НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ИМ М.М. АДЫШЕВА
И ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ НАН КР

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 25.17.555

На правах рукописи
УДК 550.343.4

МУРОДКУЛОВ Шохрух Якубович

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ Г. ДУШАНБЕ

25.00.10 - Геофизика, геофизические методы
поиска полезных ископаемых

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Бишкек- 2018

Работа выполнена в Институте геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академия Наук Республики Таджикистан

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Абдрахматов Канатбек Ермекович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Токтосопиев Алымбай Молдокматович
кандидат геол.-минер. наук
Апаяров Фарид Хурматович

Ведущая организация: Научная станция Академии наук РФ в г. Бишкек. Адрес:720049, Кыргызстан. Бишкек-49

Защита состоится «14» мая 2018 г. в 14:00 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д. 25.17.555 при Институтах геологии и сейсмологии НАН КР по адресу: 720481, г. Бишкек, бул. Эркиндик, 30.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Институте геологии им. М.М. Адышева НАН КР, по адресу: 720481, г. Бишкек, бульвар Эркиндик 30. Тел.: (+996 312) 664737; e-mail: ig.dissovet.kg@gmail.com, и на сайте www.vak.kg.

Автореферат разослан « » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
кандидат географических наук Д. Тиленова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Последняя карта сейсмического микрорайонирования г. Душанбе (ныне действующая как нормативная) была создана в 1975г. При этом, как правило, большей частью использовался метод инженерно-геологических аналогий и данные макросейсмических исследований прошлых землетрясений.

В связи с расширением площади застройки территории г. Душанбе, строительством высотных зданий (более 20 этажей), усложнением норм сейсмостойкого строительства, появляется необходимость в более точном определении параметров сейсмических воздействий на различных типах грунтов для обеспечения гарантии сейсмостойкого проектирования и строительства на территории г. Душанбе.

С учетом геологических и тектонических особенностей района г. Душанбе, распределением источников землетрясений, а именно активных разломов, появлением новых методов выполнения работ по сейсмическому микрорайнированию, возникает необходимость изучения применимости современных инструментальных методов измерений сейсмических свойств грунтов для уточнения действующей карты сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе.

Связь темы диссертации с крупными научными программами. Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ лаборатории «Оценка сейсмической опасности и геоэкологии» Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан как за счет бюджета, так и на договорных началах. Также значительная часть исследований сделана в рамках международных проектов NISMIST (Management of environmental risk from landfills in seismically active regions in the New Independent States (NIS) of Central Asia) в 2006 -2009гг. и GEM-EMCA (Global Earthquake Modeling – Earthquake Modeling in Central Asia) в 2012 -2014гг. В этих проектах автор принимал непосредственное участие (установка сейсмических станций на точках измерений, сбор и первичная обработка сейсмических записей).

Цель и задачи исследования. Основная цель диссертационной работы – исследовать применимость современных методов измерений сейсмических и акустических шумов (метод Накамуры) с помощью цифровых сейсмических приборов на территории г. Душанбе для целей сейсмического микрорайонирования. Для этого были выполнены следующие задачи:

1. Проведено детальное сейсмическое районирование района г. Душанбе (в пределах области радиусом 160 км от г. Душанбе) в единицах пиковых ускорений грунта с использованием ГИС технологий для определения, так называемой, фоновой сейсмичности (исходного балла сейсмического районирования, если использовать термины общего сейсмического районирования).
2. Полученные при этом значения сейсмических ускорений использовались как эталонные при расчетах сейсмических воздействий с учетом коэффициента усиления грунтов различных свойств и состояния. Таким образом были получены числовые значения сейсмических воздействий в виде сейсмических ускорений на территории г. Душанбе в зависимости от локальных свойств грунтов.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые выполнено детальное сейсмическое районирование района расположения г. Душанбе в единицах пиковых ускорений грунта с использованием ГИС технологий и современных методов расчетов сейсмических воздействий.
2. Впервые выполнено сейсмическое микрорайонирование значительной части г. Душанбе в единицах пиковых ускорений грунта с учетом локальных свойств грунтов при помощи современных цифровых сейсмографов.

Практическая значимость полученных результатов. Предлагается быстрый и дешевый способ инструментальной оценки сейсмических свойств грунтов для целей сейсмического микрорайонирования, не требующий изучения физико-механических свойств грунтов традиционными методами инженерной геологии и дающий численное значение сейсмических ускорений в пределах участков территории с задаваемыми размерами.

Основные защищаемые положения диссертации, выносимые на защиту.

1. На основе использования ГИС технологий выполнить детальное сейсмическое районирование (для скальных грунтов), которое будет основой для дальнейших работ по сейсмическому микрорайонированию.
2. Апробировать способ расчета сейсмических воздействий в значениях пиковых ускорений грунта с учетом локальных свойств грунтов при помощи ГИС технологий и использования записей сейсмических и акустических шумов (метод Накамуры), который можно

использовать для выполнения дальнейших работ по сейсмическому микрорайонированию

a. Апробировать методику современных методов инструментальной сейсмологии в условиях г. Душанбе для целей сейсмического микрорайонирования.

Личный вклад соискателя. Соискатель принимал участие в проведении полевых работ, сборе и первичном анализе данных инструментальных наблюдений. Самостоятельно выполнены расчеты сейсмических воздействий с использованием ГИС программ ArcGIS Desktop и ArcGIS Spatial Analyst для района и территории г. Душанбе.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались на различных международных конференциях и встречах, а именно: Международная конференция, посвященная 60-летию со дня Хаитского землетрясения 1949г. Душанбе, 2009г.; Республиканская научная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения академика АН РТ Р.Б. Баратова «Современные вопросы геодинамики и минерагении Памиро-Тянь-Шаня». Душанбе, 2012г.; Conference of Europian GeophisicalUnion 2014. Vienna, Austria, 2014.

Публикации. Промежуточные результаты, основные положения диссертации опубликованы в 9 научных статьях в различных сборниках и журналах местных изданий и ближнего зарубежья.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованной литературы. Текст диссертации содержит 81 стр., 38 иллюстраций, 2 таблицы и 46 наименований библиографических источников.

Работа выполнена в Институте геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии, Академии наук Республики Таджикистан под руководством доктора геолого-минералогических наук Абдрахматова Канатбека Ермековича и при консультационной и методической поддержке кандидата геолого-минералогических наук Ищук Анатолия Ростиславовича. В процессе работы над диссертацией автор получал ценные советы, рекомендации и другую неоценимую помощь от А.М. Бабаева, М.С. Саидова, Ф.Х. Каримова. Марко Пилца (Marco Pilz) из GFZ-Potsdam, Германия, которым автор приносит свою искреннюю благодарность. Особую признательность автор выражает научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук К.Е. Абдрахматову за постоянное внимание, содействие и неоценимую помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** приводятся актуальность темы, поставленная цель и определены задачи исследования; сформулированы основные защищаемые положения, определены научная новизна исследования, практическая значимость полученных результатов.

В первой главе *излагаются представления о геологических и сейсмических условиях района расположения г. Душанбе, дается описание основных активных разрывов, играющих роль источников землетрясений, приводится характеристика четвертичных отложений на территории города, распределение эпицентров и характер землетрясений, история сейсмометрических наблюдений в Таджикистане. Также дается обзор ранее выполненных работ по сейсмическому микрорайонированию территории города.*

Город Душанбе расположен вблизи границы структур Южного Тянь-Шаня и Таджикской депрессии, между двумя зонами крупных разломов: Гиссаро-Кокшаальского на севере и Илякского на юге. Выкопировка из геологический карты района г. Душанбе представлена на рис. 1.

С севера в пределах Гиссарского хребта наблюдается целая серия разрывов, объединяемая А.М. Бабаевым в зону Гиссаро-Кокшаальского разлома, являющуюся основной сейсмогенерирующей структурой этого района. Все разрывы этой зоны сопровождаются интенсивным брекчированием и трещиноватостью пород.

Илякский разлом ограничивает район Гиссарской долины с юга. Значительная часть разлома перекрыта современными наносами, поэтому он изучается, в основном, геофизическими методами. По этому разлому устанавливается различие в смещениях по породам чехла и складчатого основания.

Если по верхним горизонтам осадочного чехла наблюдается ступень с опущенным северным крылом, то напротив, по нижним горизонтам чехла и фундаменту опущенным оказывается южное крыло разлома. Амплитуда тектонического уступа по поверхности фундамента достигает в восточной части долины 5 км.

Судя по сейсмическим и геофизическим данным, роль границы разрывного характера в земной коре между Южным Тянь-Шанем и Таджикской депрессией, скорее всего, выполняет именно Илякский разлом, который также не однороден по простиранию.

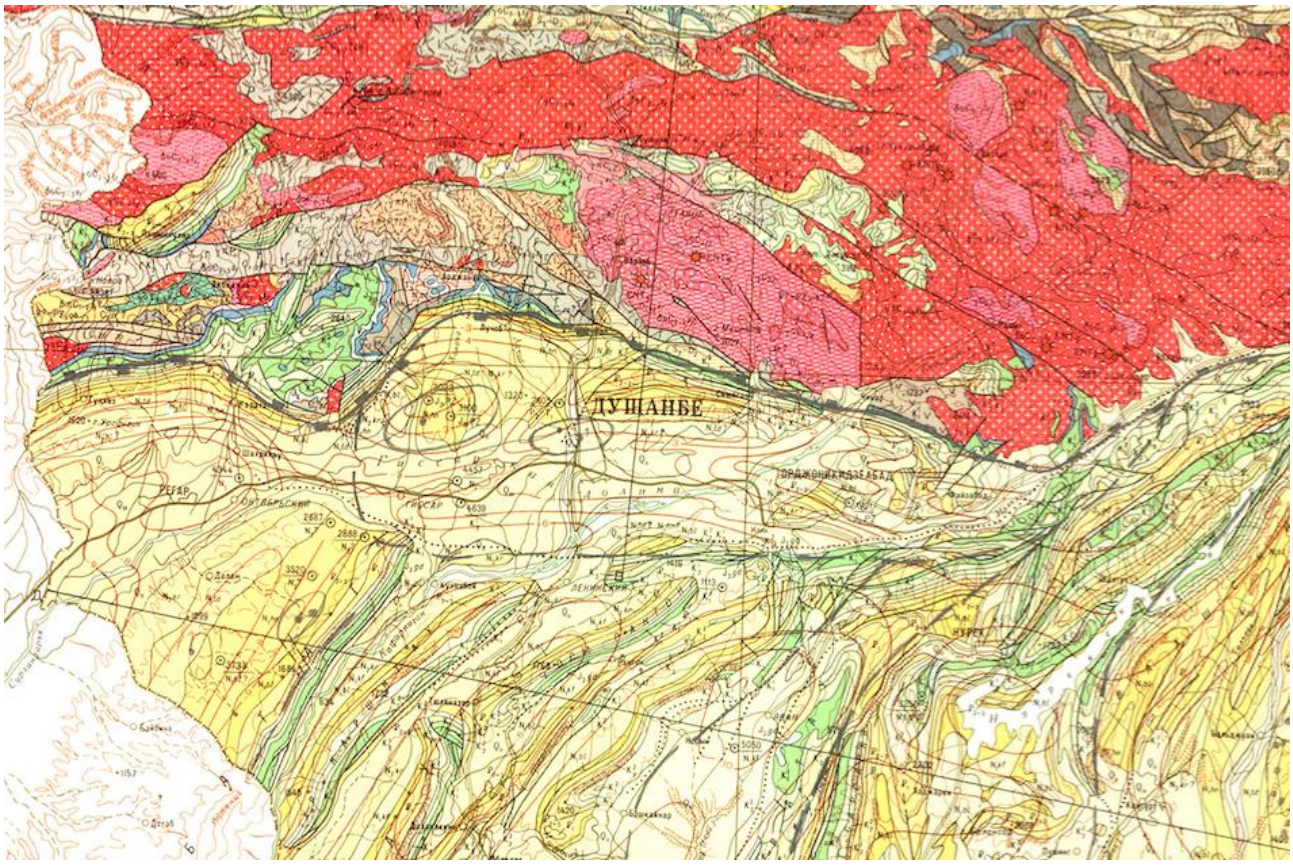

Рис. 1. Геологическое строение района г. Душанбе (условные обозначения соответствуют общепринятым для геологических карт) (Геологическая карта Таджикской ССР. М 1:500000. Гл. Ред.: Марковский А.П., Верхов В.И. Изд-е ВСЕГЕИ. Москва. 1974)

Поскольку наибольший эффект на сейсмические воздействия оказывают рыхлые четвертичные отложения, в данном разделе рассматриваются геология и свойства четвертичных отложений на территории г. Душанбе и его окрестностей.

Основная часть территории города расположена на террасах р. Душанбинки и р. Кафирниган и частично на примыкающих к ним холмах-адырах, предгорьях и делювиальном шлейфе Гиссарского хребта на средней высоте 800-900 м над уровнем моря.

Нижняя, или первая пойменная, терраса представляет собой узкую, ровную, покатую и расширяющуюся к югу площадку вдоль р. Душанбинки. Она сложена галечниками с прослоями песка и валунов. Эти же валунно-галечниковые отложения залегают под второй и третьей террасами. Мощность их в центре правобережья достигает 300 м, уменьшаясь к северу, западу и

востоку так, что у адыров (холмы в предгорной части Гиссарского хребта) оказывается менее 20-30 м.

Вторая терраса обрывом в 1-3 м возвышается над первой, понижаясь на 80 м на протяжении 8 км от устья р. Лучоб до устья р. Душанбинки. Терраса сложена лессами мощностью от 1 до 5 м.

Третья терраса возвышается над второй на 12-18 м и сложена лессами мощностью от 10 до 30 м. С северо-востока на юго-запад она понижается на 120 м с уклоном около 3%.

Галечники сравнительно однородны по составу и свойствам. Несущая способность их оценена в 5-6 кг/см^2. Грунтовые воды обнаружены только близ берегов рек Душанбинки (на глубине 40 и, у кожзавода и ТЭЦ) и Кафирнигана (на глубине от 2 м близ устья р. Душанбинки до 14 м на 5 км восточнее его).

Северо-восточные и северо-западные холмы предгорья покрыты лессовым чехлом мощностью до 15-20 м, ниже которого залегают плотные глины, прослои галечников, песчаников и конгломератов.

Как известно, на территорию Таджикистана оказывают воздействие два типа землетрясений: коровые с очагами H < 5 - 70 км и глубокофокусные Памиро-Гиндукушские землетрясения (H > 70 - 400 км).

Основная эпицентральная зона – Южно-Тянь-Шаньская, вытянута в субширотном направлении и совпадает с простиранием зоны Гиссаро-Кокшаальского разлома. Здесь известно несколько катастрофических землетрясений с Mw ≥ 7.2. Это Кашгарское в 1902г., Каратагское в 1907г., Хаитское в 1949г. На Памире известно два таких события: Сарезские землетрясения 1911 и 2015 годов.

Первое сейсмическое микрорайонирование территории Душанбе было выполнено В.О. Цшохером в 1937 г. для Ленинградского Гипрогора, составлявшего генеральный проект планировки города. В дальнейшем работы по микросейсморайонированию территории города выполнялись как на основе макросейсмических данных, так и анализа записей слабых землетрясений с использованием аналоговой аппаратуры выполнялись С.В. Медведевым, В.А. Нечаевым, А.А. Мусаеляном, Л.А. Коганом, Х.М. Мирзобаевым, О.А. Романовым, Г.О. Ориповым. К 1975г. были составлены две карты сейсмического микрорайонирования г. Душанбе в масштабе 1:25000. Первая карта была составлена для зданий высотой до 5 этажей, вторая – для зданий повышенной этажности (более 5 этажей).

По мнению авторов этих карт, малоэтажные здания, имеющие высокую частоту собственных колебаний, окажутся на галечниковых грунтах вне зоны резонанса и будут испытывать гораздо меньшие сейсмические воздействия. На лёссах же эти здания будут в зоне резонанса с колебаниями самой толщи лёсса,

имеющей период колебания на территории города 0,15 - 0,3с. Данная карта до настоящего времени является нормативной.

Во второй главе *приводится описание исследований, выполненных для составления карты детального сейсмического районирования района г. Душанбе в единицах пиковых ускорений грунта с использованием ГИС технологий для целей сейсмического микрорайонирования.*

На территории Таджикистана в настоящее время в качестве нормативного документа используется карта общего сейсмического районирования, составленная в 1978г.

Новая карта сейсмогенерирующих зон (зон ВОЗ) территории Таджикистана, используемая для составления карты общего сейсмического районирования, была составлена в 1984г. К сожалению, новая карта сейсмического районирования на основе этой карты зон ВОЗ так и не была составлена.

Все большее место в мировой практике занимает оценка пиковых ускорений грунта (Peak Ground Acceleration – PGA) при землетрясении как показателя сейсмического воздействия.

Как правило, для целей общего сейсмического районирования (оценка сейсмического воздействия для большой территории), берется среднее значение ускорений или скоростей в, так называемых, скальных породах. Локальные грунтовые условия учитываются при сейсмическом микрорайонировании.

Анализ нескольких эмпирических зависимостей затухания колебаний земной поверхности при землетрясениях, полученных в последние годы, позволил сделать допущение, что наибольшее соответствие условиям Таджикистана имеет формула затухания, предложенная Аккаром и Буммером (Akkar and Bommer) в 2007г. для вычисления пиковых ускорений грунта для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний:

$$log_{10}[PGA] = 4.185 - 0.112M + (-2.963 + 0.29M)log_{10}\sqrt{R_{jb}^2 + 7.593^2} +$$

$$+ 0.099S_s + 0.02S_A - 0.034F_N + 0.104F_R \qquad (1),$$

где PGA – горизонтальная составляющая сейсмических ускорений в см/сек2, M –моментная магнитуда, R_{jb} – ближайшее расстояние от проекции плоскости разрыва на поверхность, S – коэффициент, учитывающий тип грунта (S_S и S_A приняты равными 0) и F – коэффициент, учитывающий тип разлома - F_N = 0 для сбросов и F_R = 1 для взбросов (в наших расчетах принято F_N =0 и F_R = 1.)

Для района расположения г. Душанбе была выполнена детальное сейсмическое районирование опасности в значениях пиковых ускорений грунта, суть которой в следующем.

В соответствии с рекомендациями Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) при расчете сейсмической опасности района расположения г. Душанбе принимались во внимание только те участки сейсмически активных зон, которые попадали в выделенную область радиусом 160 км с центром в месте расположения города (рис. 2).

Согласно карте сейсмогенерирующих зон (зон ВОЗ), каждый сейсмогенерирующий разлом оценен с точки зрения максимально возможной магнитуды землетрясений (локальной магнитуды M_{LH}), которые могут возникать в зоне его влияния. Градация максимально возможных локальных магнитуд следующая: $M_{LH} = 5{,}5$; $M_{LH} = 6{,}5$; $M_{LH} = 7{,}0$ и $M_{LH} = 7{,}5$. Для каждого из таких разломов подсчитываются зависимости затуханий колебаний (ускорений) земной поверхности от расстояний по формуле (1).

Далее, поскольку землетрясение происходит на глубине в зоне разлома, то положение эпицентра на поверхности не совпадает с местом выхода на поверхность этого разлома, показанного на карте. В связи с этим, при выполнении расчетов были приняты следующие допущения.

Углы падения упомянутых выше разломов изменяются от 50 до 70 градусов, и средняя величина была принята в 60 градусов. Средняя глубина гипоцентров землетрясений с магнитудой $M_{LH} \geq 7 - 8$ составляет 20 км, а для землетрясений с $M_{LH} \geq 6 - 6{,}5 - 15$ км (для территории Средней Азии).

Таким образом, положение эпицентров землетрясений с $M_{LH} \geq 7 - 8$, а, следовательно, и точка расчета расстояний, смещается в сторону падения плоскости разлома на расстояние в 12 км от положения его на поверхности, а для землетрясений с $M_{LH} \geq 6 - 6{,}5$ – на расстояние в 9 км.

Карта линейных источников землетрясений (сейсмогенерирующих разломов) с учетом изложенного выше показана на рис. 2. Построение карт и необходимые вычисления выполнялись в программах ArcGIS Desktop и ArcGIS Spatial Analyst.

Таким образом получилось распределение по площади (матрица) значений PGA, т.е. область внутри круга с радиусом 160 км имела значения PGA в каждой ячейке размером 500м х 500 м. Для каждого набора сейсмогенерирующих разломов с заданной магнитудой строилась матрица значений PGA. В каждой ячейке выполнялось интегрированное сложение значений PGA со всех матриц с сохранением максимального значения PGA. Результирующая карта показана на рис. 3.

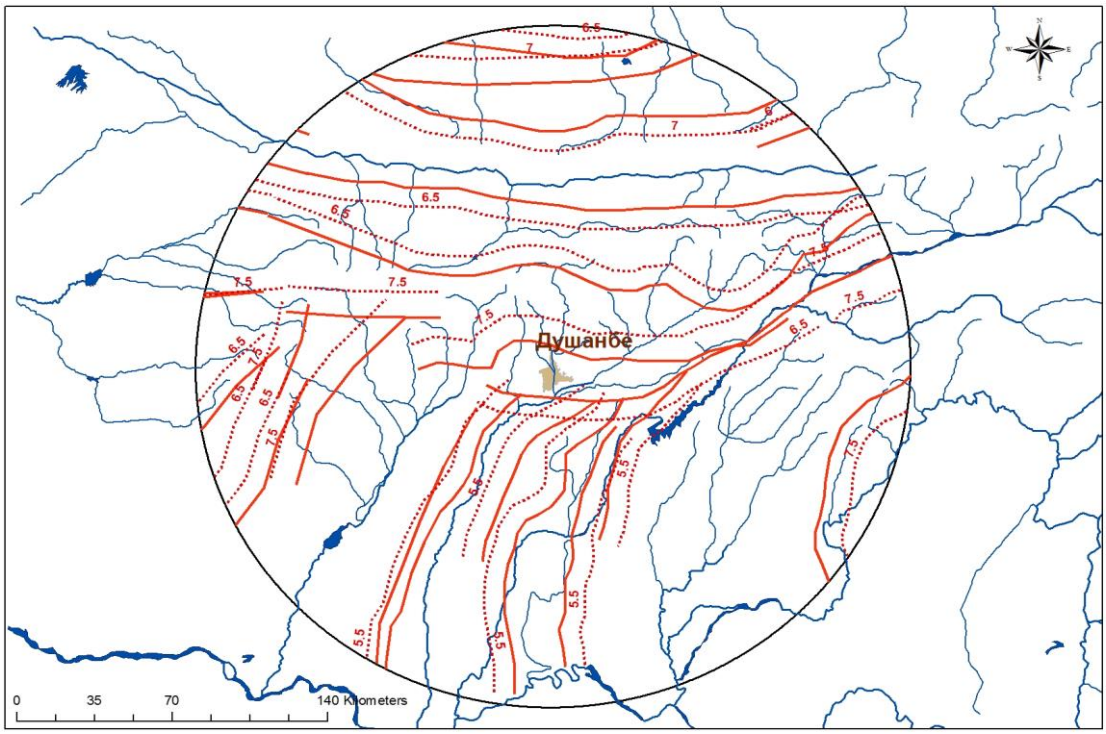

Рис. 2. Схема расположения линейных источников землетрясений (сплошная линия) и проекция их на поверхность с учетом падения и средней глубины очага (пунктирная линия) в радиусе 160 км от г. Душанбе

Таким образом, для района г. Душанбе с помощью ГИС технологий впервые была получена карта распределения пиковых ускорений грунта в ячейках размерами 500м х 500м (карта детального сейсмического районирования), которая в дальнейшем использовалась для целей сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе с применением цифровых томографов и метода измерения акустических шумов (метод Накамуры).

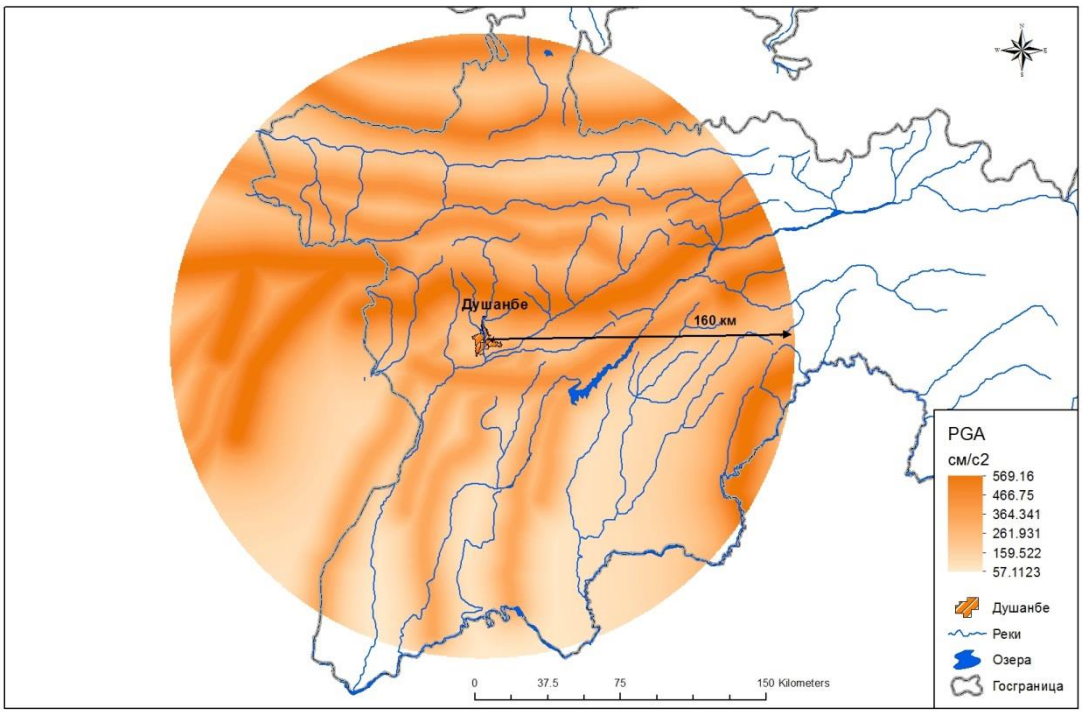

Рис. 3. Карта распределения пиковых ускорений грунта для района расположения г. Душанбе.

В третьей главе *сделан обзор исследований сейсмических свойств грунтов на территории г. Душанбе при помощи цифровых сейсмических станций EDL, выполненных в рамках проекта GEM – EMCA (Global Earthquake Modeling - Earthquake Modeling for Central Asia), в которых автор принимал непосредственное участие.*

Проводилось инструментальное исследование сейсмических свойств грунтов на территории г. Душанбе в 2012г. Для этих целей на территории г. Душанбе была установлена временная плотная сейсмическая сеть из 45 сейсмических станций EDL производства Федеративной Республики Германия(рис. 4), позволившая провести измерения в 72 точках. Кроме того, были измерены сейсмические шумы 37 одиночными станциями, а также построены 4 сейсмических профиля. Все измерения проводились в фактических границах застроенной территории, а также к западу и югу от границ города. Данные исследования позволяют определить пространственную изменчивость сейсмических свойств грунтов.

Ближайшая к городу базовая станция была установлена на тонкий слой (несколько метров) лессовидного суглинка с подстилающим галечником на склоне холма. Вторая станция была установлена на выходе палеозойских пород

(граниты) на расстоянии около 20 км к северу от города (на рис. 4 она не показана).

Было обнаружено, что для низких частот (< 1Гц) горизонтальные составляющие являются скорее симметричными с высокой вероятностью, близкой к 50 процентилям. Наоборот, на высоких частотах (>1Гц) разница в 20 – 30 децибел между 10 и 90 процентилями отражает значительные суточные вариации индустриальных шумов из-за человеческой активности. Таким образом, хотя станции в городе показывают существенные вариации уровней шумов в течение дня, определение эффекта усиления достоверно вплоть до частоты 0,2 Гц.

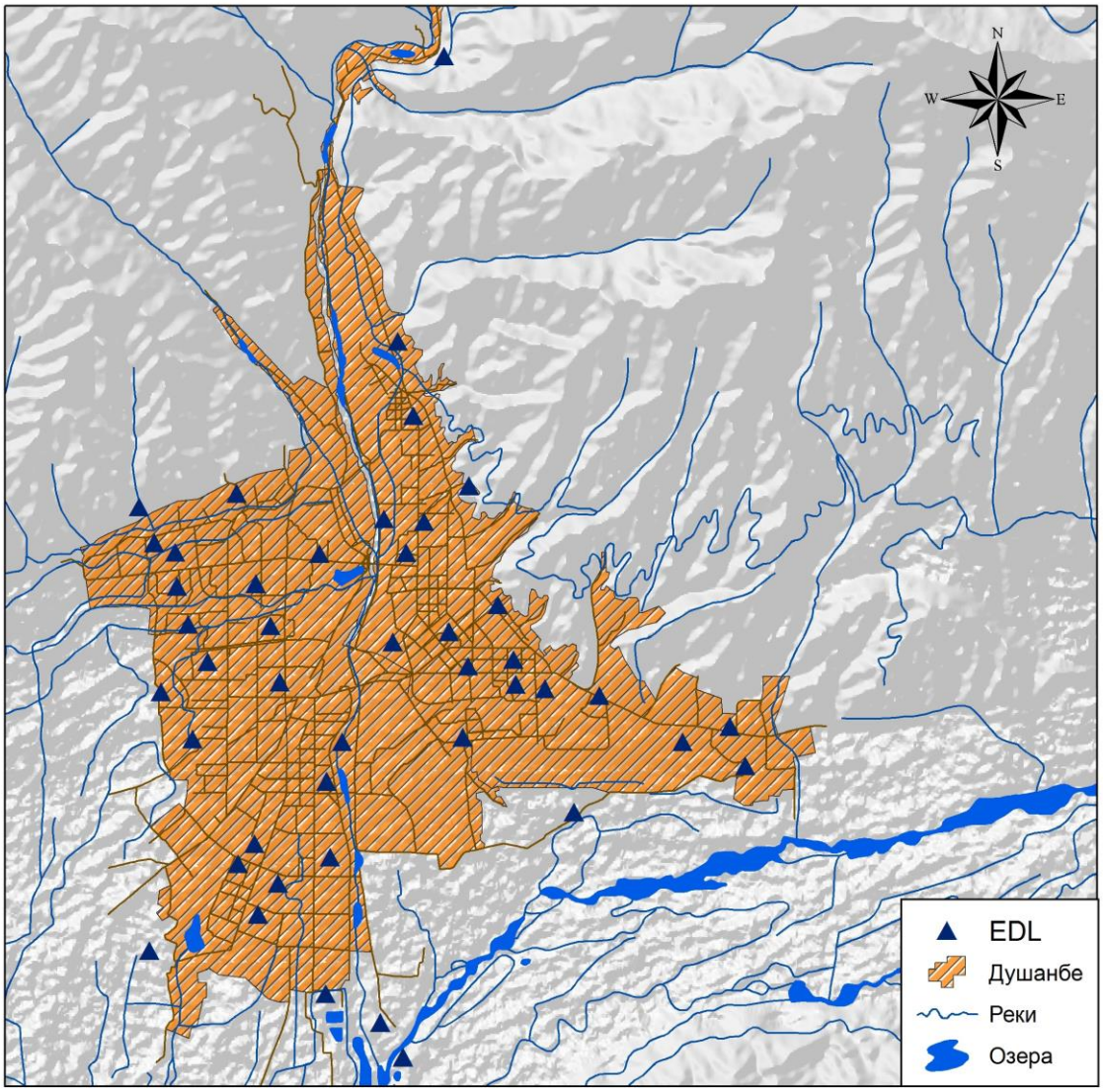

Рис. 4. Схема расположения сейсмометров EDL.

Таким образом, предварительные результаты показывают, что сложность литологической обстановки, характеризующейся резким горизонтальным и вертикальным изменением физических свойств будет приводить к

значительным вариациям коэффициента усиления и градиента скоростей поверхностных волн, что вызывает необходимость более детального изучения локальных эффектов на территории г. Душанбе. Для этого была установлена плотная сейсмическая сеть из , охватывающая 72 точки в городе, что позволило получить более надежные результаты о разнице в усилении сотрясаемости поверхности в этих точках по отношению к коренным породам.

В четвертой главе *приводятся результаты измерения акустических шумов при помощи цифрового томографа TROMINO® для целей сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе с использованием карты детального сейсмического районирования района г. Душанбе в единицах пиковых ускорений грунта.*

Использовался прибор TROMINO® (цифровой томограф) фирмы Микромед (Италия), представляющий собой портативный трехкомпонентный велосиметр с встроенным GPS приемником.

Исследования проводились в рамках проекта NISMIST под руководством доктора Доана Тиепа (Doanh Thiep) из института ENTPE/ Laboratoire Genie Civil et Batiment, LGCB, Франция, за что автор выражает ему сердечную признательность и благодарность. Помимо устройства TROMINO®, использовалось портативное устройство SoilSpy Rossina® с 12 сенсорами для проведения изучения свойств грунтов методом сейсмической рефракции (метод преломленных волн). Сведения об этих приборах можно найти на сайте производителя – www.tromino.com.

Вычислялось известное соотношение вертикальных и горизонтальных скоростей (H/V), предложенное Я. Накамурой (Y. Nakamura) в 1989г. На мягких грунтах горизонтальные движения, вызванные сейсмическими колебаниями, больше, чем вертикальные. На скальных грунтах горизонтальные и вертикальные движения аналогичны друг другу как по величине, так и по форме сигнала. По этому методу по спектральному составу микросейсм и акустических шумов можно оценить преобладающую частоту сейсмических колебаний в толще грунта и определить коэффициент усиления этой толщи.

На территории г. Душанбе были выполнены измерения в 48 точках, охватывающих практически все типы грунтов на территории города. Это были тестовые испытания, поэтому результаты не покрывают всю территорию города, а охватывают центральную и восточную его части. Также возможности ограничивались коротким периодом времени использования приборов. Базовая точка (reference point) располагалась в 16 км к северу от города в Варзобском ущелье и располагалась на неогеновых песчаниках.

В результате обработки данных получали значения двух основных величин:

- первой резонансной частоты грунта;
- коэффициента усиления грунта.

По полученным данным в ГИС программах ArcGIS Desktop и ArcGIS Spatial Analyst были построены карты, показывающие размещение грунтов с различным значением первой резонансной частоты и коэффициента сейсмического увеличения грунта.

Данные о коэффициенте усиления грунтов были использованы для получения карты распределения пиковых ускорений грунта (PGA), полученных для территории г. Душанбе по методике, описанной в главе 2. В программе ArcGIS Spatial Analyst были произведены вычисления значений PGA с учетом коэффициента усиления грунтов, полученных при помощи устройства Tromino®. Результаты представлены на рис. 5.

Таким образом, данная методика показывает возможность ее применения для уточнения значений ускорений грунта в зависимости от сейсмических свойств грунтов. Не существует прямой зависимости между пиковым ускорением грунта PGA и значением интенсивности сотрясений в баллах. Однако, для практической корреляции можно использовать инструментальную сейсмическую шкалу геологической службы США (ISS USGS – www.earthquake.usgs.gov).

Так, интенсивности сотрясений в 9 баллов по модифицированной шкале Меркалли (MMI) соответствуют значения пиковых ускорений от 0,65g до 1,24g. Если строить карту сейсмического микрорайонирования в баллах интенсивности сотрясений, основываясь на эмпирических соотношениях между интенсивностью сотрясений и значениями сейсмических ускорений шкалы USGS, то преимущество инструментальных методов сводится на нет. Пример карты в баллах шкалы Меркалли приведен на рис. 6. Как видно, эта карта не дает различий для разных грунтовых условий.

Более того, расчеты сейсмических нагрузок при проектировании сейсмостойких зданий и сооружения требуют знания сейсмических воздействий именно в значениях сейсмических ускорений. Поэтому предлагаемый вариант карты сейсмического районирования части территории г. Душанбе в значениях пиковых ускорений грунта (PGA) более полно отражает сейсмические условия и величины сейсмических воздействий на данной территории.

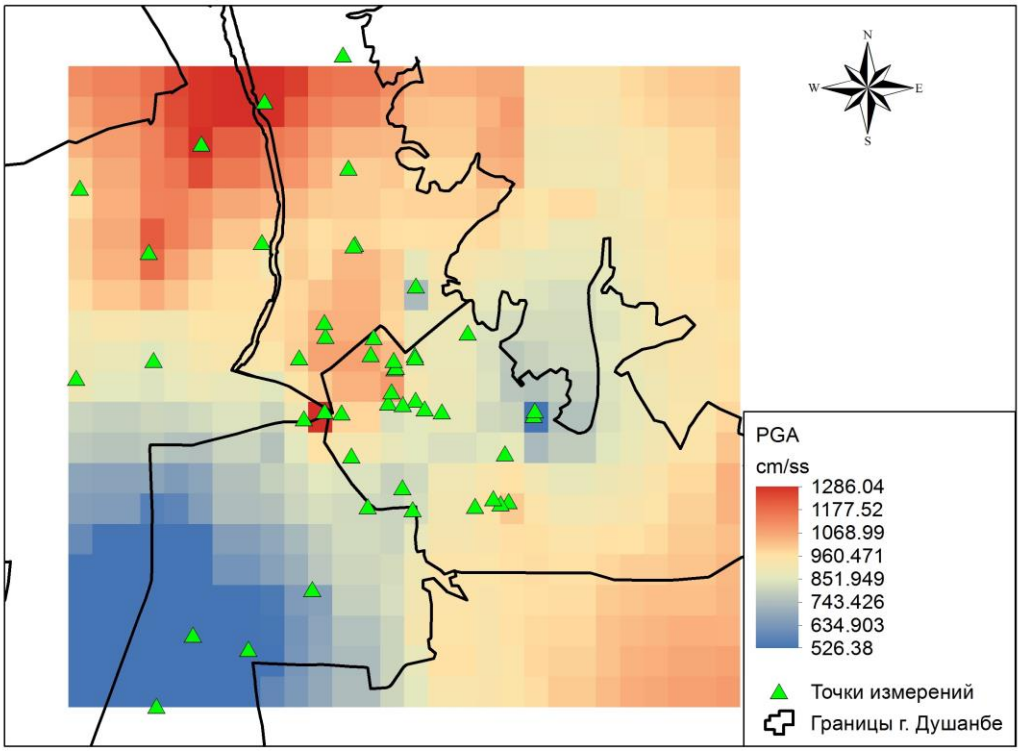

Рис. 5. Расположения точек измерений томографом Tromino и распределение значений PGA на территории г. Душанбе с учетом коэффициента усиления грунтов в участках размерами 500м х500м

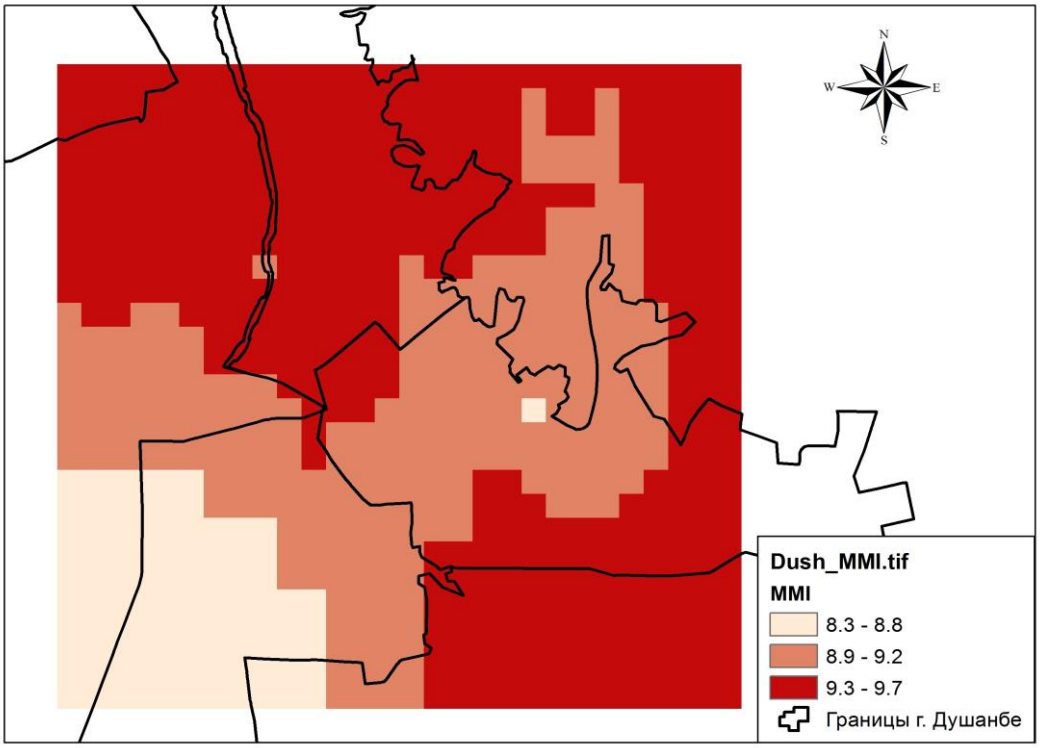

Рис. 6. Карта сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе в баллах интенсивности сотрясений по модифицированной шкале Меркалли - MMI

ВЫВОДЫ

Геологические условия района расположения г. Душанбе позволяют говорить о значительной сейсмической опасности территории, где он расположен. Основной вклад здесь в сейсмические воздействия вносят две зоны крупных сейсмогенерирующих разломов: Гиссаро-Кокшаальского на севере и Илякско-Вахшского на юге. Сейсмическая опасность района расположения г. Душанбе определяется в большей степени именно землетрясениями, возможными в этих двух зонах. Согласно существующей карте сейсмической опасности территории Таджикистана территория г. Душанбе находится в зоне 9 балльных сотрясений по шкале MSK-64.

Впервые для оценки сейсмической опасности района расположения г. Душанбе с помощью ГИС технологий была составлена карта детального сейсмического районирования в единицах пиковых ускорений грунта, которая послужила далее основой для выполнения расчетов при сейсмическом микрорайонировании территории г. Душанбе.

Ныне действующая карта сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе была составлена в 1975г. в значениях интенсивности сотрясений в баллах шкалы MSK-64 и в настоящее время она не отвечает растущим требованиям сейсмостойкого строительства.

Для изучения влияния грунтовых условий применялись малогабаритные сейсмические станции и цифровой томограф для определения сейсмических свойств грунтов с последующим использованием измеренных параметров для уточнения величин сейсмических ускорений на поверхности. Изучались два основных параметра, определяющих влияние свойств грунтов на сейсмическое воздействие – первая резонансная частота толщи грунта и коэффициент сейсмического усиления. В качестве базовой характеристики, получаемой при помощи приборов, использовалось изменение соотношения скоростей сейсмических волн в горизонтальном направлении к скоростям в вертикальном направлении (показатель H/V). Этот метод был впервые предложен японским ученым Е. Накамурой (Y. Nakamura) в 1989г. и в настоящее время широко используется.

По результатам инструментальных исследований в программе ArcGIS Desktop построены карты распределения первой резонансной частоты толщи грунта и сейсмического коэффициента усиления. В программе ArcGIS Spatial Analyst производилось построение карты сейсмического микрорайонирования путем сопоставления карт детального сейсмического районирования района расположения г. Душанбе и карты распределения сейсмического коэффициента

усиления грунта. Получилась результирующая карта, показывающая размещение значений PGA в ячейках размером 500м х 500м с учетом сейсмических свойств локальных грунтов, т.е. карта сейсмического микрорайонирования территории г. Душанбе, но в единицах ускорений.

Хотя карта распределения сейсмических ускорений и не охватывает всю территорию г. Душанбе ввиду отсутствия целенаправленных работ из-за сложности приобретения большого количества приборов и большого объема работ, достаточно убедительно показана возможность использования этих методов для территории г. Душанбе. Полученные результаты с помощью программы ArcGIS Desktop можно представить в различных вариантах: в виде растра, зон распределения значений PGA или в изолиниях значений PGA.

Впервые выполнены работы по использованию цифровых сейсмометрических приборов и современных методов обработки данных для уточнения влияния различных грунтовых условий на территории г. Душанбе на приращение величин сейсмических ускорений. Такая оценка является более точной, в отличие от существующей оценки путем прибавления или вычитания 0,5 – 1,0 балла от базовой сейсмичности (интенсивности сотрясений в баллах) на основе изменений инженерно-геологических параметров грунтов и отвечает современным требованиям к сейсмическому микрорайонированию.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Муродкулов Ш.Я. Использование метода измерения сейсмических шумов для микрорайнирования территории г. Душанбе. [Текст] / Муродкулов Ш.Я.- Научный и информационный журнал Материаловедение. //№4/2014(7). Бишкек. С. 19-27.
2. Муродкулов Ш.Я. Оценка сейсмической опасности района расположения г. Душанбе. [Текст]/Муродкулов Ш.Я.- Вестник Таджикского национального университета. ”Сино”. Душанбе. 2014. №1-3 (134). С.269-273.
3. Муродкулов Ш.Я. Использование метода измерения сейсмических шумов для микрорайнирования территории г. Душанбе. [Текст] / Муродкулов Ш.Я.- Вестник Таджикского национального университета.”Сино”. Душанбе. 2015. №1-1. С.284-289.
4. Муродкулов Ш.Я. Оценка сейсмической опасности района расположения г. Душанбе с использованием гис технологий. [Текст] / Муродкулов Ш.Я.- Интернет-журнал ВАК. Кыргызская Республика

5. Муродкулов Ш.Я. Сейсмотектонические условия района г. Душанбе. [Текст] / Муродкулов Ш.Я.- Интернет-журнал ВАК. Кыргызская Республика
6. Murodkulov Sh. Seismic and Landslide Hazard in Jirgatal Area, Tajikistan. Framework of an integrated Space-based and in-situ sENSing for dynamic vulnerability and recover Monitoring [Текст] / Ischuk A., Saidov M., Ilyasova Z., Murodkulov Sh.- Proceedings of the International Symposium. Kyrgyz Republic, Bishkek city, 29-30 January 2014. «Maxprint», 2014. Pp. 32-36.
7. Murodkulov Sh. First Steps toward a Reassessment of the Seismic Risk of the City of Dushanbe (Tajikistan). [Текст] Marco Pilz, D. Bindi, T. Boxberger, F. Hakimov, B. Moldobekov, S. Murodkulov, S. Orunbaev, M. Pittore, J. Stankiewicz, S. Ullah, F. Verjee, M. Wieland, P. Yasunov and S. Parolai (2013). Doi 10.1785/02200130040. V.84, no.6, p. 1026-1038.
8. Муродкулов Ш.Я. О некоторых характеристиках микросейсм. [Текст] / Муродкулов Ш.Я. Шозиёев Ш.П.- Материалы республиканской научной конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения академика АН РТ Баратова Р.Б. «Современные вопросы геодинамики и минерагении Памиро-Тянь-Шаня», г. Душанбе: «Дониш», 2012 г., С. 254-256
9. Муродкулов Ш.Я. Об инженерно-геологических условиях и сейсмическом микрорайонировании г. Душанбе. [Текст] / Муродкулов Ш.Я., Ёкубов Ш.А.- Наука и инновация Таджикского национального университета.”Сино”. Душанбе. 2017. №2 (ISSN 2312-3648)- С.108-114.

РЕЗЮМЕ

по диссертации Муродкулова Шохруха Якубовича
«Геологические условия и оценка сейсмической опасности
территории г. Душанбе» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.10 – Геофизика,
геофизические методы поиска полезных ископаемых.

Ключевые слова: геология, активный разлом, сейсмогенная зона, сейсмология, землетрясение, сейсмическая опасность.

Объектом исследования являются геологические условия территории г. Душанбе и их связь с уровнем сейсмической опасности.

Цель исследования. Применимость методики инструментального метода измерений сейсмических шумов на территории г. Душанбе для целей сейсмического микрорайонирования.

Методы исследования. Было выполнено детальное сейсмическое районирование района г. Душанбе (в пределах области радиусом 160 км от г. Душанбе) в единицах пиковых ускорений грунта с использованием ГИС технологий для определения, так называемой, фоновой сейсмичности. Далее эти значения использовались как эталонные при расчетах сейсмических воздействий с учетом коэффициента усиления грунтов различных свойств и состояния. Таким образом, ставилась задача получить числовые значения сейсмических воздействий в виде сейсмических ускорений на территории г. Душанбе в зависимости от локальных свойств грунтов.

Полученные результаты и новизна. Впервые выполнено детальное сейсмическое районирование района расположения г. Душанбе с использованием ГИС технологий и современных методов расчетов сейсмических воздействий. Впервые выполнено сейсмическое микрорайонирование значительной части г. Душанбе в единицах пиковых ускорений грунта с учетом локальных свойств грунтов.

Степень использования. Предложена методика детального сейсмического районирования с использованием ГИС технологий как основы для дальнейших работ по сейсмическому микрорайонированию.

Рекомендации. В связи с расширением площади застройки территории г. Душанбе, строительством высотных зданий (более 20 этажей), усложнением норм сейсмостойкого строительства, появляется необходимость в более точном определении параметров сейсмических воздействий на различных типах грунтов для обеспечения гарантии сейсмостойкого проектирования и строительства на территории г. Душанбе. Предлагаемая методика позволит

существенно уточнить распределение сейсмических воздействий на территории города и ускорить выполнение работ по сейсмическому микрорайонированию.

Область применения. Предлагается быстрый и дешевый способ инструментальной оценки сейсмических свойств грунтов для целей сейсмического микрорайонирования, не требующий изучения физико-механических свойств грунтов традиционными методами инженерной геологии и дающий численное значение сейсмических ускорений в пределах участков территории с задаваемыми размерами.

25.00.10 – Геофизика, пайдалуу кендерди издөөнүн геофизикалык методдору адистиги боюнча геология-минералогия илимдеринин кандидаты окумуштуу даражасын изденүүгө карата жазылган **Муродкулов Шохрух Якубовичтин** «Душанбе ш. аймагынын геологиялык шарттары жана сейсмикалык коркунучуна баа берүү» диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: геология, активдүү жараңка, сейсмогендүү зона, сейсмология, жер титирөө, сейсмикалык коркунуч.

Изилдөөнүн объекти болуп Душанбе ш. аймагынын геологиялык шарттары жана алардын сейсмикалык коркунуч деңгээли менен байланышы эсептелинет.

Изилдөөнүн максаты. Сейсмикалыко микрорайондоштуруу максаттары үчүн Душанбе ш. аймагындагы сейсмикалык чууларды өлчөөнүн инструменталдык методуун методикасынын колдонуучулугу.

Изилдөөнүн методдору. Душанбе ш. аймагынын деталдаштырылган сейсмикалык райондоштурулушу (Душанбе ш. 160 км радиусунун тармак чектеринде) фондук сейсмикалуулук деп аталуучуну аныктоо үчүн ГМТ технологияларын пайдалануу менен топурактын эң жогорку ылдамдоо бирдиктеринде аткарылган. Андан ары бул маанилер ар түрдүү сапаттардын жана абалдардын топурактарынын күчөө коэффициентин эске алуу менен сейсмикалык таасирлерди эсептөө учурунда эталондук катары колдонулушкан. Ошентип, топурактын локалдык сапаттарына жараша Душанбе ш. аймагынын сейсмикалык ылдамдоолору түрүндөгү сейсмикалык таасирлердин сандык маанилерин алуу милдети коюлган.

Алынган жыйынтыктар жана жаңычылдыгы. Алгачкы жолу ГМТ технологияларды жана сейсмикалык таасирлерди эсептөөнүн заманбап методдорун пайдалануу менен Душанбе ш. жайгашуу аймагынын деталдаштырылган сейсмикалык райондоштурулушу аткарылган. Алгачкы

жолу Душанбе ш. олуттуу бөлүгүнүн сейсмикалык микрорайондоштурулушу топурактардын локалдык сапаттарын эсепке алуу менен топурактын эң жогорку ылдамдоолор бирдиктеринде ат карылган.

Колдонуу даражасы. Сейсмикалык микрорайондоштуруу боюнча андан аркы иштер үчүн негиз катары ГМТ технологияларын колдонуу менен деталдаштырып сейсмикалык райондоштуруу методикасы сунушщталган.

Сунуштоолор. Душанбе ш. аймагынын курулуш аянтын кеңейтүү, бийик имараттарды (20 кабаттан жогору) курууга, сейсмотуруктуу курулуш ченемдерин татаалдаштырууга байланыштуу топурактардын ар түрдүү типтериндеги Душанбе ш. аймагынын сейсмикалык долбоорлоонушун жана курулаштарына кепилдиктерди камсыздоо үчүн сейсмикалык таасирлердин параметрлерин так аныктоо зарылдыгы келип чыгууда. Сунушталып жаткан методика шаардын аймагындагы сейсмикалык таасирлерди бөлүштүрүүнү олуттуу тактоого жана сейсмикалык микрорайондоштуруу боюнча иштерди аткарууну ылдамдатууга мүмкүндүк берет.

Колдонуу тармагы. Сейсмикалык микрорайондоштуруу максаттары үчүн топурактардын сейсмикалык сапаттарына инструменталдык баа берүүнүн, топурактардын инженердик геологиянын салттуу методдору менен физикалык-механикалык сапаттарын изилдөөнү талап кылбаган жанаберилген өлчөмдөрү менен аймактардын тилкелери чектериндеги сейсмикалык ылдамдануулардын сандыкмаанисин бере турган тез жана арзан ыкмасы сунушталат.

Summary

To thesis work on the theme: “Geological conditions and seismic hazard assessment of the area of the Dushanbe city” by Shohruh Yekubovich Murodkulov

in candidacy for an academic degree of a candidate of geological and mineralogical sciences in the major of 25.00.10 – Geophysics, geophysical methods of the mineral resources survey.

Key words: geology, active fault, seismic zone, seismology, earthquake, seismic hazard, seismic microzoning.

Object of the research: Influence the geological conditions of the area of Dushanbe city to the seismic actions in the area and inside the city. Study the applicability of the ambient noise measurements for the seismic microzoning of the area of the city.

Main task of the research: Seismic hazard assessment of the area of the Dushanbe city and study the influence of the soil conditions on the seismic shaking inside the city using instruments.

Methods of the research: Creation of the new map of detailed seismic hazard of the area of Dushanbe city in accordance with modern international requirements, (inside the area with 160 km radius) using attenuation equation for calculation the peak ground accelerations (PGA) and GIS technology for estimation the background seismicity in the area. These estimations are based on the analysis of geological and seismic conditions using modern methods of seismic actions estimation, and instrumental data.

Obtained results and their **novelty:** The new assessment of detailed seismic hazard of the area of the Dushanbe city using GIS technologies and modern methods of calculation of the seismic actions was made based on the modern equations of attenuation in terms of peak ground accelerations. The new microseismic zoning of the most part of the Dushanbe city area was made in the first time based on the measurement of the ambient noise technique by the instruments.

Degree of application: The new approach for seismic microzoning on the area of the Dushanbe city was suggested and it will be used for the creation of the new map of seismic microzoning in the future.

Recommendations: Take into account the fast development of the civil construction in Dushanbe city including the construction of the high stories building (up to 20 stories) it is important to use more accurate estimation of the seismic actions on the different soil conditions for guaranteed safety of the new buildings. The suggested approach can increase sufficiently the accuracy of the seismic actions in the area of Dushanbe city and safe time to do seismic microzoning.

Sphere of application: The more cheaper and faster technique is suggested for more accurate estimation of the seismic actions inside the cites, and which doesn’t need to define the geotechnical conditions of the soils using traditional instruments and methods. This approach provides the seismic actions in terms of accelerations in the small cells with given size of the study area.