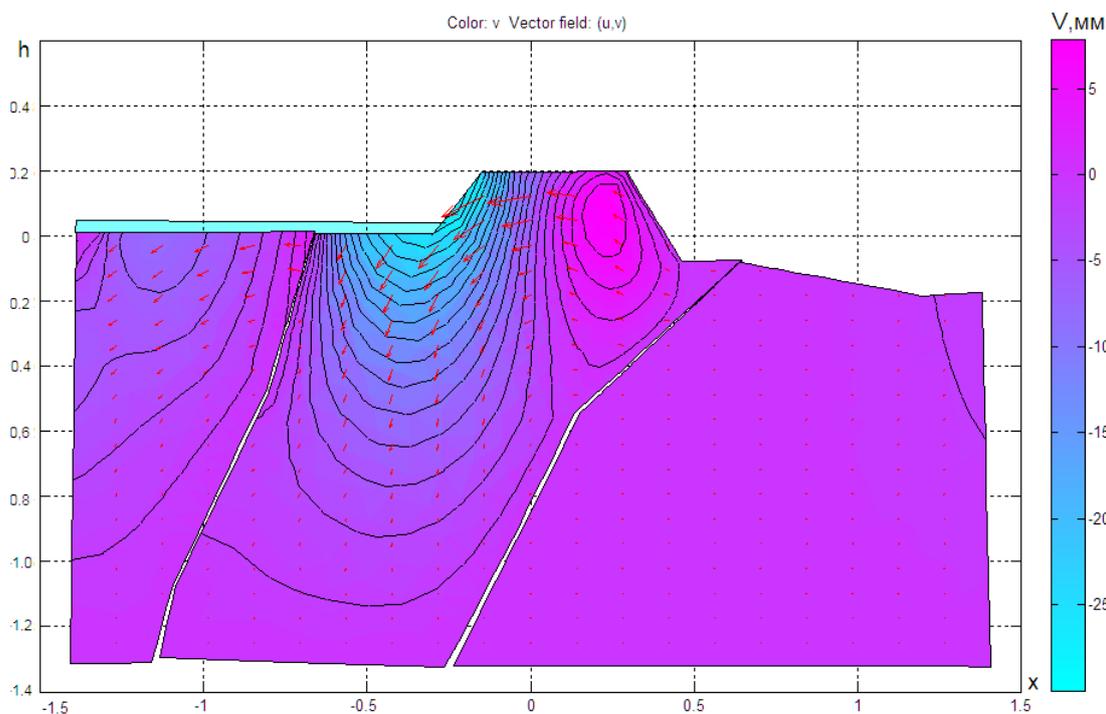
Тестовые расчеты позволили определить варианты постановки краевой задачи математической физики для оценки локального напряженно-деформированного состояния земной коры и разработать основу схемы ее реализации. При этом выявлено, что дополнительные концентрации напряжений в зонах нарушений одинаковых масштабов (размеров) могут локализоваться близко друг от друга и вариация общего объема водохранилищ вероятнее всего может компенсировать давление в ближних участках в пределах нагрузки и разгрузки.

На третьем этапе исследований, основываясь на составленные нами алгоритмы и программные средства расчета, анализированы результаты первичных численных определений полей напряжений и деформаций по зонам активного влияния водохранилищ (программы расчета составлены в среде C++) [17,21,22]. Исследованы инженерно-геодинамические изменения на береговых склонах и возможные распределения напряжений. Определены связи между уровнем напряженно-деформированного состояния и условиями эксплуатации техногенных объектов на примере высоконапорных и крупных водохранилищ Узбекистана.

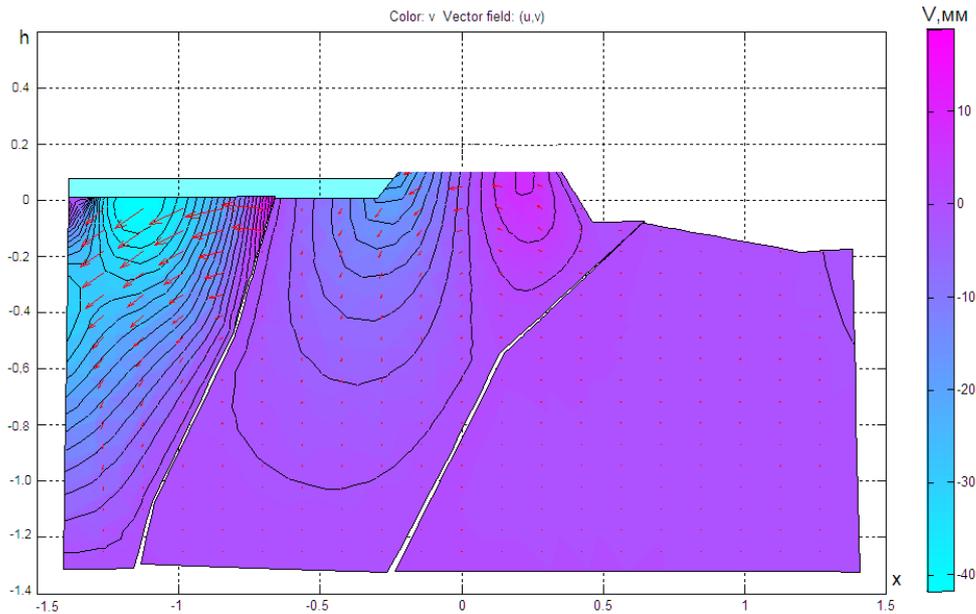
Диапазон изменения кусочных однородностей в составе массива, на границе которых концентрируются напряжения, отличаются определенной неоднородностью физико-механических свойств. Для определения влияния неоднородности массивов на смещения, деформаций и напряжений экспериментально назначены четыре уровня нагрузки. Такая постановка позволила установить зависимость между деформацией и вертикальными нагрузками в привязке к кусочным неоднородностям. Ниже на Рисунке 3 показано распределение вертикальных смещений по глубине при нагрузках от 2 и 10 бар.

Сопоставление результатов, полученных нами полей вертикальных перемещений по глубине основания водохранилища при разных нагрузках, показанных в Рисунке 3 с данными смещения земной коры в результате переменных нагрузок в Чиркейском водохранилище, полученных Ш.Г.Идармачевым, В.И.Черкашиным, М.А.Мусаевым и И.Ш.Идармачевым, в работе показало удовлетворительную согласованность [23,24,25].

Четвертый этап исследований был направлен на выявление закономерности формирования и развития деформационных процессов для оценки уровней геодинамической безопасности зон крупных водохранилищ. Как выявлено выше, на предыдущих этапах, параметры каждого водохранилища, будучи достаточно разнообразными, влияют в земную кору одинаковой силой – вариацией давления на подстилающие горные массивы [17,21,22,24,25]. В результате расчета по моделям [12,13,17], обработки данных [16,24,26,27], материалов из литературных источников [2,5,6,7,11,23] и личных исследований [26,27,28] по водохранилищам нами составлена Таблица 1, где при эксплуатации наблюдаются существенные изменения фоновой сейсмичности в ближней зоне. На основе анализа полученных данных нами составлены графики зависимости между разными показателями для всех водохранилищ по Таблице 1.



а



б

Условные обозначения: а – при 2 бара (20м); б –10 бара (100 м.); h – глубина схемы, где шаг $\Delta h, м=0.2 \times 2000 м=400 м.$; x – ширина схемы, где шаг $\Delta x, м=0.5 \times 2000 м=1000 м.$; V, мм - градация по изолиниям равных вертикальных перемещений.

Рис. 3. Распределение по глубине вертикальных смещений при высоте воды 20м (а) и 100м (б) в водохранилище

Таблица 1. Изменения параметров давления и сейсмичности зон водохранилищ.

№	A	ΔH	ΔP	ΔT	n	$N_{фон}$	N	Δn
1	Синьфын (Китай)	30	0,304	2	12	54	3,5	19
2	Капанда (Ангола)	32	0,324	2	3	18	3,2	-14
3	Кариба (Замбия, Зимбабве)	35	0,355	2	12	58	4,3	15
4	Тупаланг (Узбекистан)	38	0,365	2	5	24	2,9	-5
5	Гиссарак (Узбекистан)	40	0,405	3	3	11	0,9	2
6	Андижан (Узбекистан)	43	0,426	2	8	18	1,3	5
7	Кремаста (Греция)	45	0,456	2	3	8	0,6	2
8	Чарвак (Узбекистан)	50	0,537	2	8	16	0,9	7
9	Саяно-Шушенское (Россия)	58	0,588	3	11	38	2,6	12
10	Мид (Колорадо)	60	0,608	3	18	63	4,6	17
11	Ингурская ГЭС (Грузия)	80	0,811	4	6	11	2,4	-13

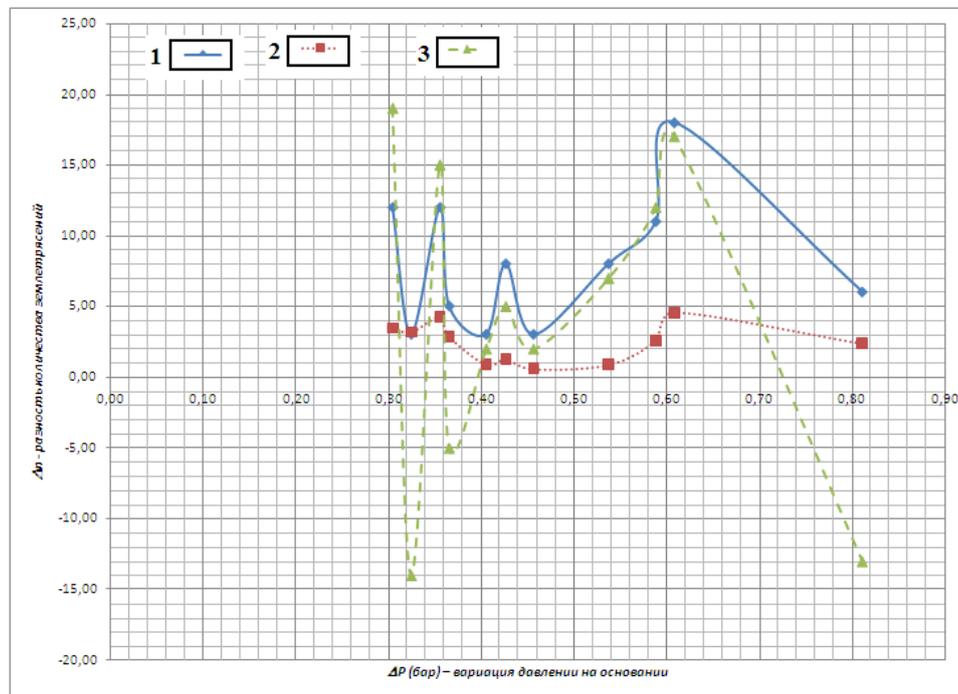
Условные обозначения кв таблице 1: ΔH (м) – усредненная вариация уровня воды за Δt (месяц); ΔP (бар) – вариация давления на основании; ΔT - среднее количество вариации давления при эксплуатации; n – среднее количество землетрясений с энергетическим классом $9 \leq K \leq 15$ до следующей вариации объема где $K=LgE$ (E-энергия землетрясения); $N_{фон}$ – средний локальный фон количества землетрясений в год, в радиусе 50 км от объекта; N – многолетнее среднее фоновое количество землетрясений на 10 летный удел; Δn – разность количества землетрясений от года в год.

На Рис. 4 показана зависимость между $N_{фон}$ (средний локальный фон количества землетрясений в год в радиусе 50 км от объекта), N (многолетнее среднее фоновое количество землетрясений, на 10 летный удел) и Δn (разность количества землетрясений) в период эксплуатации одиннадцати высоконапорных водохранилищ. Зависимость показывает, что водохранилища с умеренным давлением на основание до 11,5 бар эксплуатируются более высокочастотно, чем водохранилища с давлением на основание от 14,0 до 30,0 бар.

Изменения этих давлений на основания создают те смещения или напряжения, которые практически создают дополнительное поле деформаций [6,21]. Большинство землетрясений

происходили на глубине менее 10 км; очаги были приурочены к тому участку, где глубина водохранилища была наибольшей, а некоторые гипоцентры совпали с пересечениями сейсмоактивных разломов этого района. В эти анализы включены также усиление сейсмической активности геодинамических изменений, отмеченные также при заполнении водохранилищ гидроэлектростанций Синфынь в Китае, Монтинар во Французских Альпах, Марафон в Греции, Талбинго в Австралии, Куробе в Японии, Бенмор в Новой Зеландии, Канелль в Испании, Вайонт в Италии.

Проведенные исследования показали, что постепенное увеличение нагрузки-разгрузки от водохранилищ в процентном отношении к общему объему в среднем при 5% уменьшении объема соответствует понижению давления на 0,05 баров. 6% соответствует – понижению на 0,1 бара; 7% соответствует – понижению 0,15 бара. В реальности оно соответствует динамике вариации давления воды. Количество землетрясений в ближней зоне, например, водохранилища Чарвак за 2014 год при 5%, 6% и 7% вариации объема воды по отношению к общему объему за вес цикл активной эксплуатации, а также изменение энергетических классов за этот же период показало существенный сброс напряжений сопровождаемыми 43 землетрясениями с энергетическим классом $7 \leq K \leq 9$ в зоне с радиусом до $R=50$ км. Изменение их количества наблюдается в основном при изменении столба воды (или давления на основания чаши) от 0,1 по 0,15 баров. Эта зона 6% и 7% ных вариаций [27,28].



- 1 – средний локальный фон количества землетрясений в год, в радиусе 50 км от объекта;
 2 – многолетнее среднее фоновое количество землетрясений на 10 летный удел;
 3 – разность количества землетрясений

Рис. 4. Зависимость от общего давления $N_{\text{фон}}$, N и Δn .

Выводы. Основным механизмом проявления землетрясений является изменения внутренних усилий примыкающей к водохранилищу зоны и их коррелируемость с возможным пригибанием основания при сильном изменении нагрузки и разгрузки. Давление на основание водохранилищ при максимальном эксплуатационном пределе можно выбрать как соотношение $P = F/S^2$, где F – сила гравитационного веса и S^2 – площадь основания куда действует эта сила. Деформационное пригибание основания – ζ_i при действующем давлении P нами выбрано частично из литературных данных и частично из эмпирической связи [5,22]. Вариации деформации $\Delta \varepsilon_{\zeta}(\zeta_i) \cdot 10^{-5}$ – рассчитаны по отношению к глубине 5–15 км. земной коры основания водохранилищ (в осредненных величинах). Именно на этих глубинах в указанном выше радиусе выделяется сейсмогенный слой, где

находятся основные очаги локальных землетрясений. Эти расчеты проведены для 21 водохранилищ мира, данные для 11 из которых показаны в Таблице 1.

Анализ полученных результатов в ближней зоне водохранилищ показал, что при эксплуатации крупных водохранилищ его основание и чаща находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания от вариации объема. Деформации основания могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющих на регулярность напряжено-деформированного состояния и фоновых геодинамических движений близлежащего сейсмогенного слоя земной коры (в пределах зоны активного влияния водохранилищ). По-видимому, эти деформации и являются основным возбудителем не фоновых сейсмических событий в тектонических структурах, по крайней мере, в полосе малых энергетических классов.

Таким образом, выявлены закономерности развития геодинамических процессов в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ, решая задачи математической физики для конкретных сейсмически активных разломных зон пересекающих основания крупных гидротехнических сооружений Узбекистана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития и Академии наук Республики Узбекистан (Государственная Программа фундаментальных исследований на 2017–2020 годы грант №ФА-Ф-8-008), за что авторы выражают им свою искреннюю благодарность.

Литература

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года за № 3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», Приложение № 1, раздел №1, пункт №4. (Сайт: http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3303614, обращение: 21.07.2020, 10.10 ч.)
2. Нурмагамбетов А., Курманов Б.К. О техногенных процессах в земной коре Казахстана. // Вестник КазНТУ.- №4.-2014.- С.53-60.
3. Нурмагамбетов А. Землетрясение 21 февраля 2011 г. и сейсмическая опасность Атырауского региона. // Алматы: «Oil&Gas».- 2011.- № 3.- С.100-103.
4. Алимухамедов И.М., Шукуров З.Ф., Хамидов Х.Л., Зиёмов Б.З., Фахриддинов Ж.Ф. Показатели локальной геодинамической активности земной коры зон водохранилищ // Геология и минеральные ресурсы - Ташкент, 2014.- №3 - С.37-42.
5. Нусипов Е., Оспанов А.Б. и др. Сейсмическая опасность территории Западного Казахстана // Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии - Алматы.- 2004.- С.94-103.
6. Chopra Satinder and Marfurt Kurt Seismic Attributes – a promising aid for geologic prediction.// REC@RDER Canadian Society of Exploration Geophysicists.- 2006.- vol. 31 No. Special: <http://csegrecorder.com/articles/view/seismic-attributes-a-promising-aid-for-geologic-prediction> обращение: 24.07.2020, 17.30 ч.)
7. Николаев Н.И. Механизм и особенности возникновения землетрясений, связанных с водохранилищами //Тр.Гидропроекта.Москва.- 1978. -Вып.65. - С.9–27.
8. Тектоника Саяно Шушенской ГЭС // http://www.sayanogorsk.info/attach/id/10018/%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D1%88%D0%B3%D1%8D%D1%81.doc
9. Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Местные сейсмические события под действием нагрузки водохранилищ. // Современная техника и технологии в научных исследованиях. – VIII Международная молодежная конференция.-24-25 марта 2016. –Бишкек. –С.271-273.
10. Интервью акад. К.Леви: «Связаны ли колебания уровня Байкала с сейсмичностью?» // "Восточно-Сибирская правда", №26760 от 11 февраля 2015 г. (обращение: 25.07.2020, 18.16 ч. http://www.crust.irk.ru/newssmi_21.html)
11. Влияние водохранилища на сейсмическую активность района.// Проблемы энергетического сектора. – (обращение: 23.07.2020, 14.23 ч. <http://www.expocen.ru/okidirs-316-4.html>)
12. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Возможный механизм возникновения землетрясений в зонах активного влияния водохранилищ.// Журнал «Экологический Вестник Узбекистана» – 2017. – № 1 (189). – С. 20-21.
13. Kh.L. Khamidov Assessment of strain effect of strong-motion (focus) zones of earth-

quakes on earth's surface displacement. // J.Geodesy and Geodynamics.- China: vol.8.- N1.- 2017.-P. 34-40.

14. Эргешов И.М., Хамидов Х.Л., Хусомидинов А.С. Возможности изучения современных движений Восточного Узбекистана с применением GPS-технологий. // Современная техника и технологии в научных исследованиях.- IX-Межд. конференция молодых ученых и студентов - 27–28 марта 2017 года - г. Бишкек, Кыргызстан. С.198-199.

15. Хамидов Л.А. Внутренние усилия тектонических структур от вариации техногенной нагрузки.// Доклады АН РУз - Ташкент.- 2017.- N 3 – С.43-48.

16. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Возможности организации слежения местной сейсмичности в ближних зонах водохранилищ Узбекистана.// Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей - Девятые научные чтения Ю.П. Булашевича.- 18 по 22 сентября.- 2017.-С.5.

17. Хамидов Л.А., Ахмаджонов А.З., Модуль расчета тензоров перемещений 2D-Кельвина и 3D- Купрадза для одной сосредоточенной нагрузке в качестве компонента модели очага предстоящего землетрясения в поле действующих геостатических сил. // Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии – Межд. научная конференция.- Ташкент, Узбекистан, 15-16 октября 2018 г.- С.293-297.

18. Хамидов Л.А. Анализ механизмов воздействия водохранилищ на геодинамические силы в земной коре.// Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии - Международная научная конференция.- Ташкент, Узбекистан, 15-16 октября 2018 г.- С.283-288.

19. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Об изменчивости параметров сейсмичности в зонах активного влияния водохранилищ Узбекистана.// Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы (на базе сейсмической станции «Симиганч». Душанбе, Республика Таджикистан.- 11–15 сентября 2018 г) / Отв. ред. А.А. Маловичко. - Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. - С.307-311.

20. Нурматов У.А., Джалилова М.Ф., Туратов М.К., Юлдашев Э.Т. Связь сейсмичности с полями тектонических напряжений. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане - Ташкент: ИС АН РУз, 2015.-№12.-С. 39-42.

21. Хамидов Л.А. Линейная модель концентрации напряжений в разломах земной коры,

находящихся в ближней зоне деформационного влияния крупных водохранилищ.// Проблемы сейсмологии.-Ташкент.-2019-№1.-С.41-51.

22. Особенности влияния водохранилищ на скальные основания больших плотин /А.И.Савич и др.//Гидротехническое строительство.–2003. – № 3.-С.34-41.

23. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Мусаев М.А., Идармачев И.Ш. Оценка деформаций земной коры в районе Чирекской ГЭС в результате сезонных нагрузок от водохранилищ//Инженерная геология.-№2.-2015.-С.52-57.

24. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Эмпирическая связь между амплитудой смещений береговых склонов с уровнем заполнения водохранилищ.// Всероссийской конференции с международным участием «Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Екатеринбург 23–27 сентября 2019 г.- С. 262-266.

25. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Адиллов К.А. Локальные землетрясения в ближних зонах водохранилищ.// Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр. - Международная научно-практическая конференция, 10-11 октября 2019 г., Ташкент, Узбекистан.-С.433-438.

26. Artikov F.R., Khamidov L.A., Anvarova S.G. Possible influence of the hydrological regime of reservoir operation on the change in local seismicity.// Second International Scientific Conference of Young Scientists on Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences (Nat.sciences), 3-6 March, 2020 y, Baku, Azerbaijan., P.252-254.

27. Артиков Ф.Р., Хамидов Л.А. Возможное влияние вариации нагрузки от водохранилищ на изменения количества местных сейсмических событий// XII Международная Молодежная конференция «Современные техника и технологии в научных исследованиях», 22–24 апрель 2020, Бишкек, Киргизия.- С.208-214.

28. Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ. // J.Seysmologiya muammolari.- №1(2),-2020.-С.64-80.

MUHANDISLIK SEISMOLOGIYASI

УДК 550.343.4:624.131.1

Исмаилов В.А., Аллаев Ш.Б.

Институт сейсмологии им.Г.А. Мавлянова АН РУз

О РЕЗУЛЬТАТАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ТАШКЕНТА НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА

Ismailov V.A., Allayev Sh.B.

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

Hisoblash usuli asosida Toshkent shahar hududini seysmik mikrorayonlashtirish natijalari to'g'risida.

Annotatsiya. Maqolada Toshkent shahar hududini hisoblash usulini qo'llagan holda seysmik mikrorayonlashtirish natijalari ko'rib chiqilgan. Seysmik mikrorayonlashtirishda asos qilib erkin yuzaning cho'qqi tezlanish qiymati olingan. Erkin yuzaning cho'qqi tezlanish qiymatini aniqlashda AQSHning Tinch okean Seysmotexnik tadqiqot markazida ishlab chiqilgan "STRATA" komputer dasturi qollanilgan. Hisoblash uchun quyidagi kirish ma'lumatlar qabul qilingan: qoyatosh asosga seysmik ta'sir, grunt qatlamining seysmogeologik modelining parametrlari – ketma-ket keladigan grunt qatlamining qalinligi, gruntlar zichligi va seysmik to'lqin o'tish tezligi, qatlamlarda qayishqoq energiyaning yutilish tabiati. Hudud bo'yicha 36 seysmogeologik modeli uchun yarim makon qoyatosh asosga seysmik ta'sir natijasida grunt qatlamini reaksiyasi hisoblangan. Har bir model uchun erkin yuzaning cho'qqi tezlanishi va maksimal siljish qiymati va ularni chuqurlik bo'yicha o'zgarishi hamda grunt qatlamining javob spektri olingan. Shahar hududi uchun extimoli 500 va 2500 yilda sodir bo'lishi mumkin bo'lgan zilzilalar uchun seysmik mikrorayonlashtirish sxemasi tuzilgan.

Kalit so'zlar: seysmik mikrorayonlashtirish, cho'qqi tezlanish, javob spektri, seysmogeologik model, akselerogramma, ustun davri, ko'ndalang to'lqin tezligi, grunt zichligi.

Исмаилов В.А., Аллаев Ш.Б.

Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз

О результатах сейсмического микрорайонирования территории Ташкента на основе расчетного метода.

Аннотация. В статье рассмотрены результаты сейсмического микрорайонирования территории Ташкента на основе использования расчетного метода. В основу сейсмического микрорайонирования приняты значения пиковых ускорений свободной поверхности (PGA). Расчеты значений пиковых ускорений свободной поверхности осуществлены с использованием программы «STRATA», разработанной Тихоокеанским Сейсмотехническим исследовательским центром (США). Для расчета заданы следующие входные параметры: уровень сейсмических воздействия на скальном основании, параметры сейсмогеологической модели грунтовой толщи – последовательность слоев с заданной мощностью, плотность и скорость распространения сейсмических волн, характер поглощения упругой энергии в слоях. Для 36 сейсмогеологических моделей рассчитаны реакции грунтовых толщ на сейсмические воздействия, заданные на скальные полупространства. Для каждой модели получены пиковые ускорения и максимальное смещение на свободной поверхности, их изменение с глубиной, а также спектры реакций грунтовой толщи. Составлены схемы сейсмического микрорайонирования территории города для вероятности возникновения землетрясения на период 500 лет и 2500 лет.

Ключевые слова: сейсмическое микрорайонирование, пиковое ускорение, моделирование землетрясения, спектр реакции, сейсмогеологические модели, акселерограмма, преобладающий период, скорость поперечных волн и плотность грунтов.

Ismailov V.A., Allaev Sh.B.

Institute Seismology Academy of the Republic of Uzbekistan

On the results of seismic microzoning of the territory of Tashkent based on the calculation method.

Annotation. The article considers the results of seismic microdistricting of the territory of Tashkent based on the calculation method. The basis of the seismic zoning adopted values of the peak accelerations of the free surface (PGA). Calculations of peak free surface accelerations were performed using the STRATA program developed by the Pacific Seismotechnical research center (USA). For calculation are given the following input parameters: the level of seismic influence on rock Foundation, the geoseismic parameters of the model soil column is a sequence of layers with a given capacity, the density and the velocity of propagation of seismic waves, the nature of the absorption of elastic energy in layers for 36 seismogeological models consider the reaction of soil strata on the seismic impact of the set on a rock half-space. For each model, the peak accelerations and maximum displacement on the free surface and their changes with depth, as well as the reaction spectra of the ground layer, are obtained. Schemes

of seismic microdistricting of the city territory for the probability of an earthquake for a period of 500 years and 2500 years are made.

Keywords: seismic microzoning, peak ground acceleration, acceleration spectrum reaction, seismogeological models, accelerogram, prevailing period, transverse wave velocity and soil density.

Введение. Сейсмическое микрорайонирование (СМР) — вид сейсмического районирования, при котором уточняются параметры сейсмических воздействий строительной площадки в зависимости от местных условий. Под местными условиями понимаются геоморфологические особенности (расчлененность рельефа, крутизна откосов, наличие и строение морских и речных террас и т.д.); состав и строение верхней части геологического разреза; инженерно-геологические и гидрогеологические особенности участков (состав и физико-механические свойства грунтов, их мощность, обводненность, глубина залегания уровня подземных вод и т.д.), близость сейсмоактивных разломов и другие факторы, влияющие на параметры сейсмических воздействий.

Утвержденные карты СМР в масштабе от 1:5000 до 1:25000 используются в качестве нормативных документов при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений, составлении и корректировке генпланов городов или других территорий, подлежащих застройке, зонирования территории по этажности застройки и расположению зон озеленения с учетом сейсмической опасности. Информация, приведенная в картах СМР, позволяет также оценить фактическую сейсмостойкость построенных ранее зданий с учетом уточненных величин расчетной балльности.

В научной литературе имеются множество публикации: сборников трудов различных конференций, монографии и статьи и руководств, и рекомендации, посвященные методике СМР. Среди них основополагающими являются труды С.В.Медведева (1962), Н.В.Шебалина (1974), Н.И.Кригера и др. (1980), С.М.Касимова (1979), А.Джураева (1985), С.А.Абдурахманова (1987), В.Б.Заалишвили (2000), и А.С.Алешина (2010, 2017). Необходимо отметить, что предложенные авторами приемы, расчеты, методики и др. основываются на результатах макросейсмических обследований последствий сильных землетрясений. В связи с этим, при оценке интенсивности сейсмического воздействия применены шкала «балльности» – как интегральный показатель.

Использование методики СМР, основанной на макросейсмических оценках, обусловлено тем, что с одной стороны в расчетах сейсмостойкости здания использованы нормативные коэффициенты, установленные для каждой величины балльности, и с другой стороны, на сейсмическую интенсивность влияют различные факторы. Механизм их учета весьма сложен, и макросейсмический балл снимает необходимость точного учета этих факторов [1]. В связи с развитием компьютерной технологии проектирования зданий и сооружений, необходимы новые подходы, описывающие сейсмические колебания не только в макросейсмических баллах, но и в инженерных параметрах (пиковых ускорений, спектров реакций, реальных или синтезированных акселерограмм). Таким образом, расчетные методы, основанные на моделировании поведения реальных грунтовых условий, при заданном сейсмическом воздействии позволяют в интерактивном режиме получать спектральные характеристики грунтовых толщ и акселерограммы на свободной поверхности.

Методика исследования. Расчетные методы следует применять для решения задач сейсмического микрорайонирования, которые связаны с прогнозом поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях. С этой целью производятся расчеты спектральных характеристик и синтетических акселерограмм для различных моделей изучаемой среды.

Наибольшее распространение получили следующие расчетные методы:

- метод тонкослоистых сред (МТС);
- метод конечных элементов (МКЭ);

Для теоретических расчетов сейсмических воздействий моделей плоскопараллельных слоистых сред следует использовать метод тонкослоистых сред. Для теоретических расчетов колебаний сред с границами раздела произвольной геометрической формы следует использовать метод конечных элементов.

Метод тонкослоистых сред (МТС) используется для расчета спектральных характеристик и акселерограмм на свободной поверхности или во внутренних точках слоистой слабо поглощающей среды, при падении на ее подошву под произвольным углом из нижнего полупространства поперечной упругой плоской волны.

Выходными данными в МТС являются амплитудно-частотная характеристика рыхлой толщи пород согласно заданной модели по горизонтальной и вертикальной компонентам колебаний; акселерограмма (реальная или синтетическая) на свободной поверхности или во внутренних точках среды по одной или двум компонентам; приращение интенсивности в зависимости от периода колебаний, рассчитанных по отношениям амплитудно-частотных характеристик изучаемой и опорной моделей; графики коэффициента динамичности, соответствующей расчетной акселерограмме; спектры реакций. Надежность полученной информации зависит от точного значения скоростей Р-, и особенно S-волн и характеристик их поглощения в верхних низкоскоростных слоях, а также от соответствия заданного на полупространстве сигнала реальному [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

В 70-десятые годы прошлого столетия широко использовалась программа КОЕФ-10 (Ратникова, 1973). Эта программа применялась для оценки колебаний свободной поверхности слабо поглощающей пачки слоев рыхлого грунта, залегающей на жестком скальном полупространстве [3]. Подобная программа так же разработана в США [4], которая называется SHAKE. Данная программа предназначена для расчета влияния слоистой грунтовой толщи на динамические характеристики сейсмических колебаний, источник которых находится в полупространстве, на поверхности грунта или в любом из слоев грунтовой толщи. При этом моделируется одномерное распространение вертикальных волн в предположении, что слои грунтовой толщи залегают строго горизонтально. Все расчеты ведутся в предположительной пропорциональности напряжений и деформации. Необходимо отметить, что программа позволяет пересчитать акселерограммы, зарегистрированные на поверхности рыхлого грунта в акселерограммы, относящиеся к скальному основанию. В качестве параметров моделей грунтовой толщи используют: мощности и плотности слоев, скорости Р и S волн, декременты затухания колебаний. Надежность результата зависит от точности заданных параметров модели среды: скоростей Р- и S-волн, и значений их поглощения в верхних низкоскоростных слоях, а также от соответствия заданного на полупространстве сигнала реальному.

Теоретические исследования при проведении работ по сейсмическому микрорайонированию территории городов Узбекистана выполнены Я.У.Саатовым, Т.У.Артиковым, А.Саатовым и др. При этом исследования проведены в три этапа:

1. Получение осредненных спектральных характеристик сейсмической интенсивности для скального грунта.
2. Определение спектральных характеристик пористых слоев, насыщенных жидкости по модели М.А.Био.
3. Выражение сейсмической интенсивности через расчетные частотные спектры сейсмических колебаний грунта [5]

В последнее время большое внимание уделяется разработке методов, позволяющих учитывать нелинейные свойства грунтов [6]. Расчетами установлено, что введение поглощений нелинейного характера, а также соотношений между деформациями и напряжениями могут существенно изменить частотный состав сейсмического сигнала [7]. С этой целью Тихоокеанским Сейсотехническим исследовательским центром (США) при поддержке Калифорнийской энергетической комиссии, Калифорнийского департамента транспорта и Тихоокеанской газовой и электрической компании была разработана компьютерная программа «STRATA».

В программном комплексе STRATA [8] реализована эквивалентная линейная модель (ЭЛМ) грунтовой толщи – модель, которая учитывает особенности нелинейного поведения грунтов. В ЭЛМ грунты рассматриваются как линейный вязкоупругий материал, а его нелинейные свойства учитываются путем введения зависимостей упругих модулей и коэффициента поглощения от величины деформации. Эквивалентное линейное приближение заключается в модификации модели Кельвина – Фойгхта (для учета некоторых типов нелинейности). Эквивалентная линейная модель основана на предположении, что модуль сдвига и коэффициент затухания являются функциями деформации сдвига. В программном комплексе «STRATA» значение модуля сдвига и коэффициент затухания определяются итеративно так, чтобы они соответствовали уровням деформации в каждом слое.

Для расчета сейсмических воздействий на свободную поверхность с использованием программы «STRATA» необходимо задать входные воздействия на скальном основании и построить сейсмогеологическую модель грунтовой толщи – последовательность слоев с заданной

мощностью, плотность и скорость распространения сейсмических волн, а также характер поглощения упругой энергии в слоях. В расчеты можно включить также варибельность параметров сейсмогеологической модели.

Исходные данные. В условиях г. Ташкента скальным основанием являются каменные лессы или конгломераты, которые имеют распространение на глубинах от 10 до 75 м. Для изучения спектрального состава сейсмических колебаний были рассчитаны значения величин максимальных ускорений PGA и спектральные амплитуды ускорений с периодами колебаний от 0,05 с до 5 с при различных вероятностях не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет с учетом грунтовых условий, которые имеют распространение на территории города (Табл.1). Данные расчеты базируются на знании очаговых спектров землетрясений различных магнитуд и особенностях их трансформации с расстоянием (Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., (2012), S. Akkar, J. Bommer (2010) и др.). Расчеты проводились для грунтов I, II и III категории по сейсмическим свойствам [9].

Таблица 1. Параметры расчетных сейсмических воздействий для различных категорий грунтов (по сейсмическим свойствам) на территории города*.

Период повторяемости сотрясений, T, лет	Вероятность не превышения в течение 50 лет	Пиковое ускорение (PGA), см/с ²		
		Категория грунтов (по сейсмическим свойствам)		
		I	II	III
500	0,9	255	264	313
1000	0,95	287	298	351
2500	0,98	319	330	391
5000	0,99	340	351	416

*по данным Р.С. Ибрагимова (Отчет «Количественная оценка параметров сейсмического колебания и расчет синтезированных акселерограмм для площадки строительства многофункционального комплекса "Tashkent central park" в городе Ташкенте», 2020 год)

В качестве входных воздействий на основании полупространства для периода повторяемости сейсмических событий в 500 лет подобрана акселерограмма реального землетрясения, произошедшего 17 января 1994 года в городе NORTHRIDGE (США) на территории LAKE HUGHES #12A (CDMG STATION 24607). На Рис. 1 представлена акселерограмма данного события, где пиковое ускорение составило 0,25g. Необходимо отметить, что сейсмические воздействия для периода повторения в 500 лет приняты в соответствии с СП 14 13330 2018 «Строительство в сейсмических районах», т.е. для строительства зданий и сооружений III категории по сейсмостойкости, следует делать расчеты для периода повторяемости в 500 лет.

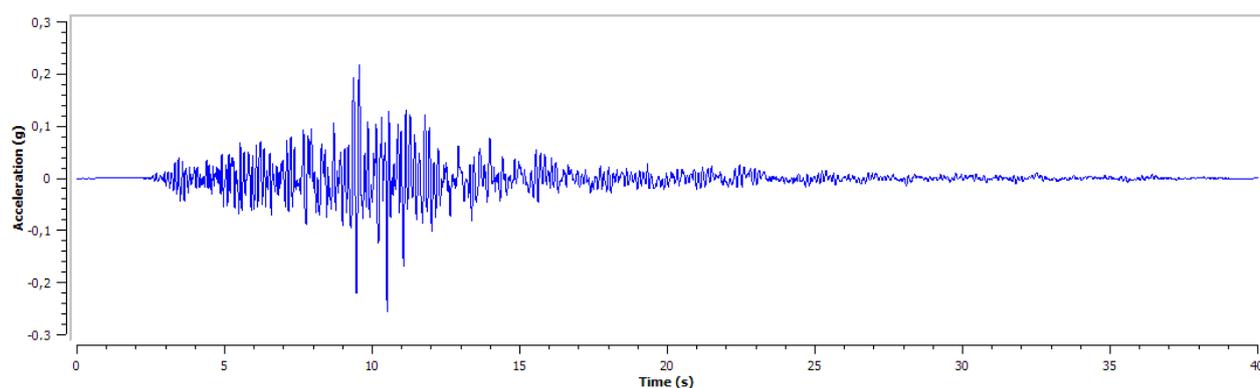


Рисунок 1. Нормированная акселерограмма NORTHRIDGE (США), LAKE HUGHES #12A (CDMG STATION 24607).

Для расчета сейсмостойкости зданий и сооружений общего городского строительства нами принят уровень сейсмических воздействия с вероятностью возникновения землетрясения один раз в 2500 лет. Согласно Табл. 1, пиковое ускорение для I категории грунтов (по сейсмическим свой-

ствам) на территории г. Ташкента составляет 0,319g. Акселерограмма, соответствующая этому значению, выбрана из каталога сильных землетрясений [11]. Это землетрясение, произошедшее в Италии 18 октября 1989 году рядом с городом LOMA PRIETA, GILROY GAVILAN COLL, 067 (CDMG STATION 47006) (Рис.2).

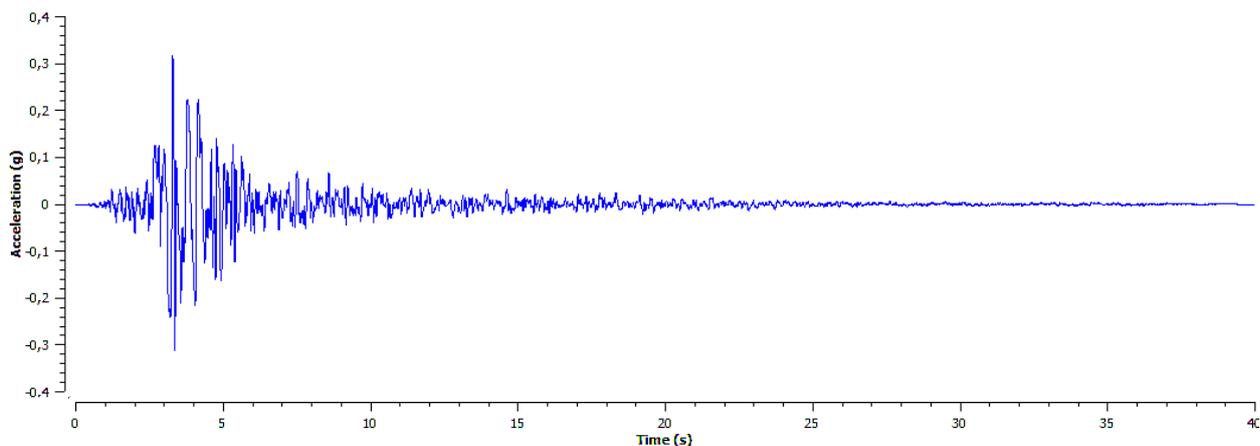
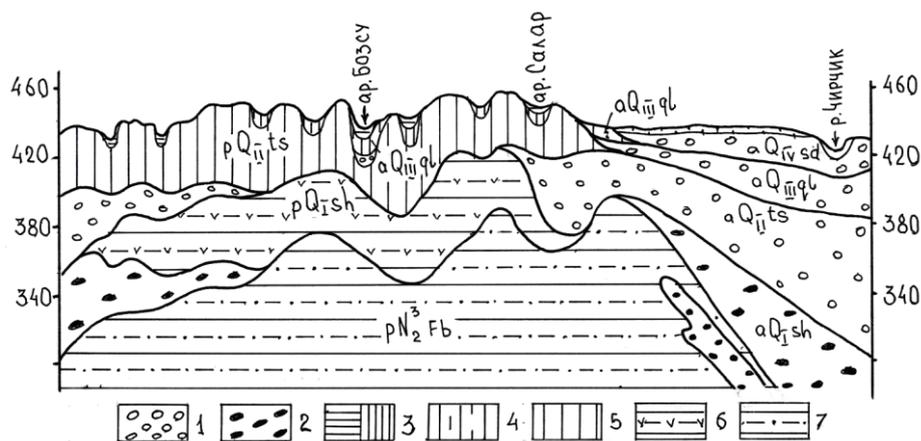


Рисунок 2. Нормированная акселерограмма LOMA PRIETA, GILROY GAVILAN COLL, 067 (CDMG STATION 47006)

Инженерно-геологические условия территории г.Ташкента. В пределах города выделено четыре возрастных комплекса четвертичных отложений: 1) сохский, соответствующий нижнему отделу (Q_{Ish}); 2) ташкентский – среднему (Q_{Iits}); 3) голодностепский – верхнему (Q_{mgI}) и 4) сырдарьинский – современному (Q_{IVsd}).

На территории города выделяются две группы грунтов: 1 – с жесткими структурными связями и 2 – без жестких структурных связей. К 1 группе относятся каменные лессы и конгломераты, которые подстилаются лессовыми грунтами и крупнообломочными отложениями на глубинах от 5 до 75 м. Грунты 2 группы в основном представлены двумя подгруппами: обломочными-пылеватыми и обломочными-крупнообломочными грунтами (Рис.3).



Условные обозначения: 1 – галечники аллювиальные с песчано-гравийными заполнителями, местами перекрытые супесями и суглинками; 2 – конгломераты аллювиальные, мелко- и крупнообломочные галечники на прочном известковом цементе; 3а – современные осадки ирригационных каналов; 3б – суглинки и супеси аллювиальные, переслаивающиеся с прослойми гравия и песка; 4 – лессовые породы аллювиальные, однородные; 5 – лессовые породы пролювиальные с погребенными почвенными горизонтами; 6 – каменные лессы, пролювиальные; 7 – алеволиты, переслаивающиеся с песчаниками и конгломератами.

Рисунок 3. Схема поперечного геолого-литологического разреза г. Ташкента.

К подгруппе обломочно-пылеватых грунтов относятся пролювиальные лёссовые породы ташкентского комплекса, аллювиальные лёссовидные породы голодностепского и сырдарьинского комплексов. Они в пределах города имеют наиболее широкое распространение, площадь их на глубине 3 м составляет около 90% всей территории города.

Обломочная – крупнообломочная подгруппа преимущественно представлена галечниковыми грунтами сырдарьинского комплекса. Они распространены в пределах второй и первой надпойменных террас и поймы р. Чирчика и в долинах древних каналов Салар и Каракамыш. Общая площадь их распространения на глубине 20 м составляет около 30% всей территории города.

Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 0,5–3 м в прирусловых участках и днищах балок, до 20–25 м и более, с удалением от русел к водораздельным участкам. Мощность обводненной толщи изменяется в направлении с СВ на ЮЗ от 2–5 м до 30–40 м, а в районе Катартал (Актепа) достигает 60 м. В связи с этим зеркало грунтовых вод имеет сложную конфигурацию, его положение в разрезе, в целом зависит от геоморфологических условий [9].

Сейсмогеологические модели. Конечной задачей сейсмического микрорайонирования является картирование моделей грунтовых толщ, которые различаются реакцией на сейсмические воздействия, подходящие к ним со стороны скального полупространства. В зависимости от инженерно-геологических условий территории города, разработаны 36 сейсмогеологических моделей, которые наиболее реально отражают сейсмогрунтовые условия до глубины 120 м. В некоторых моделях глубина полупространства ограничена до глубины 50–70 м. из-за неглубокого залегания скальных грунтов, т.е. каменных лессов и конгломератов. Необходимые параметры для расчета определены самой программой, и они представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Параметры сейсмогеологической модели (модель №22, расположенная в пределах ТЦП)

№	Глубина, м.	Мощность слоя, м.	Плотность Грунта, кН/м ³	Скорость поперечных волн (Vs), м/с			Тип грунта
				Vs	Vs min	Vs max	
1	7	7	15,48	240	160	300	Суглинок необводненный
2	16	9	17,44	320	200	350	Суглинок необводненный
3	38	22	18,42	450	280	570	Суглинок обводненный
4	54	16	18,62	550	470	670	Уплотненный суглинок
5	92	38	20,09	1000	750	1300	Каменный лесс
6	полупространство		22,07	1700	1350	2200	Конгломерат

Результаты и их обсуждения. Расчет спектров реакции горизонтального компонента свободной поверхности проводился с учетом нелинейных свойств грунта в рамках эквивалентного линейного моделирования. Грунтовая толща рассматривается как линейная вязкоупругая среда, при этом нелинейные свойства учитываются введением зависимости модуля сдвига и коэффициента поглощения от величины деформации сдвига (кривые деградации).

На Рисунках 4 и 5 приведены спектры реакции на свободной поверхности для сейсмического события с периодом повторения сотрясения 500 лет и 2500 лет. Пиковые ускорения на свободной поверхности превышают ускорения на скальном основании приблизительно на 29% (средние спектры) при вероятности 500 лет, и на 57% при вероятности 2500 лет, т.е. грунты существенно усиливают сейсмические движения от скального основания к поверхности, хотя усиление не является экстраординарным. Физическое объяснение вполне очевидное: 1) большой контраст скорости скального основания в нижней части грунтового профиля (скорость с 1000 м/с падает до 550 м/с – почти в 2 раза); 2) в грунтовой толще количество сильно поглощающего (деградирующего) материала имеет распространение до глубины 5–6 м. Необходимо также отметить, что чем выше значение пикового ускорения входного воздействия на скале, тем выше усиление воздействия на

свободной поверхности, и чем меньше толщина рыхлого слоя, тем меньше усиление колебания на поверхности.

В Таблице 3 обобщены результаты расчета спектра реакции на свободной поверхности пункта № 22 для землетрясений с периодом повторения сотрясения 500 и 2500 лет.

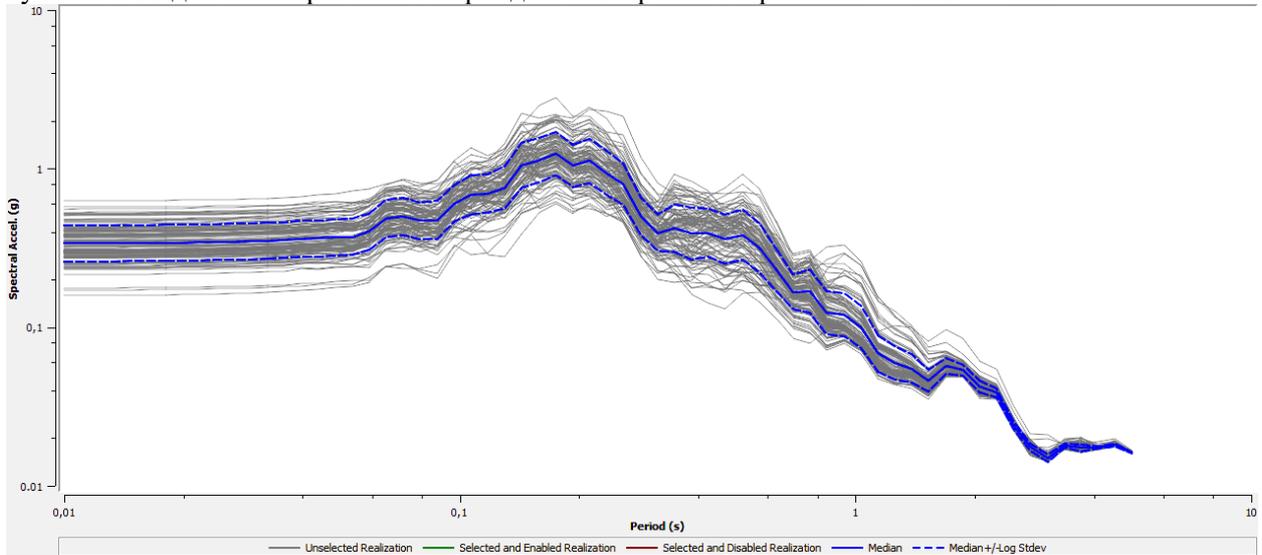


Рисунок 4. Спектры реакции на свободной поверхности для 100 реализаций для периода повторения землетрясения в 500 лет (сплошная линия – медиана, штриховая линия – медиана +/- сигма)

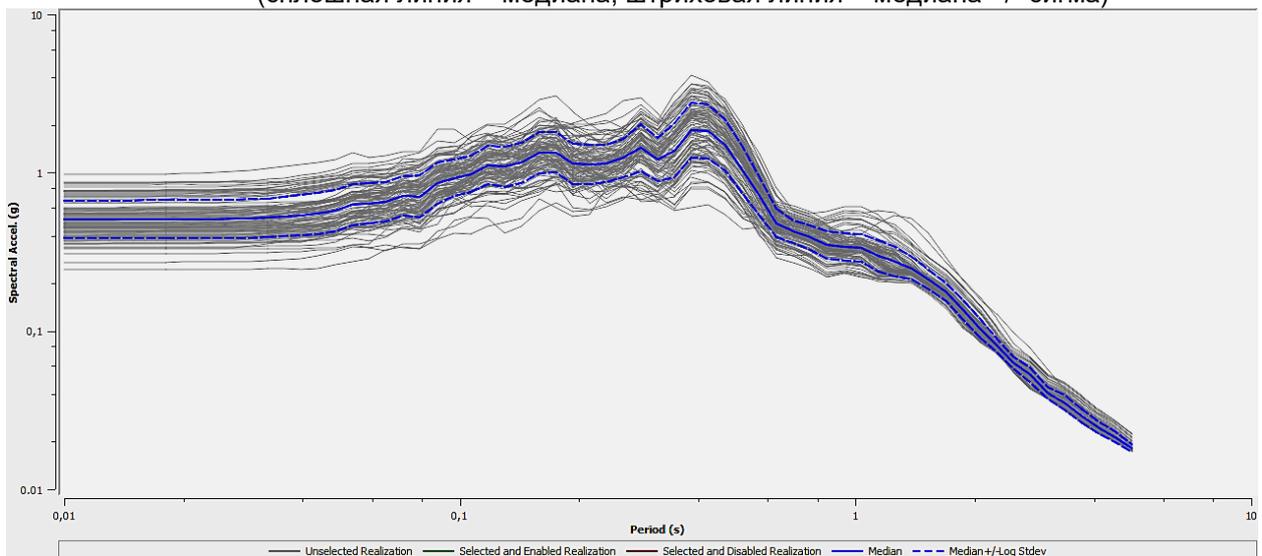


Рисунок 4. Спектры реакций на свободной поверхности для 100 реализаций для периода повторения землетрясения в 2500 лет

Таблица 3. Значения PGA на свободной поверхности для пункта №22.

	Для периода повторения сотрясения 500 лет, g	Для периода повторения сотрясения 2500 лет, g
Среднее по 100 реализациям	0.33	0.5
Медиана	0.33	0.5
σ (стандартное отклонение)	0.07	0.12
Медиана + σ	0.38	0.57
Медиана – σ	0.26	0.28

Подобные расчеты спектра реакций для грунтовой толщи произведены для 36 пунктов, т.е. сейсмогеологической модели, характеризующие различные вариации сочетания скала-рыхлая толща.

Таблица 2. Параметры сейсмогеологической модели (модель №22, расположенная в пределах ТЦП)

№	Глубина, м.	Мощность слоя, м.	Плотность Грунта, кН/м ³	Скорость поперечных волн (Vs), м/с			Тип грунта
				Vs	Vs min	Vs max	
1	7	7	15,48	240	160	300	Суглинок необводненный
2	16	9	17,44	320	200	350	Суглинок необводненный
3	38	22	18,42	450	280	570	Суглинок обводненный
4	54	16	18,62	550	470	670	Уплотненный суглинок
5	92	38	20,09	1000	750	1300	Каменный лесс
6	полупространство		22,07	1700	1350	2200	Конгломерат

Результаты и их обсуждения. Расчет спектров реакции горизонтального компонента свободной поверхности проводился с учетом нелинейных свойств грунта в рамках эквивалентного линейного моделирования. Грунтовая толща рассматривается как линейная вязкоупругая среда, при этом нелинейные свойства учитываются введением зависимости модуля сдвига и коэффициента поглощения от величины деформации сдвига (кривые деградации).

На рисунках 4 и 5 приведены спектры реакции на свободной поверхности для сейсмического события с периодом повторения сотрясения 500 лет и 2500 лет. Пиковые ускорения на свободной поверхности превышают ускорения на скальном основании приблизительно на 29% (средние спектры) при вероятности 500 лет, и на 57% при вероятности 2500 лет, т.е. грунты существенно усиливают сейсмические движения от скального основания к поверхности, хотя усиление не является экстраординарным.

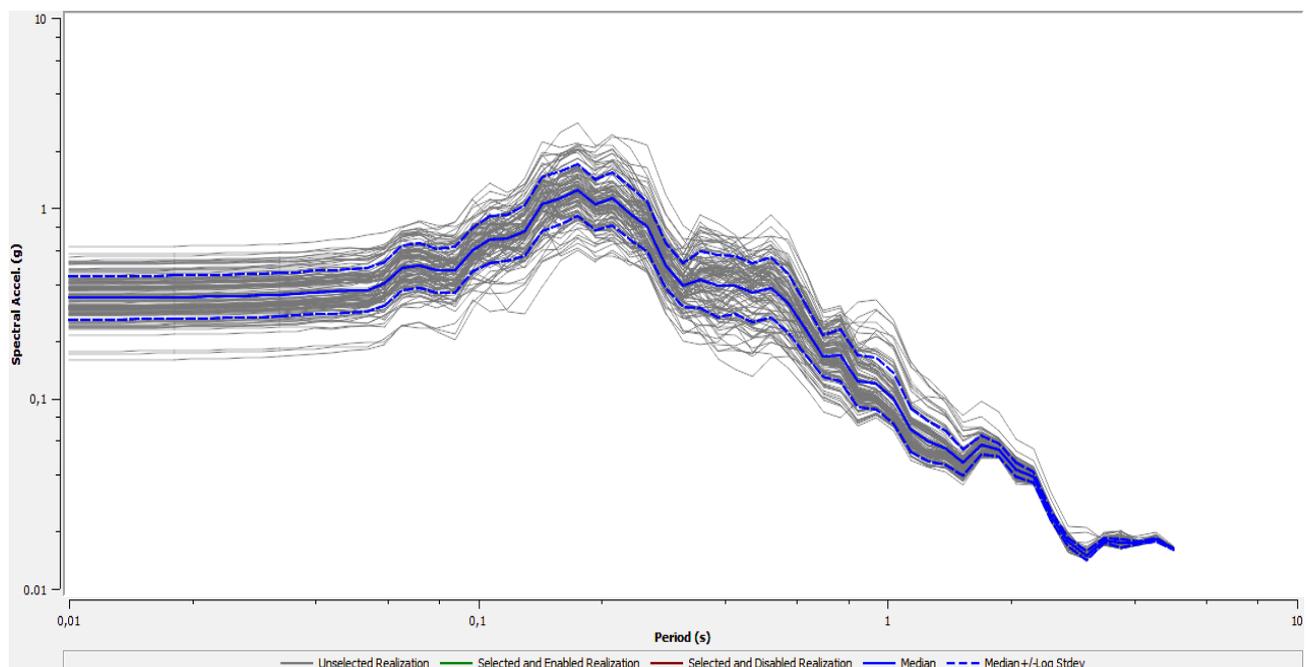


Рисунок 4. Спектры реакции на свободной поверхности для 100 реализаций для периода повторения землетрясения в 500 лет (сплошная линия – медиана, штриховая линия – медиана +/- сигма)

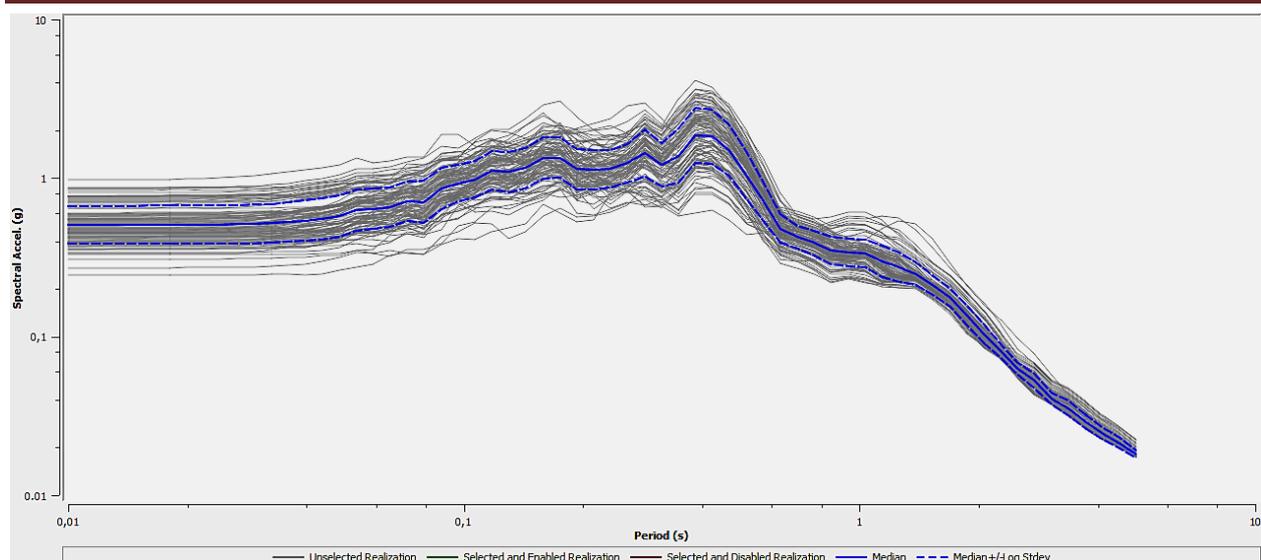


Рисунок 4. Спектры реакций на свободной поверхности для 100 реализаций для периода повторения землетрясения в 2500 лет.

Физическое объяснение вполне очевидное: 1) большой контраст скорости скального основания в нижней части грунтового профиля (скорость с 1000 м/с падает до 550 м/с – почти в 2 раза); 2) в грунтовой толще, количество сильно поглощающего (деградирующего) материала имеет распространение до глубины 5–6 м. Необходимо также отметить, что чем выше значение пикового ускорения входного воздействия на скале, тем выше усиление воздействия на свободной поверхности, и чем меньше толщина рыхлого слоя, тем меньше усиление колебания на поверхности.

В Таблице 3 обобщены результаты расчета спектра реакции на свободной поверхности пункта №22 для землетрясений с периодом повторения сотрясения 500 и 2500 лет.

Таблица 3. Значения PGA на свободной поверхности для пункта №22.

	Для периода повторения сотрясения 500 лет, g	Для периода повторения сотрясения 2500 лет, g
Среднее по 100 реализациям	0.33	0.5
Медиана	0.33	0.5
σ (стандартное отклонение)	0.07	0.12
Медиана + σ	0.38	0.57
Медиана – σ	0.26	0.28

Подобные расчеты спектра реакций для грунтовой толщ произведены для 36 пунктов, т.е. сейсмогеологической модели, характеризующие различные вариации сочетания скала-рыхлая толща.

Для решения градостроительных вопросов, в частности разработки генерального плана развития г. Ташкента были проведение научные исследования по разработке карты сейсмического микрорайонирования. В 1984 году для перспективных границ города на основании комплексных инженерно-геологических, сейсмологических, сеймотектонических, геофизических и инструментальных исследований была составлена карта СМР в масштабе 1:25000, где выделены 8 и 9 балльные зоны (рис. 5). В дальнейшем, в связи с увеличением территории города в 2011 году были проведены дополнительные исследования в северо-восточной и юго-западной частях города и составлена карта СМР с учетом перспективных границ. Необходимо отметить, что карта составлена на основе детерминистической оценки сейсмической опасности. Выделенные 8 и 9 балльные зоны согласуются с инженерно-геологическими условиями территории города.

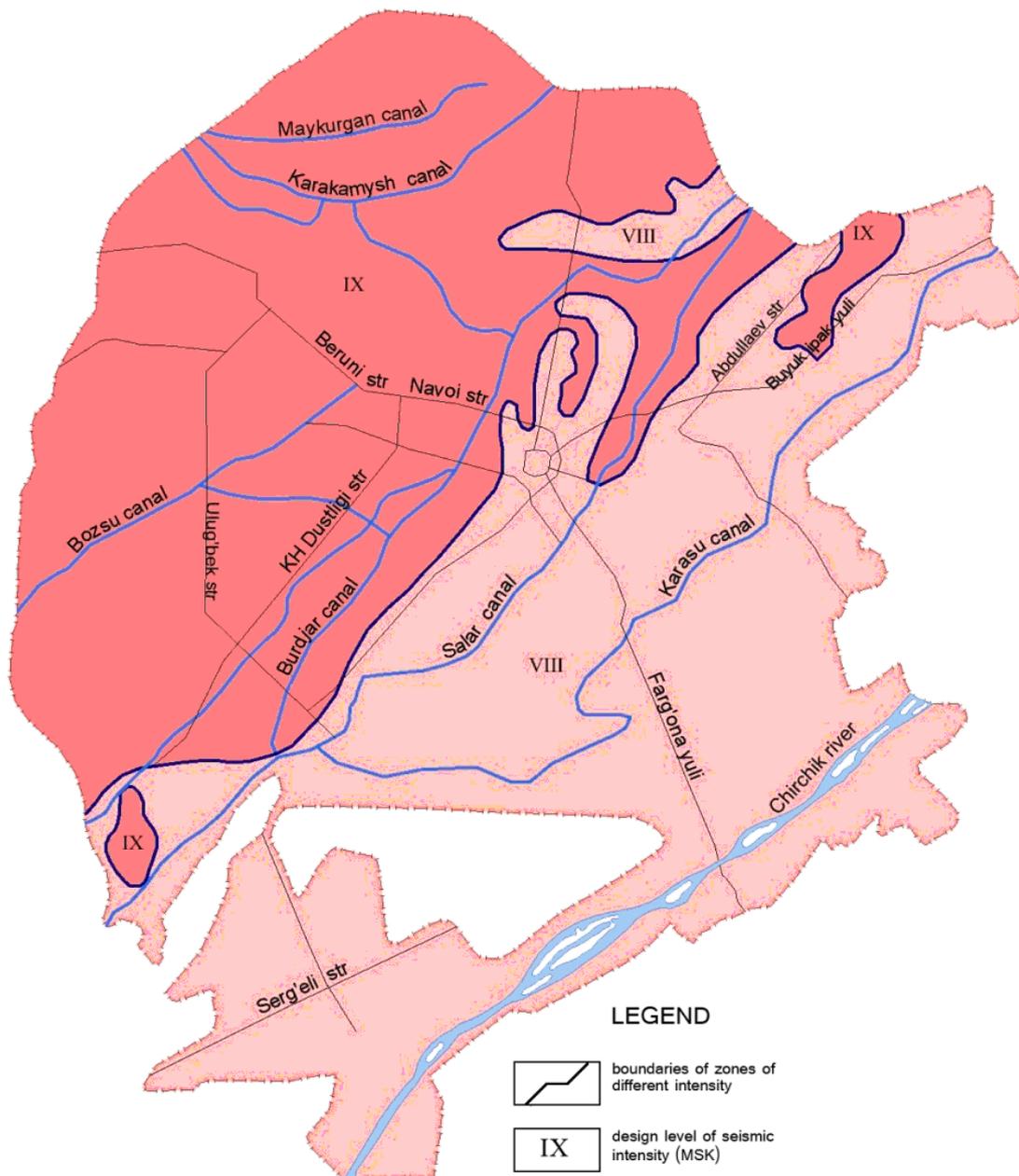


Рисунок 5. Схема сейсмического микрорайонирования территории г. Ташкента (составленная в 1984 г. и дополненная в 2014 г.)

Площадной анализ полученных результатов пикового ускорения на свободной поверхности по 36 сейсмогеологическим моделям позволил выделить на территории города микрорайоны с одинаковыми значениями PGA.

На Рисунке 6 приведена схема сейсмического микрорайонирования территории города в значениях пикового ускорения для периода повторяемости сотрясений $T=500$ лет при вероятности $P=0,90$ не превышения интенсивности сейсмических воздействия в течение 50-ти лет. В представленной схеме вся территория города с пиковыми ускорениями (PGA) от 0,2–0,5g, соответствует макросейсмической интенсивности в 8 и 9 баллов.

Здесь необходимо отметить, что современные требования к сейсмостойкому строительству основываются не только макросейсмическими баллами, но и параметрами сейсмических колебаний. Это обусловлено тем, что диапазон изменения пикового ускорения в пределах одного балла весьма широк; 8-ми баллам может соответствовать пиковое ускорение как 0,2g, так и 0,7g [11].

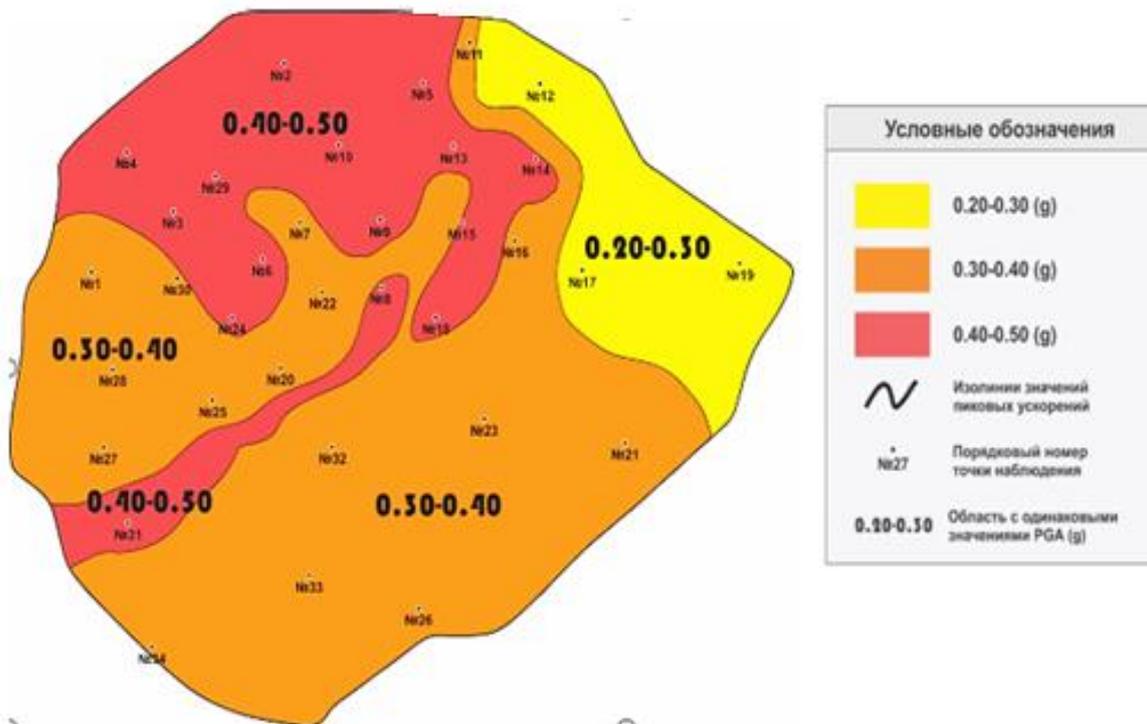


Рисунок 6. Схема сейсмического микрорайонирования территории г. Ташкента для периода повторяемости сотрясений $T=500$ лет ($P=0,9$).

Сравнение полученных PGA по территории г.Ташкента с результатами расчета значения величин максимальных ускорений PGA и спектральных амплитуд ускорений PSA в периодах колебаний от 0,05 с до 5 с при различных вероятностях не превышения уровня сейсмических воздействий в течение 50 лет с учетом категории грунтов по сейсмическим свойствам по методике S. Akkar, J. Bommer (2010) и др. (Табл.1) показывают близкие значения.

Схема сейсмического микрорайонирования территории г. Ташкент в значениях пикового ускорения для периода повторяемости $T=2500$ лет с вероятностью $P=0,98$ не превышения интенсивности сейсмических воздействия в течение 50-ти лет представлена на Рис. 7. В отличие от предыдущей схемы СМР, для повторяемости сотрясений в 500 лет, в представленной схеме ускорение сейсмических колебание имеет повышенное значение. Таким образом, зона с PGA 0,4 – 0,5g занимает в 2,5 раза больше территории. В карте СМР г.Ташкента территория 8-ми балльной зоны совпадает с некоторыми участками 9-ти балльной зоны. Однако по данным PGA, зона, соответствующая 8 баллам значительно меньше, и составляет примерно 1/3 часть территории города.

Заключение. Проведенные исследования с применением современных программных средств для СМР территории городов позволили сделать следующие выводы:

1. СМР на основе спектральных особенностей грунтовых толщ и расчет соответствующих акселерограмм осуществляют с использованием программы STRATA (или аналогичных), где в качестве входных данных помимо исходных акселерограмм на скальном полупространстве используют параметры сейсмогеологической модели грунтовой толщи (скорости поперечных волн, плотности, мощности, а также данные о нелинейных свойствах каждого слоя), а выходными данными являются спектры реакции, коэффициенты динамичности и акселерограммы, учитывающие локальные условия районируемой территории, наиболее реально описывающие реакции грунтовых толщ на сейсмические воздействия.

2. С использованием расчетных методов возможно составление карт сейсмического микрорайонирования в инженерных параметрах (пиковых ускорения, спектры реакции, синтезированные акселерограммы и др.) для различных периодов повторяемости сейсмических сотрясений, что является необходимым при проектировании и строительстве инженерных сооружений различного класса.

3. Существующие методы учета грунтовых толщ при сейсмическом микрорайонировании основаны на обобщённых данных инженерно-геологических и сейсмических свойств в пределах глубин до 10 м, а в некоторых случаях до 30 м, без учета реакции отдельных слоев. В этом отношении, преимуществом расчетного метода является то, что сейсмогеологическая модель учитывает поведение внутренней структуры грунтового массива, где чередование слоев с различными параметрами вводит коррективы в общее колебание толщи.

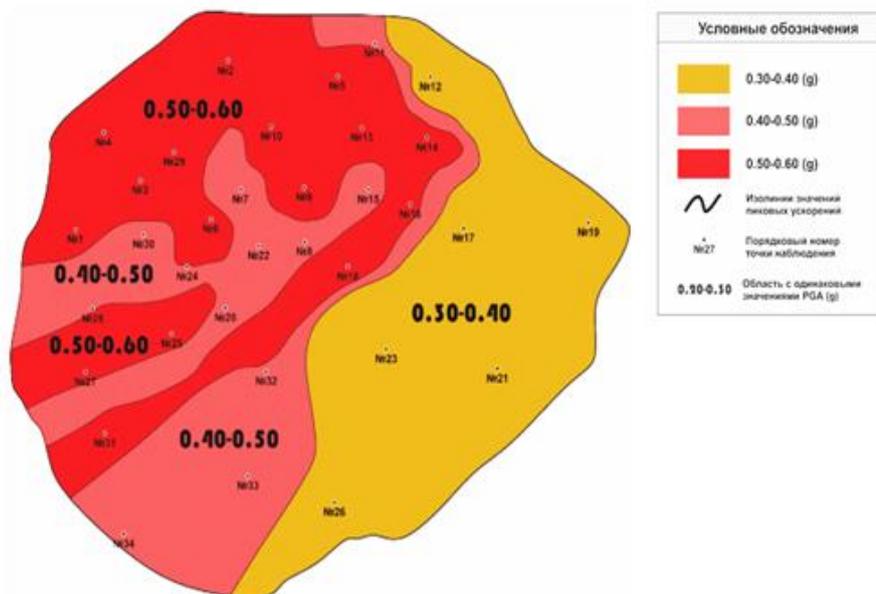


Рисунок 7. Схема сейсмического микрорайонирования территории г. Ташкента для периода повторяемости сотрясений $T=2500$ лет ($P=0,98$).

Литература

1. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования.-М.: Научный мир, –2017. –302 с.
2. РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. Введ. 1998-01-01. М.: Госстрой Россия, 1998 г. 14 с.
3. Ратникова Л.И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. – М.:Мир, 1973. – 124 с.
4. Schnabel P.B. SHAKE – A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites / P.B.Schnabel, J.Lysmer, H.B.Seed // Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-72/12. Berkeley: University of California, 1972. -102 p.
5. Соатов А, Артыков Т.У., Касымов М.С., Соатов Я.У. Теоретический метод сейсмического микрорайонирования. Информационное сообщение №187, Ташкент., 1978. –11 с.
6. Павленко О.В. Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. -М.: Научный мир, 2009. –260 с.
7. Крамнин П.И., Чернов Ю.К., Штейнберг В.В. Ускорения колебаний скальных и рыхлых грунтов при сильных землетрясениях. – В кн...: Вопросы инженерной сейсмологии, вып.19. М., «Наука», 1978.
8. Albert R. Kottke Xiaoyue Wang Ellen M. Rathje. Technical Manual for Strata. - Geotechnical Engineering Center Department of Civil, Architectural, and Environmental Engineering University of Texas, October, 2013. –89 p.
9. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. - Ташкент, 2012. –251 с.
10. Исмаилов В.А. Инженерно-геологические условия подземного пространства г.Ташкента. – Ташкент: ТГТУ, 2015. –158 с.
11. Шкала сейсмической интенсивности. ГОСТ Р 57546-2017. Дата введения 2017-09-01. ОКС 91.100.10. Электронный текст документа подготовлен АО "Кодекс" и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2017. –38 с.

TEKNOGEN SEYSMIKLIK

УДК 551.3:550.3 (575.1)

**Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л.,
Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р.**
*Институт Сейсмологии им.Г.А. Мавлянова, Академия наук,
Ташкент, Республика Узбекистан, hamidov_l@mail.ru*

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА И СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНАХ 8-9 БАЛЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ УЗБЕКИСТАНА

Xamidov L.A., Ibragimov A.X., Xamidov X.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R.
O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Seismologiya instituti, Toshkent sh. hamidov_l@mail.ru
**O'ZBEKISTONNING 8-9 BALLI ZILZILALAR BO'LADIGAN HUDUDLARIDA
JOYLASHGAN YIRIK SUV OMBORLARI SEYSMIK XAVF-XATAR
MONITORINGNING LOKAL TIZIMI LOYIHASINI ISHLAB CHIQUISH VA TUZISH.**

Annotatsiya. Yaqin yillarda o'tkazilgan O'zbekistondagi yirik suv omborlari faol ta'sir doirasidagi hududlarning seysmik xavf-xatarini kuzatish tizimlari bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarining tahlili shuni ko'rsatdiki, seysmiklikni faol ta'sir hududlarda nazorat qilishga xizmat qilyotgan lokal tizimdagi asbob-uskunalar zamonaviy talablar doirasida jiddiy modernizatsiya qilinishi talab qilinadi. Seysmiklikni masofadan aniqlashning yuqori ma'lumotli usullari, seysmik to'lqinlarni ko'p komponentli yozuvlari tizimida olib borish ishlatilmaydi, amalda suv omborlari atrofida lokal seysmik stansiyalar tizimi mavjud emas. Tadqiqotlarning asosiy maqsadi O'zbekistonning 8-9 balli zilzilalar bo'ladigan hududlarda joylashgan yirik suv omborlari seysmik havf-xatar monitoringining lokal tizimi loyihasi ishlab chiqish va tuzishdan iborat. Ishda seysmik hududlarda qurilish me'yorlari va qoidalariga muvofiq gidrotexnik inshootlar qurish tartibiga asosan seysmik monitoringning lokal tizimi tuzilishi zarur bo'lgan suv omborlari ro'yhati aniqlandi. 8-9 balli zilzilalar bo'ladigan hududlarda joylashgan yirik suv omborlari seysmik havf-xatar monitoringining lokal tizimini tuzish loyihasi, maqsadi, hal qilinadigan masalalari, ilmiy tadqiqotlar jadvali va texnik topshiriq asoslari ishlab chiqildi. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 9-avgustda qabul qiligan PQ-3190-son qarorining 3-Ilovasiga muvofiq, seysmik monitoringning lokal tizimi tuzilishi zarur bo'lgan suv omborlari ob'yektlari belgilandi.

Tayanch so'zlar. Seismologiya, kuzatuv tizimi, suv omborlari, loyiha, xavf, mahalliy, tezlik, spektr, to'lqin.

Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р.
Институт сейсмологии Академия наук, Ташкент, Республика Узбекистан, hamidov_l@mail.ru
**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА И СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНАХ 8-9 БАЛЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ УЗБЕКИСТАНА**

Аннотация. Анализом проведенных за последние годы научных исследований системы слежения сейсмической опасности в зонах активного влияния крупных водохранилищ Узбекистана показано, что техническое состояние оборудование действующих в локальных сетях контроля сейсмичности в зонах их активного влияния требует существенной модернизации согласно современным требованиям. Не применяются высокоинформативные методы дистанционного зондирования сейсмичности, системы многокомпонентной записи сейсмических волн, практически отсутствует локальные сейсмические станции окружающие ближнюю зону водохранилищ. Основной целью исследований является разработка проекта эффективной системы мониторинга сейсмической опасности в зонах крупных гидротехнических сооружений, расположенных в 8-9 балльных зонах, с созданием локальных сетей мониторинга сейсмической опасности водохранилищ Узбекистана. В работе определены перечни водохранилищ, на которых необходимо внедрить локальные системы сейсмологического мониторинга в соответствии с нормами строительства гидротехнических сооружений в сейсмических районах. Обоснованы цели, задачи и графики научных исследований, а также разработка технического задания на создание локальных систем мониторинга

сейсмичности зон крупных гидротехнических сооружений, расположенных в зонах 8-9 балльной сейсмичности. Представлены объекты для реализации локальной сети сейсмологического мониторинга согласно Приложение №3 к постановлению Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 г. № ПП- 3190.

Ключевые слова. Сейсмология, система слежения, резервуары, проект, опасность, локальная, скорость, спектр, волна.

Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Khamidov Kh.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R.
Institute of Seismology Academy of Sciences, Tashkent, Republic of Uzbekistan, hamidov_1@mail.ru
DEVELOPMENT OF A PROJECT AND CREATION OF LOCAL NETWORKS FOR MONITORING SEISMIC HAZARD IN LARGE RESERVOIRS LOCATED IN ZONES OF 8-9 POINT SEISMICITY IN UZBEKISTAN

Annotation. An analysis of the scientific research carried out in recent years of the seismic hazard tracking system in the zones of active influence of large reservoirs of Uzbekistan shows that the technical condition of the equipment operating in local seismicity control networks in the zones of their active influence requires significant modernization in accordance with modern requirements. Highly informative methods of remote sensing of seismicity, systems of multicomponent recording of seismic waves are not used, there are practically no local seismic stations surrounding the near zone of reservoirs. The main purpose of the research is to develop a project for an effective seismic hazard monitoring system in the zones of large hydraulic structures located in 8-9 point zones, with the creation of local networks for monitoring the seismic hazard of reservoirs in Uzbekistan. The work defines a list of reservoirs where it is necessary to introduce local seismological monitoring systems in accordance with the norms for the construction of hydraulic structures in seismic regions. The goals, objectives and schedules of scientific research, as well as the development of technical specifications for the creation of local systems for monitoring the seismicity of zones of large hydraulic structures located in zones of 8-9 point seismicity are substantiated. Objects for the implementation of a local network of seismological monitoring are presented in accordance with Appendix No. 3 to the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated August 9, 2017 No. PP-3190.

Key words. Seismology, tracking system, reservoirs, project, hazard, local, speed, spectrum, wave.

Введение. Анализ эффективности систем сейсмического мониторинга в зонах активного влияния крупных водохранилищ Узбекистана по состоянию на 2017 г. показал, что техническое состояние оборудования используемого в локальных сетях контроля сейсмичности в зонах их активного влияния требует существенной модернизации согласно современным требованиям [1,2,3,4]. В таких крупных водохранилищах, расположенных в зонах 8-9-балльной сейсмичности как Ахангаранское, Каркидонское и Пачкамарское, практически отсутствуют локальные сейсмические станции, окружающие ближнюю зону водохранилищ.

В постановлении Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года за № 3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» утвержден «Комплекс мер по дальнейшему развитию и повышению эффективности научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства зданий и сооружений, а также повышению уровня сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан». В Приложении № 1, раздел 1, пункт № 4 изложены позиции, предопределяющие необходимость дальнейшего развития методологии мониторинга риско-образующих факторов и обеспечение оперативной оценки состояния уязвимости крупных гидросооружений сейсмическим нагрузкам на основе современных аппаратных, информационных, телекоммуникационных технологий и модельных представлений [1].

Практика исследований по гидротехническим сооружениям (Чарвак, Андижан, Гиссарак и Тупаланг), эксплуатируемым в настоящее время на территории Узбекистана и в трансграничных зонах, показало, что водохранилища, находящиеся в активных разломных зонах, наиболее уязвимы к резкой активизации сейсмичности. Поэтому исследования по разработке проекта и создания локальных сетей мониторинга сейсмической опасности крупных водохранилищ, расположенных в зонах 8-9 балльной сейсмичности Узбекистана проведены в три этапа.

Основной целью исследований является разработка проекта эффективной системы мониторинга сейсмической опасности в зонах крупных гидротехнических сооружений, расположенных

в 8-9 балльных зонах, с созданием локальных сетей мониторинга сейсмической опасности водохранилищ Узбекистана.

На первом этапе работ в 2018 году проведен анализ текущего состояния локальных систем сейсмического мониторинга в водохранилищах, расположенных в 8-9 балльных зонах сейсмичности Узбекистана; протестированы цифровые сейсмические станции, проведено измерение частот собственных колебаний нескольких плотин; определены перечень водохранилищ, на которых необходимо внедрить локальные системы сейсмологического мониторинга в соответствии с «Курилиш меъёрлари ва коидалари» (КМК-2.01.03.96) «Строительство в сейсмических районах» (далее КМК-2.01.03.96).

В рамках выполнения Государственных научно-технических программ совершенствование цифрового мониторинга сейсмичности развивалось на Чарвакском, Андижанском, Гиссаракском и Тупалангском водохранилищах. Научно-прикладными исследованиями А.Х.Ибрагимова, Л.А.Хамидова, Ф.Ф.Зияудинова, М.А.Шукурова и И.М.Алимухамедова [1,2,3] была начата работа по тестированию полного обновлению системы слежения сейсмичности в зонах указанных выше водохранилищ. За этот период системы аналоговых сейсмических станций были преобразованы в цифровые. Используя их результаты, нами выполнены работы по сбору информации о наиболее крупных техногенных объектах – водохранилищах Восточного и Южного Узбекистана, где имеются достоверная информация о параметрах сейсмичности в разные временные интервалы [4,5,6,7,8,9]. Оценка влияния Чарвакского, Андижанского, Ахангаранского, Каркидонского (Восточный Узбекистан), Гиссаракского, Пачкамарского и Тупалангского (Южный Узбекистан) водохранилищ в целом на сейсмичность районов их расположения произведена сопоставлением среднесрочных параметров сейсмического режима и их вариаций за отдельные промежутки времени [6]. Для их оценки нами использованы расчеты и построены различные карты, отражающие особенности сейсмичности за отдельные периоды наблюдений. Как пример в Табл.1 представлены значения угла наклона графика повторяемости для периодов, по которым строились карты эпицентров в зоне Чарвакского водохранилища.

Таблица 1. Значения угла наклона графика повторяемости и сейсмической активности в различные периоды (Чарвакское водохранилище).

Интервалы, Годы	Классы К	Угол наклона $\gamma \pm \sigma$	A_{10}
1973–1999	8–11	0.48 ± 0.06	0.03
1989–1999	8–11	0.49 ± 0.09	0.02
2013–2018	7–11	0.46 ± 0.07	0.03

За различные периоды времени наклон графика повторяемости практически меняется незначительно, но ошибка определения $\gamma \pm \sigma$ увеличилась значительно. Это связано с понижением уровня представительности землетрясений за последние годы из-за повышенного уровня техногенных помех. Значения сейсмической активности A_{10} имеют общую тенденцию к снижению. Для изучения особенностей сейсмичности ранее были выбраны две площади вокруг Андижанского водохранилища (восточная часть Ферганской долины Узбекистана, на границе с Республикой Киргизстан): большая, в радиусе 50–100 км и меньшая в радиусе 25–50 км. Общая площадь первой составляет 42000 кв.км.

Очевидно, что район водохранилища отличается высокой сейсмической активностью. В базу данных включены значения параметров гамма γ и A_{10} для двух районов, рассчитанные за различные интервалы времени. Долговременные значения γ гамма и A_{10} для этих районов практически совпадают. Значения этих параметров несколько отличаются по периодам. Для всего Андижанского района построены графики повторяемости. Выделяется активная зона к северо-западу от водохранилища. Вблизи водохранилища активность невысокая (0,002). По сейсмичности района Андижанского водохранилища можно отметить следующее: во время эксплуатации Андижанского водохранилища отмечается повышение значений основных показателей: значение A_{10} увеличилось, наблюдается общее увеличение числа землетрясений.

При детальном изучении сейсмичности зоны Гиссаракского, Пачкамарского и Тупалангского водохранилищ были выявлены слабые местные землетрясения с $K=8$. Расстояние,

например, между Гиссаракским и Тупалангским водохранилищами составляет менее 100 км. Проявление вышеуказанных сотрясений увеличилось со временем (2018 г.) на записях сейсмических станций, работавших в ждущем режиме, и по настоящее время (2018–2020гг) на записях цифровых сейсмических станций. Например, слабые сейсмические толчки активизировались в первом и втором кварталах 2018 года, когда уровень воды в водохранилищах поднялся выше отметки $H = 100$ м. Наблюдалось уменьшение угла наклона повторяемости γ . То, что значения γ лежит в пределах ошибок позволяет считать, что до роста интенсивности падения воды в водохранилищах среднелонгвременное значение параметра γ графика повторяемости существенно не изменялось.

В отличие от Приташкентского района и Ферганской долины, для территории Южного Узбекистана, расположенной южнее 39° с.ш. и западнее 68° в.д., получены лишь средние значения сейсмической активности A_{10} . Для построения же карт сейсмической активности данных о землетрясениях было недостаточно, поэтому определяющее значение при оценке сейсмичности этой территории придавалось фактам уже проявившихся сильных землетрясений. Пример изменчивости параметров сейсмичности Южного Узбекистана показал, что она может определенным образом влиять на оценку локальной сейсмической опасности в зонах активного влияния водохранилищ [4,5,6,7,8,9].

На основе КМК-2.01.03.96 (СНИП2.01.03.96) в 2004 году в Узбекистане составлен и утвержден ШНК 2.0611-04. «Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения» [10]. Базируясь на изложенный выше анализ и нормы эксплуатации гидротехнических сооружений в 8-9 балльных зонах сейсмичности, эксплуатируемых в настоящее время в территории Узбекистана, составлена Таблица 2.

Таблица 2. Перечень водохранилищ Узбекистана расположенных в 8-9 балльных зонах сейсмичности согласно КМК-2.01.03.96, на которых необходимо внедрить локальные системы сейсмологического мониторинга в соответствии с ШНК 2.0611-04.

№	Водоохранилища и области, где они расположены	Состояние системы инженерно-сейсмометрических наблюдений (ИССН)		Проводимые работы
		форма записи	Количество измерительных пунктов	
1	Чарвакский – Ташкентская область	цифровая	18/8	Частичная модернизация
2	Андижанский – Андижанская область	цифровая	21/8	произведена
3	Туплангский – Сурхандарьинская область	цифровая	7/3	модернизация
4	Гиссаракское – Кашкадарьинская область	цифровая	8/3	модернизация
5	Ахангаранское – Ташкентская область	отсутствует	-	Построение новой системы
6	Пачкамарское – Кашкадарьинская область	отсутствует	-	Построение новой системы
7	Каркидонское – Ферганская область	отсутствует	-	Построение новой системы

Согласно указанным нормам в водоподпорных сооружениях I и II классов при расчетной сейсмичности площадки строительства для $I \geq 7$ баллов и выше, а также при возможности опасных проявлений других геодинамических процессов (современных тектонических движений, оползней, резких изменений напряженно-деформированного состояния или гидрогеологического режима верхних частей вмещающей геологической среды и др), следует предусматривать создание системы геодинамического мониторинга. В Таблице 2 выделен перечень водохранилищ Узбекистана, расположенных в 8-9 балльных зонах сейсмичности согласно КМК-2.01.03.96, на которых необходимо внедрить локальные системы сейсмологического мониторинга в соответствии ШНК 2.0611-04с «Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения» [10].

точно определить амплитуду реальных колебаний в точке регистрации, предпочтение нужно отдать цифровым приборам.

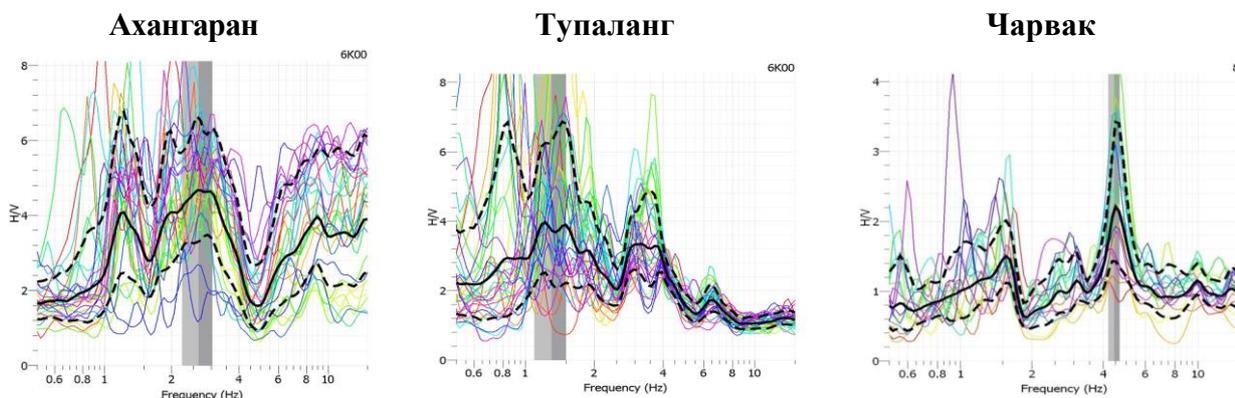
На втором этапе работ в 2019 году определены цели, задачи и планы научных исследований, разработка технического задания на создание локальных систем мониторинга сейсмичности зон крупных гидротехнических сооружений, расположенных в зонах 8–9 балльной сейсмичности Узбекистана.

Исследовано состояние баз цифровых данных частот собственных колебаний по плотинам Каркидонского (Ферганская область) и Ахангаранского (Ташкентская область) водохранилищ. Созданы базы цифровых данных частот собственных колебаний плотины Андижанского и Каркидонского водохранилищ. Определены параметры проектирования систем мониторинга сейсмичности зон крупных водохранилищ. Проведено тестирование сейсмических станций и сейсмометрических датчиков в зоне Чарвакской плотины, продолжены измерения частот собственных колебаний в береговых склонах в зоне Гиссаракского водохранилища Кашкадарьинской области. Созданы каталоги землетрясений для ближних зон водохранилищ Андижанского и Ахангаранского водохранилищ. Исследованы возможности сейсмометрии в новой системе путем проведения измерений цифровыми приборами на плотине Андижанского водохранилища. Проведено первичное проектирование расстановки сейсмоприемников по бортам и бермам водохранилища Тупаланг (Сурхандарьинская область) и разработана основа технического задания на создание локальных систем мониторинга сейсмичности зон крупных гидротехнических сооружений, расположенных в зонах 8–9 балльной сейсмичности. Анализируя состояние сейсмического мониторинга в крупных водохранилищах России, США, Китая, Индии, Греции, Кыргызстана, Таджикистана и других стран [11,12,13,14,15,16,17,18,19,20], изучив состояние изменчивости спектров HVSR (Рис.1) (полученных методом Накамуры [21]) и собственных частот колебаний (Рис.2), полученных цифровыми сейсмометрическими измерениями в крупных водохранилищах Узбекистана (табл.2 и рис.3), цели, задачи и графики научных исследований определены в следующем виде [22,23,24,25,26,27,28].

На гребне плотины и береговых склонов Чарвакского водохранилища анализ сейсмометрических измерений при оценке динамических характеристик плотины проводился методом Накамуры [29,30,31,32].

Этот метод основан на получении отношений спектров горизонтальных компонент микросейсмических колебаний к спектру их вертикальной компоненты (отношения H/V), которые представляют собой передаточную функцию разреза грунтов на всю толщу относительно несвязного геологического материала инженерного фундамента, представляющую аналог амплитудно-частотной характеристики [31,32].

В Табл. 3 показан пример основных значений, полученных в пунктах сейсмических измерений на Андижанской массивной бетонной плотине со сдвоенными контрфорсами.



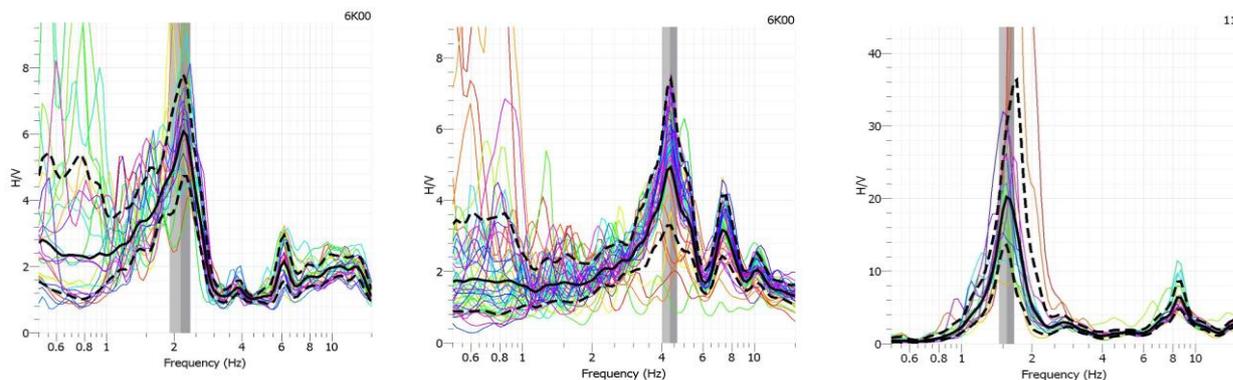


Рисунок 2. Собственные частоты колебаний плотин Ахангаранского, Тупалангского и Чарвакского водохранилищ.

Таблица 3. Основные значения сейсмометрических измерений в 16 пунктах на гребне плотины Андижанского водохранилища.

№ пункта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Собственная частота f_0	4.7	4.3	4.2	4.7	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0	4.1	4.6
Отношение амплитуд колебаний (вдоль/поперёк)	2.5	1.1	1.5	2.1	7.0	5.2	5.8	4.3	2.5	10.7	13.9	10.6	9.5
Коэффициент затухания поперёк главной оси	0.22	0.25	0.38	0.38	0.25	0.70	0.48	0.26	1.72	0.25	0.19	0.22	0.47
Коэффициент затухания вдоль главной оси	0.25	0.30	2.47	0.74	0.99	1.39	1.69	1.31	0.42	6.22	0.99	0.31	1.00
Коэффициент усиления колебаний	5.6	8.3	7.9	8.3	10.4	9.5	9.6	8.6	20.1	9.4	9.4	9.9	8.3

Достаточно высокая однородность плотины Андижанского водохранилища по сравнению с грунтовыми, или каменно-набросными плотинами Чарвакского, Тулапалангского, Ахангаранского, Гиссарсакского, Каркидонского и Пачкамарского водохранилищ может дать возможность относительной оценки уровня нелинейности деформирования плотин и их береговых склонов при высокочастотных колебаниях от местных землетрясений.

Исходя из вышеизложенного, основной целью разработки проекта и создания локальных сетей мониторинга сейсмической опасности в крупных водохранилищах, расположенных в зонах 8-9 балльной сейсмичности Узбекистана является следующее:

– обеспечение интерактивного определения колебаний плотин, береговых склонов во время сильных сотрясений и выявление распределения очагов локальных землетрясений.

Разработка проекта и создание локальных сетей мониторинга сейсмической опасности крупных водохранилищ, расположенных в зонах 8-9 балльной сейсмичности Узбекистана должна обеспечить решение следующих задач:

– обеспечение оперативного контроля над колебаниями плотин и береговых склонов и сейсмической устойчивостью плотин в пределах установленных Государственных нормами Республики Узбекистан;

– режимный мониторинг сейсмичности в зонах крупных водохранилищ для локализации сильных землетрясений и для сейсмомикрорайонирования территорий, примыкающих к крупным водохранилищам;

– определение уровней фоновой и локальной сейсмичности для целей выделения возможных техногенных землетрясений;

– обеспечение устойчивой работы системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана;

– тестирование системы мониторинга сейсмичности определением механизмов колебаний береговых склонов, тела плотины и основания водохранилищ во время землетрясений с дальнейшим выделением изменения локальной сейсмичности;

– обоснование организации комплексного мониторинга сейсмичности и основные результаты реализации цифровой системы сейсмических наблюдений на гидротехнических сооружениях Узбекистана расположенных в зонах 8-9 балльных землетрясений.

Методы оценки локальной сейсмичности, методы цифровой регистрации сейсмических волн, инструментальные и математические методы определения собственных частот колебаний плотин, береговых зон и методы интерпретации волновых форм, связанных с землетрясениями в зонах крупных водохранилищ Узбекистана, являются основными методами при разработке проекта.

На третьем этапе работ в 2020 году созданы научно обоснованные технические задания для практической реализации локальных сетей сейсмологического мониторинга в водохранилищах, расположенных в зонах 8-9 балльной сейсмичности Узбекистана при полном материально-техническом обеспечении аппаратурно-коммуникационных средств согласно Приложению №3 к постановлению Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 г. № ПП-3190. Оно будет реализовано согласно графику из Табл.4.

Таблица 19. График проведения научно исследовательских работ в объектах водохранилищ Узбекистана в зонах 8-9 балльной сейсмичности.

№	Водохранилища	Наличие ИССН	Модернизация ИССН	График проведения НИИ	
				Необходимость	Срок для реализации ИССН (в годах)
1	Андижанское	Плотина — 14 ИП, Региональных — 1, На береговых склонах — нет	На береговых склонах — 2	Не требуется	3
2	Чарвакское	Плотина — 18 ИП, Региональных — 1, На береговых склонах — нет	Плотина — 3 ИП, На береговых склонах — 2	Не требуется	3
3	Тупалангское	Плотина — 2 ИП, Региональных — 1, На береговых склонах — нет	Плотина — 8 ИП, На береговых склонах — 3	Частично требуется	4
4	Гиссаракское	Плотина — 8 ИП, Региональных — нет, На береговых склонах — нет	Плотина — 8 ИП, Региональных — 1, На береговых склонах - 2	Частично требуется	4
5	Пачкамарское	Плотина — нет, Региональных — 1, На береговых склонах — нет	Плотина — 8, Региональных — 1, На береговых склонах — 2	Требуется	5
6	Ахангаранское	Плотина — нет, Региональных — нет, На береговых склонах — нет	Плотина — 10, Региональных — 1, На береговых склонах — 2	Требуется	5
7	Каркидонский	Плотина — нет, Региональных — 1, На береговых склонах — нет	Плотина — 6, На береговых склонах — 2	Требуется	4

В заключении можем отметить, что разработанные технические задания по каждому из этих водохранилищ Узбекистана (проект «Автоматизированной системы сейсмометрических наблюдений на водохранилищах») состоят из состава, структурной схемы, технических требований к составленным частям и программных обеспечений [30,32]. Они также предусматривают разработку конструкторской и программной документации устройств преобразования информации и устройств ввода цифровой информации.

Работа выполнена при поддержке Академии наук и Министерства инновационного развития Республики Узбекистан (Государственная Программа прикладных исследований на 2018-2020 годы грант № ПЗ-2017091115), за что авторы выражают им свою искреннюю благодарность.

Литература

1. Ибрагимов А.Х. и др. Сейсмометрические оценки колебаний Чарвакской плотины.// Проблемы снижения природных опасностей и рисков «ГЕОРИСК – 2012» – Восьмая международная научно-практическая конференция, 15–19 октября, 2012, Москва. – М.: Российский университет дружбы народов. –2012. –т.1. – С.247–251.
2. Хамидов Л.А., Зиявитдинов К.Ф., Шукуров М.Ш. Жесткостные характеристики массивов горных пород в ближней зоне водохранилищ.// Журнал Геология и минеральные ресурсы. – 2010. – № 4. – С.34–39.
3. Хамидов Л.А., Шукуров М.А. Локальная сейсмичность зоны деформационного влияния Гиссаракского водохранилища.// Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.- Материалы III Международной сейсмологической школы – Кисловодск, 20-24-октября 2008 г. – С.211–216.
4. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность.// Журнал «Доклады АН РУз» – Ташкент. – 2018. – Ташкент. – №2. – 2018. – С.74–79.
5. Ибрагимов А.Х., Хамидова Х.Л. Оценка динамических воздействий на борта карьеров при промышленных взрывах.// Кончилик хабарномаси. – Навои № 3 – 2018. – С.67–69.
6. Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Обеспечение мониторинга техногенной сейсмичности в зонах водохранилищ Узбекистана // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике. – 26–30 март 2018. – Екатеринбург, Россия. – С.182–184.
7. Хамидов Х.Л. Собственные колебания плотины Гиссаракского водохранилища. // Современная техника и технологии в научных исследованиях. -X Международная конференция молодых ученых и студентов. 18-20 апреля 2018.- Бишкек, Кыргызстан. – С.243–244.
8. Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л. Оценка колебания плотин Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ Южного Узбекистана.// Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата. – Десятая международная научно-практическая конференция по проблемам снижения природных опасностей и рисков «ГЕОРИСК – 2018» – 23–24 октября 2018 года. – Москва. – С.52-57.
9. Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л. Частота собственных колебаний плотин Резаксайского и Каркидонского водохранилищ Ферганской долины.// Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии – Международная научная конференция. – Ташкент, Узбекистан. – 15–16 октября 2018. – С.461-464.
10. ШНК 2.0611-04.// Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения. – Ташкент: Госархитекстрой. – 2004. – 114 с.
11. Gupta H.K., 2002. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. Earth-Science Reviews 58 (3–4), 279–310.
12. Kato T., Honda T., Kawato S. The seismic analysis of an earth-fill dam on thick liquefiable ground and countermeasures against a large earthquake // International Symposium on «Appropriate technology to ensure proper Development, Operation and Maintenance of Dams in Developing Countries» Johannesburg, South Africa, 18 May 2016. © SANCOLD, ISBN 978-0-620-71042-8.
13. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы./ Под.ред. Н.В.Шарова, А.А.Маловичко, Ю.К.Щукина. Кн.2.- Микросейсмичность. - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2007. – 96 с.
14. Le Feuvre M. et al., 2015. Passive multi-channel analysis of surface waves with cross-correlations and beamforming. Application to a sea dike, Journal of Applied Geophysics, 114, pp. 36-51.
15. Le Huy Minh (Project manager), 2017. Study of Seimotectonic effect to stability of Tranh River, No.2 Hydroelectric Plant, North Tra My district, Quang Nam province, Code: ĐТĐL.2012-G/57.
16. Calcina S.V., Eltrudis L., Piroddi L., Ranieri G., Ambient Vibration Tests of an Arch Dam with Different Reservoir Water Levels: Experimental Results and Comparison with Finite Element Modelling

// The Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 692709, 12 pages. Hindawi Publishing Corporation.

17. Antonovskaya G., Kapustian N., Ngo Thi Lu Seismic engineering investigation of hydropower station dams // 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul avg.25-29, 2014. pp. 223-233.

18. Calcina S.V., Eltrudis L., Piroddi L., Ranieri G., Ambient Vibration Tests of an Arch Dam with Different Reservoir Water Levels: Experimental Results and Comparison with Finite Element Modelling // The Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 692709, 12 pages. Hindawi Publishing Corporation.

19. Гамзатов Т.Г., Саидов М.А., Баксараев А.М., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инновационная сейсмологическая система мониторинга плотин ГЭС в Дагестане // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века №5, 2014. С.28–31.

20. Довгань В.И. Микросейсмические шумы в теле плотины Токтогульской ГЭС. // Вестник КРСУ. – 2015 – том 15. №5. С.162–166.

21. Nakamura Y.A., Gurler, E. Dilek, Saita J. et al. Vulnerability investigation of Roman Coliseum using microtremor // Proceeding, 12th WCEE 2000 in Auckland. NZ. P. 1-8.

22. Хамидов Х.Л. Обработки записей землетрясений, полученных с помощью системы мониторинга на плотине Гиссаракского водохранилища. // Двадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике. – 18–23 марта 2019 г. г. Пермь. – С.213-217.

23. Хамидов Х.Л., Анварова С.Г., Ибрагимов А.Х. Некоторые результаты совершенствования системы сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища. //Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XI-Междунар. конф. молодых ученых и студентов. В 2 т. Т. 1. – Бишкек: НС РАН. – 2019. – С. 219-226.

24. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л. Возможности совершенствования системы мониторинга сейсмичности в зонах Чарвакского и Андижанского водохранилищ.// Проблемы сейсмологии. – Ташкент. –2019 –№ 1. –С.51–60.

25. Хамидов Х.Л., Анварова С.Г., Ибрагимов А.Х. Анализ результатов записей землетрясений на плотине Чарвакского водохранилища.// Всероссийской конференции с международным участием «Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. «Глубинное строение, геодинами-

ка, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Екатеринбург 23–27 сентября 2019 г. – С.267–271.

26. Хамидов Л.А. Оценка амплитудно-частотных характеристик сейсмометрических каналов на теле плотины.// Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей.- Всероссийской конференции с международным участием «Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург 23–27 сентября 2019 г. –С. 272–276.

27. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Кадиров А. Смещения береговых склонов водохранилищ от изменения ее объема.// Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр. – Международная научно-практическая конференция, 10–11 октября 2019 г., Ташкент, Узбекистан. – С.429–433.

28. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Основы для обновления сейсмометрических систем в крупных водохранилищах Узбекистана.// Зилзила билан боғлиқ юзага келиши мумкин бўлган фавқулудда вазиятларда аҳолининг ҳавфсизлигини таъминлаш масалалари. – ЎзР ФВВ Республика илмий –амалий семинари материаллари тўплами. – Тошкент, 12 октябрь. – 2019. – Б.40-46.

29. Khayrulla Lutfullaevich Khamidov Organization of seismic monitoring in reservoir areas.// Second International Scientific Conference of Young Scientists on "Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences (Natural sciences)", 3-6 March, 2020 y, Baku, Azerbaijan., P. 254-256.

30. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Анварова С.Г., Ибрагимов Ф.И. Результаты обработки данных за текущий период по записям землетрясений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища. // J.Seysmologiya muammolari. –№1(2), – 2020. –С. 50–64.

31. Анварова С.Г., Хамидов Х.Л., Ибрагимов Ф.И. Распределение слабых землетрясений в ближней зоне Чарвакского водохранилища Узбекистана.// XXI Уральская молодежная научная школа по геофизике, 23–27 марта 2020 года, Екатеринбург, Россия, С.8–13.

32. Хамидов Х.Л., Ибрагимов А.Х., Хамидов Л.А. Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища.// Вестник УГЗ Белоруссии – т.4 – №3 – С.287–296.

Mundarija	sah.
Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzayev M.A. Tezkor usulda O‘zbekiston hududida bo‘lishi mumkin bo‘lgan kuchli zilzilalarning uzoq muddatli bashorat qilish samaradorligini baholash va seysmik faol hududlarning yangi xaritasi	3
Atabayev D.X., Israilova Z.U. Turon platformasi bilan Tyan-Shan orogeni strukturalari orasidagi zonalar yer po‘sti tog‘ jinslarining fizik xususiyatlari (I-I Beshagach — Samarqand — Navoiy — Dul-dul profili misolida).....	18
Ibragimov A.H., Li A. O‘zbekistonda kuchli zilzilalarning erta ogohlantirish tizimini amalga oshirish.....	26
Abdullabekov K.N. Zilzilalarni bashorat qilish muammosi bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarning holati va ularni 2021–2030 yillarda rivojlantirish kontseptsiyasi.....	35
Nurmatov U.A., Sodiqov Yu.M., Yusupdjanova U.A. 2017-yil 29-sentyabr Baxmal zilzilasi sodir bo‘lish seysmotektonik va seysmologik sharoitlari.....	45
Xamidov L.A., Alimuxamedov I.M., Xamidov H.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R., Ibragimov F.I. Yirik suv omborlari asosidagi kuchlanganlik-deformatsiyalanish holati o‘zgarishini ularning yaqin atrof local geodinamikasiga ta’sirining modellari.....	52
Ismailov V.A., Allaev Sh.B. Hisoblash usuli asosida Toshkent shahar hududini seysmik mikrorayonlashtirish natijalari to‘g‘risida.....	62
Xamidov L.A., Ibragimov A.X., Xamidov X.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R. O‘zbekistonning 8-9 balli zilzilalar bo‘ladigan hududlarida joylashgan yirik suv omborlari seysmik havf-xatar monitoringining lokal tizimi loyihasi ishlab chiqish va tuzish.....	74

Содержание	стр.
Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Оценка эффективности долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Узбекистана в режиме реального времени и новая карта областей ожидаемой сейсмической активизации.....	3
Атабаев Д.Х., Исраилова З.У. Физические свойства пород земной коры зоны сочленения Туранской платформы с орогенными сооружениями Тянь-Шаня (на примере профиля I-I Бешагач – Самарканд – Навои – Дуль-дуль).....	18
Ибрагимов А.Х., Ли А. Реализация системы раннего оповещения о сильных землетрясениях Узбекистана.....	26
Абдуллабеков К.Н. Состояние научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений и концепция их развития на 2021–2030 годы.....	35
Нурматов У.А., Садыков Ю.М., Юсупджанова У. А. Сеймотектоническая и сейсмологическая условия возникновения Бахмальского землетрясения 29 сентября 2017 года.....	45
Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р., Ибрагимов Ф.И. Модели вариации напряженно-деформированного состояния оснований крупных водохранилищ воздействующих на локальную геодинамику зон их активного влияния.....	52
Исмаилов В.А., Аллаев Ш.Б. О результатах сейсмического микрорайонирования территории Ташкента на основе расчетного метода.....	62
Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р. Разработка проекта и создание локальных сетей мониторинга сейсмической опасности в крупных водохранилищах, расположенных зонах 8–9 балльной сейсмичности Узбекистана.....	74

Content	page
Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Evaluation of the of strong earthquakes long-term forecasting efficiency FOR the Uzbekistan territory in real time and a new map of expected seismic activation areas.....	3
Atabaev D.Kh., Israilova Z.U. Physical features of the earth's crust rocks within the joint zone between the Turanan platform and the orogenic structures of the Tien-Shan (on the example of profile I-I Beshagach - Samarkand - Navoi - Dul-dul).....	18
Ibragimov A.Kh., Li A. Implementation of the early warning system for strong earthquakes in Uzbekistan	26
Abdullabekov K.N. The state of scientific research on the problem of forecasting earthquakes and the concept of their development for 2021-2030.....	35
Nurmatov U.A., Sadykov Yu.M., Yusupdzhanova U.A. Seismotectonic and seismological conditions of the occurrence of the Bakhmal earthquake of September 29, 2017.....	45
Khamidov L.A., Alimukhamedov I.M., Khamidov Kh.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R., Ibragimov F.I. Models of variation of the stress-strain state foundations of large reservoirs affecting local geodynamics zones of their active influence.....	52
Ismailov V.A., Allaev Sh.B. On the results of seismic microzoning of the territory of Tashkent based on the calculation method.....	62
Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Khamidov Kh.L., Artikov F.R., Ganieva B.R., Anvarova S.R. Development of a project and creation of local networks for monitoring seismic hazard in large reservoirs located in zones of 8-9 point seismicity in Uzbekistan.....	74

SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

SEISMOLOGY PROBLEMS

№ 2 , том 2, 2020

Мусаххих Н.Мирходиев (ўзбек, рус).

Компьютерная верстка Л.А. Хамидов, Х.Л. Хамидов

Формат 80-64 1/8 Усл. печ.л. 3,8. Тираж 100 экз.
Отпечатано в Бизнес Полиграф
Ташкент, Чиланзар, ул. Козиробот, 65.

Обуна индекси (подписью индексе) 1351