

На правах рукописи

ОРУНБАЕВ Сагынбек Жолчуевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ РЯДА РАЙОНОВ КИРГИЗИИ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Центральном-Азиатском институте прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ).

Научный руководитель: Родкин Михаил Владимирович,
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт теории
прогноза землетрясений и
математической геофизики РАН, главный
научный сотрудник,
rodkin@mitp.ru

Официальные оппоненты: Бугаев Евгений Геннадиевич,
доктор технических наук, начальник
отдела, Федеральное Бюджетное
Учреждение Научно-технического центра
по ядерной и радиационной безопасности,
bugaev@secnrs.ru.

Любушин Алексей Александрович,
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт физики
Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, зав.
Лабораторией, lyubushin@yandex.ru

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки, Научная станция
Российской академии наук в г. Бишкеке

Защита диссертации состоится «18» декабря 2018 г. на заседании
диссертационного совета Д002.050.01 при Федеральном государственном
бюджетном учреждении науки Институте динамики геосфер Российской
академии наук (ИДГ РАН)

по адресу: 119334, Ленинский проспект, 38, корпус 1, Москва, Россия

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИДГ РАН и на сайте
<http://idg.chph.ras.ru/>. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей
аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки
Российской Федерации <http://vak.ed.gov.ru/> и на сайте <http://idg.chph.ras.ru/>.

Автореферат разослан « __ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д002.050.01
кандидат физико-математических наук

Е.А.Виноградов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и обоснование выбора путей решения проблемы.

Величина сейсмической опасности определяется, в первую очередь, величиной максимально возможного сейсмического воздействия и локальными условиями.

Данные по недавно происшедшим, инструментально зарегистрированным землетрясениям, не дают полного ответа на вопрос о величине сейсмической опасности. Такие данные дают общую схему сейсмической опасности, но требуют уточнения и детализации. Встают две задачи, в комплексе дающие возможность решения проблемы уточнения величины сейсмической опасности. Первая задача состоит в уточнении величины максимально возможного сейсмического воздействия, вторая - в уточнении локального отклика на такое воздействие (определение так называемого сайт-эффекта, site-effect). Ошибка в определении максимально возможного сейсмического воздействия ввиду редкой повторяемости сильных землетрясений может достигать 2-3 баллов. Типичная ошибка из-за недоучета локальных грунтовых условий обычно составляет пол-балла (в исключительных случаях до 1.5 балла). В совокупности уточнение величин максимальных сейсмических воздействий и локального сайт-эффекта дают комплексную оценку, позволяющую уточнить характер сейсмической опасности. Развитию подходов к решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

Для территории Кыргызской Республики проблема уточнения оценки сейсмической опасности чрезвычайно актуальна, что обуславливается высоким уровнем сейсмической активности, краткостью достаточно полных сейсмических каталогов и интенсивным освоением территории. В представленной работе описываются и реализуются ряд новых подходов к оценке величины максимального сейсмического воздействия и сайт-эффекта для ряда районов Кыргызской Республики. Наиболее остро стоит вопрос о величинах максимальных сейсмических воздействий, так как инструментальные каталоги сейсмических воздействий достаточно коротки. Первая сейсмостанция на территории Киргизии была установлена в 1927 году, в 1950-1960 гг. было установлено еще четыре станции (Нарын, Пржевальск, Каджисай и Арал), в 1969-1980 гг. запускается региональная сеть аналоговых станций. Достаточно полная регистрация землетрясений, примерно с уровня $M \geq 2.2$ ($K \geq 8$) началась с 1991 года в связи с установкой телеметрической сети цифровых сейсмических станций KNET (10 станций).

Принятая в настоящее время карта сейсмической опасности Киргизии базируется, в первую очередь, на данных, полученных этой системой наблюдений. Очевидно, что короткий срок сейсмических наблюдений не позволяет достаточно точно оценивать сейсмический режим сильных сейсмических событий. Более того, практически отсутствуют данные по сильным движениям, что затрудняет точную оценку величин затухания; и такая информация появится не скоро.

В то же время, особенно в связи с сооружением особо ответственных объектов типа плотин и быстрым ростом городов, остро встает вопрос уточнения возможных величин максимальных сейсмических воздействий. Для решения этого вопроса для района сооружения каскада Верхне-Нарынских ГЭС была применена методика (Родкин и др., 2012) по оценке величин PGV по макросейсмическим данным о предположительно сейсмогенных смещениях скальных блоков. Причем в нашей работе этот подход был впервые реализован в площадном маршрутном варианте без привязки к известным очагам произошедших сильных землетрясений (из-за отсутствия информации о сильных землетрясениях для района исследования), но с учетом данных о сети разломов и характера геоморфологии местности.

Уже отмечалось, что величина сейсмической опасности определяется величиной максимального сейсмического воздействия и грунтовыми условиями, способными заметно увеличить или уменьшить силу такого воздействия.

В рамках решения этой задачи в последнее время все большее внимание уделяется проблеме использования микросейсмического поля Земли в качестве основного зондирующего сигнала. Привлекательность использования микросейсм диктуется, в основном, следующими обстоятельствами. Микросейсмический фон постоянно присутствует в каждой точке поверхности планеты и представлен в широкой полосе частот, что позволяет проводить исследования для широкого диапазона глубины грунтов и иных условий в любой точке поверхности Земли. При этом полевые измерения на основе поля микросейсм требуют существенно меньших затрат по сравнению с традиционными методами так как не требуют использования специальных источников сейсмических колебаний (редких естественных или дорогостоящих искусственных). Отметим, что при этом встает вопрос о возможной ограниченности метода, накладываемой малыми амплитудами сейсмических волн. В диссертационной работе приводится пример сравнения результатов, полученных при анализе микросейсм и эффектов, полученных при воздействии сильного искусственного источника.

При определении сайт-эффекта встает также задача получения площадных характеристик сайт-эффекта. Точечные микросейсмические наблюдения не позволяют, получать такие данные достаточно детально. С

целью решения этой задачи использовано рекомендованное USGS регрессионное соотношение между средними значениями скорости распространения поперечных волн V_s в верхних 30 м разреза и доступными в интернете детальными локальными данными о значениях уклона местности. Общемировая регрессия была дополнена результатами наших микросейсмических наблюдений по бассейну Верхнего Нарына, и распространена на всю исследуемую территорию в области г. Нарын и проектируемого Верхне-Нарынского каскада ГЭС.

Цель работы

реализовать комплексное уточнение сейсмической опасности на основе оценок величин максимальных сейсмических воздействий и грунтовых условий.

Научная новизна работы

Продемонстрирована эффективность использованного набора методов для уточнения сейсмической опасности, в плане 1) определения сайт-эффекта и 2) уточнения величин возможных максимальных сейсмических воздействий. В методологическом отношении по уточнению интерпретации сейсмических наблюдений новизна работы заключается в том, что, а) применительно к анализу микросейсм впервые проведено моделирование процессов взаимодействия поверхностных волн Рэлея с неоднородностями строения породной толщи, б) разработана и реализована схема получения детальной модели пространственного распределения скоростей V_{s30} на основе данных о наклонах рельефа и геоморфологии участка.

Практическая ценность работы состоит в следующем.

1. Получены новые карты сейсмической опасности ряда городских агломераций Киргизии в терминах основных резонансных частот грунтовой толщи.
2. Продемонстрирована возможность площадной оценки максимальных сейсмических воздействий (величин PGV) методом PGVEM
3. Дан пример ограниченности возможности использования микросейсм в качестве зондирующего сигнала по причине малости амплитуд микросейсм.
4. Предложенная модель формирования сигнала и новый подход к решению соответствующей обратной задачи могут быть использованы для развития метода микросейсмического зондирования с целью исследования глубинной структуры геологических объектов, поисков,

разведки и мониторинга месторождений полезных ископаемых, оценки механических свойств подземных инженерных сооружений и решения иных задач.

5. Построен и реализован алгоритм решения задачи оценки прогнозного значения скорости V_{s30} , используя геоморфологические данные (детальную числовую модель рельефа). Программа реализована в виде скриптов на языке программирования awk с использованием пакета прикладных программ GMT. Созданный программный пакет обрабатывает радарные спутниковые данные и допускает развитие с целью обработки снимков высокого разрешения.

Личный вклад автора.

Определение целей диссертационной работы, постановка всех рассматриваемых задач, определение результатов, составляющих научную новизну и практическую ценность работы, были выполнены автором совместно с научным руководителем М.В. Родкиным с учетом рекомендаций С. Паролая. Автор участвовал в создании карты резонансной характеристики грунта по городам Бишкек, Каракол и Нарын.

Математическая постановка прямой задачи, выбор методов ее решения, разработка вычислительных алгоритмов, их реализация в виде комплекса программ, проведение всех численных экспериментов и анализ полученных экспериментальных данных, а также разработка нового подхода к модели формирования сигнала и постановка детерминированной и стохастической обратных задач проведены автором лично.

Автор принимал участие в полевых измерениях методом микросейсмического зондирования совместно с доктором С. Паролаем по исследованиям районов Бишкека и Каракола, данные по району Нарына получены и обработаны автором.

С участием автора выполнены площадные полевые работы по оценке величин PGV для района строительства Верхненарынского каскада ГЭС.

Защищаемые положения.

1. Предложен и реализован комплекс новых подходов, обеспечивающих уточнение оценок сейсмической опасности в плане оценки величин максимальных воздействий и учета грунтовых условий.
2. Получена площадная оценка величин максимальных сейсмических воздействий, величин PGV на основе полевых макросейсмических данных.

3. Определена сравнительная эффективность методов микрорайонирования:
 - определения величин сайт-эффекта на основе анализа поля микросейсм,
 - методы реперной точки, - Н/V спектрального отношения, - построения сейсмического разреза грунтовой толщи для условий Киргизии. Продемонстрировано:
 - преимущество метода Н/V спектрального отношения,
 - приведен пример ограниченности микрорайонирования только на основе анализа микросейсм используя другой методики активной сейсмоки - вибровоздействие.
4. Произведена адаптация методики детальной площадной оценки прогнозных величин V_{s30} на основе корреляции величин V_{s30} и локальных значений уклона местности.

Апробация результатов. Материалы диссертации докладывались на Второй Европейской конференции по сейсмологии и инженерной сейсмологии, Стамбул, август 2014 г., (доклад отмечен как лучший на подсекции, а работа признана имеющей инновационный потенциал); на Шестой межвузовской молодежной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования», г. Санкт-Петербург (май 2005 г.); на 33-м Генеральной Ассамблеи Европейской Сейсмологической комиссии, г. Москва (август, 2012); на международном семинаре «Информационные и коммуникационные технологии по управлению природными рисками и изменение климата», г.Чолпон-Ата (сентябрь 2011); на юбилейной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 70-летию Кыргызского Государственного Университета, апрель 2002, (доклад награжден дипломом первой степени); на восемнадцатых Сергеевских чтениях «Инженерная геология, геоэкология и фундаментальные проблемы и прикладные задачи», г. Москва (март 2016); на заседании Ученого Совета Института Динамики Геосфер 15 марта 2016); на конференции организованной по программе предоставления стипендий и грантов и повышению квалификации исследователей из Центральной Азии и Афганистана (CAARF), Иссык-Куль (май 2016); на Седьмом Международном симпозиуме «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», г. Бишкек (июнь 2017). Результаты работы также неоднократно докладывались на научно-технических семинарах ЦАИИЗ.

Публикации. Автор диссертации является автором 56 публикаций, из них 36 по теме диссертации, из которых 2 работы в рецензируемых изданиях списка ВАК, 24 – в списке РИНЦ, а 30 в международных изданиях, отраженных в списках WOS и Scopus и на международных и российских научных конференциях. Список основных публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка литературы. Работа изложена на 146 страницах, машинописного текста, включая 64 рисунка, 12 таблиц, 1 приложение и библиографический список, содержащий 138 наименований.

Благодарности

Автор благодарен сотрудникам ЦАИИЗ, где проводилась работа по подготовке диссертации. В особенности автор признателен своему руководителю – д.ф.-м.н. М.В. Родкину за руководство в работе, директору ЦАИИЗ к.г.-м.н. Б.Д. Молдобекову за указание общего направления исследований по применению методов оценки сейсмической опасности и площадной оценки величин максимальных сейсмических воздействий, С. Паролаю, Д. Бинди, М. Пильц – за обсуждение отдельных вопросов оценки сайт эффекта по теме диссертации, к.ф.-м.н. З.А. Кальметьевой за указание научного направления и обсуждение вопросов сейсмологии, а также А.А. Гусеву, чьи положения способствовали в подготовке диссертации. Также автор благодарен Е.А. Батальевой, Н.А. Сычёвой и В.Д. Брагину, ознакомившихся с диссертацией и авторефератом и давших свои замечания, способствовавшие улучшению.

Автор также признателен д.г.-м.н. Ш.Э. Усупаеву за постоянную поддержку в совместных полевых исследованиях, директору НИИ СС д.т.н. Р.А. Мендекееву, к.ф.-м.н. М.О. Омуралиеву за интерес к работе и ценные рецензии представленных к публикации статей, что позволило глубже проинтерпретировать ряд полученных в работе математических статистических соотношений и закономерностей.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика и обоснование постановленной задачи и выбор путей ее решения. Обосновывается возможность реализованного автором комплексного подхода к уточнению оценки сейсмической опасности как в плане оценок максимальных величин сейсмических воздействий, так и в плане получения детальных площадных прогнозных оценок величин сайт-эффекта.

Первая глава «Проблемы современного расчета карт сейсмического районирования» посвящена анализу проблематики оценки сейсмической опасности на современном этапе и обоснованию выбора задач. Основой работ по расчету сейсмической опасности является построение карт общего, детального и микрорайонирования. Поэтому в начале главы обсуждаются современные варианты решения этой задачи и возникающие при этом трудности и проблемы. В первую очередь обсуждаются разные подходы, основанные на величинах балльности (как это принято в СССР, России и странах СНГ) и на оценке величин пиковых ускорений на ряде характерных периодов (США). Оценки в терминах максимальных ускорений (PGA – peak ground acceleration) представляются более предпочтительными, так как именно эти величины обычно используются в инженерных расчетах. Однако непосредственный расчет карт ОСР в странах СНГ и России в терминах PGA невозможен, ввиду отсутствия необходимого большого набора записей сильных движений. А только такие данные позволяют учесть сильные региональные особенности характера спектра источника величин затухания. Возможны изменения в разы, что делает затруднительным использование мировых данных и данных для других регионов при расчетах для конкретной территории. Отметим при этом, то важное обстоятельство, что величина PGA не в полной мере описывает величину сейсмического воздействия. Величина интенсивности (в баллах), исходно основанная на характере разрушений, в чем-то даже лучше отвечает такой задаче.

На фоне подобной ситуации, в Кыргызстане подход к ОСР с использованием балльности пока сохраняется. Для перехода в будущем к оценкам на основе инструментальных данных необходимо рассмотреть методы оценок расчетных амплитудных параметров колебаний и возможные пути уточнения получаемых оценок сейсмической опасности. Анализ этой ситуации и дается в первой главе.

Проводится анализ результатов представления сейсмической опасности в терминах ускорений для разных регионов и возможности их применения в условиях Кыргызстана, в частности, возможности пересчета величин балльности в значения ускорений. Однако по мере накопления материала наблюдается тренд увеличения величин максимальных ускорений. При этом наблюдается сильная вариабельность величин ускорений от балльности. На

слабых грунтах происходит насыщение величин ускорения при $I=8-9$. В отдельных ситуациях величина максимального ускорения может даже уменьшаться с ростом балльности. Отметим, что для скоростей такого насыщения не наблюдается. Как следствие вышесказанного, зависимость величин максимального ускорения от балльности может быть описана линейной связью только в весьма грубом приближении. Отмечается, что одиночный короткопериодный выброс величин ускорения не сильно сказывается на разрушительном эффекте, достаточно адекватно описываемом величиной интенсивности (балльности).

Отмечается возможность достаточного полного взаимного перевода принятой в России и странах СНГ 3-х ступенчатой градации при описании свойств грунтов (скальные, крепкие, рыхлые грунты 1, 2 и 3-го класса соответственно) в принятую в США систему градаций (А, В, С, D, Е типы грунтов) через величины скоростей сейсмических волн V_s в верхней (обычно 30 м) толще грунта. Отсюда следует, что ключевую роль для оценки сайт-эффекта имеют инструментальные (часто получаемые на основе наблюдения микросейсм) данные по величинам скоростей сейсмических V_s волн в верхней части разреза.

При оценке сейсмической опасности территории Киргизии, кроме описанной выше проблемы сравнения карт районирования ОСР в терминах интенсивности и PGA встают задачи компенсации малой длительности во времени инструментальных наблюдений и трудности получения площадных оценок сайт-эффекта по инструментальным данным. Обе задачи весьма остро стоят для территории Киргизии, где при высоком уровне сейсмической активности длительность времени детальных сейсмических наблюдений весьма коротка. Для всей территории республики представительные данные на уровне $M \geq 2.2$, (энергетический класс $K \geq 8$) имеются только с 1991 года. При этом данные сейсмических V_s скоростей в верхнем слое грунтовой толщи (V_{s30}) довольно редки.

Возможные пути уточнения сейсмической опасности рассматриваются автором на основе метода М.В.Родкина оценки величин максимальных массовых скоростей от исторических землетрясений по, предположительно, сейсмогенным смещениям скальных блоков (вторая глава) и метода использования регрессии между средними скоростями V_s в верхних 30 м разреза и локальными уклонами местности, получаемыми на основе подробной цифровой карты местности (детально обсуждается в четвертой главе).

Выводы по главе 1

Приведенный анализ подкрепляет целесообразность перехода в будущем от полуколичественной шкалы балльности (интенсивности) на инструментальную шкалу представления величин сейсмической опасности в терминах ускорений при построении карт ОСР. Несмотря на то, что

характеристика интенсивности (балльности) является интегральной характеристикой и сама по себе более адекватно характеризует сейсмическое воздействие и величину разрушений чем, например, пиковые значения ускорения, такой переход все же целесообразен по следующим соображениям.

1. Более адекватно представляющая уровень разрушений шкала балльности в инженерной практике СССР-России и стран СНГ не является окончательной, а используется как промежуточная характеристика для последующей оценки величин ускорения по правилам СНиП. Такой переход неизбежно более формален, менее точен и меньше использует мировые данные по сильным движениям, чем это возможно в случае оптимального (более сложного) перевода карт ОСР в термины эффективной максимальной амплитуды ускорений.
2. Хотя, ввиду недостатка региональных данных по сильным движениям на территории стран СНГ невозможно учесть региональные особенности излучения сейсмических источников (при той же магнитуде M_w) и региональные особенности поля затухания, мировые данные по учету грунтовых свойств могут быть использованы в полной мере.
3. Обсуждены варианты перехода к картам сейсмической опасности в терминах максимального ускорения и выбран вариант, оптимальный для условий Киргизии.

На основе проведенного анализа показано также:

1. По результатам анализа мировых данных по сильным движениям показано, что, в отличие от величин PGA значения PGV не демонстрируют сильного насыщения при больших значениях балльности, что указывает на определенное преимущество использования этой характеристики для оценки максимальных сейсмических воздействий.
2. Ключевой характеристикой, удобной для взаимного пересчета категорий грунта по используемой в России и странах СНГ ($K=1, 2$ и 3) и наиболее обеспеченной инструментальными данными шкалы, применяемой в США (градации А, В, С, D, Е) являются значения скоростей сейсмических волн в верхних 30 м разреза, V_{s30} .

С учетом полученных выводов в последующих главах описываются методики (частично оригинальные) и результаты их использования по 1) площадной оценке величин максимальных массовых скоростей (PGV) от исторических и палеоземлетрясений и 2) детальным (с высоким пространственным разрешением) распределений по площади величин V_{s30} , вычисленные с использованием мировой регрессионной зависимости

величин V_{s30} от локальных значений наклона местности, получаемых по данным детальной цифровой модели местности.

Во второй главе «Методика и опыт площадных маршрутных оценок величин PGV по макросейсмическим данным» рассматриваются методика и результаты полевых работ по оценке вероятных величин максимальных сейсмических воздействий (величин PGV) на территории планируемого сооружения Верхне-Нарынского каскада ГЭС с использованием предложенного ранее в работе [Родкин и др., 2012] метода PGVEM. В районе планируемого сооружения каскада не известно очагов сильных землетрясений, максимальная интенсивность при известных землетрясениях составляла $I_0 \leq 8.0$ при магнитуде $M \leq 5.6$. При этом по геоморфологическим и тектоническим данным район может быть подвергнут более сильным землетрясениям.

К настоящему времени метод PGVEM нашел уже довольно широкое применение. В диссертации обсуждаются методика и степень обоснованности этого подхода к оценке максимальных массовых скоростей сейсмических волн по макросейсмическим наблюдениям. Отмечено хорошее обоснование метода данными о наблюдениях в районах очаговых зон недавних сильных землетрясений и при сильном взрыве в Киргизии в 1989 г. в урочище Уч-Терек (архивные данные А.Л.Строма). Представлено также сравнение предложенного метода PGVEM оценки величин пиковых массовых скоростей при землетрясениях с методом DDA (numerical discrete element discontinuous deformation analysis). Отмечается, что соотношение методов PGVEM и DDA аналогично известному в механике соотношению методов решения задач на основе использования законов сохранения и решения уравнений движения. Аналогично этому соотношению, метод PGVEM грубее, но проще в реализации, чем метод DDA.

Дополнительно отмечается, что согласно приведенному в первой главе анализу данных по сильным движениям для амплитуд скорости, в отличие от случая ускорений, не выявляется явно выраженного насыщения при больших ($I_0 > 8$) значениях интенсивности. Такое наблюдение является дополнительным указанием в пользу метода PGVEM.

В работе впервые реализован вариант площадных полевых работ на основе метода PGVEM. В ходе работ в течение полевых выездов в 2014-2015 годах покрыта территория до 150 кв. км, на которой было выявлено более 280 случаев возможно сейсмогенных смещений скальных отдельностей. При проведении полевых работ учитывались данные о положении разломных зон, геоморфологии местности и требования метода PGVEM. В результате статистического анализа полученных значений была построена карта-схема (рис. 1) средних значений PGV для исследованного района планируемого сооружения Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Близость разломов неплохо согласуется с нашими средними оценками величин PGV (рис.1). Согласно

новой макросейсмической шкале Ф.Ф. Аптикаева [2011], полученные средние значения *PGV* соответствуют балльности $I_0 \leq IX$, т.е. отвечают нормам антисейсмического строительства, заложенным в проект Верхне-Нарынского каскада ГЭС.

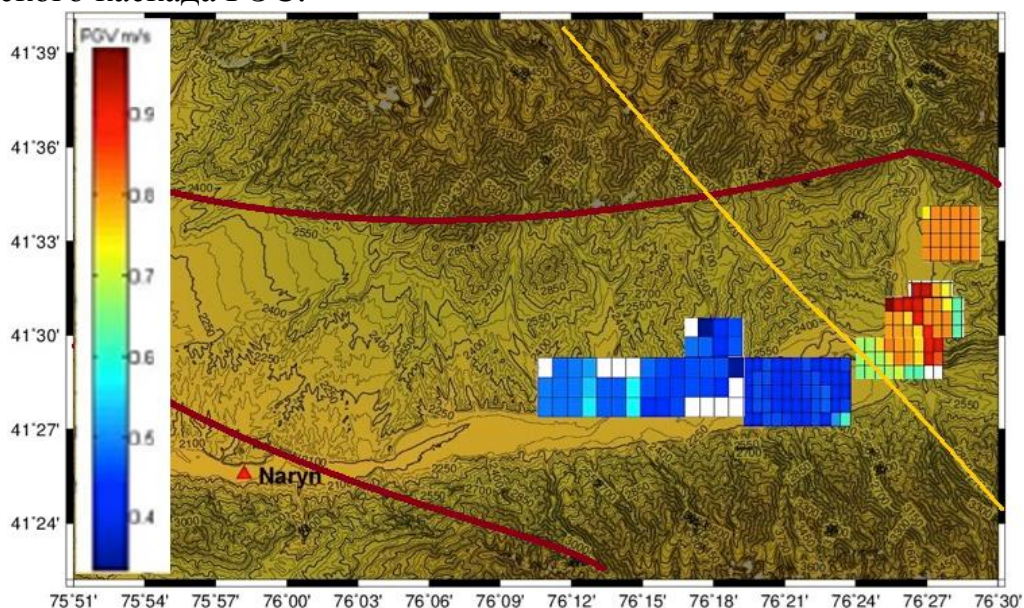


Рис.1. Карта-схема средних значений *PGV* для района сооружения Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Коричневые линии – активные продольные тектонические разломы. Желтая линия – активный поперечный разлом, вблизи разломов значения *PGV* имеют тенденцию к увеличению.

Выводы по главе 2.

1. Впервые реализованный вариант площадной оценки величин максимальных сейсмических воздействий (значений *PGV*) на основе полевых макросейсмических данных по методу *PGVEM* показал свою эффективность. Полученные оценки возможной максимальной балльности совпали со значениями, заложенными в проект каскада Верхне-Нарынских ГЭС.
2. Проведено сравнение предложенного ранее [Родкин и др., 2012] метода *PGVEM* оценки величин пиковых массовых скоростей при землетрясениях с методом *DDA*; даны примеры хорошего совпадения результатов оценки по этим двум методам.

По материалам главы сформулировано второе защищаемое положение.

В третьей главе рассматриваются методика и результаты микросейсмических наблюдений, проведенных на трех городских агломерациях Киргизии: Бишкека, Каракола и Нарына. В последнем случае по г. Нарын весь комплекс работ осуществлялся автором [Orunbaev, 2014].

Основанием такого рода работ является большое количество исследований, посвященных разработке методов оценки сейсмических свойств земной коры на основе анализа микросейсмического шума в диапазоне $10^{-2} \div 10^2$ Гц [Николаев, 1968; Винник, 1968; Asten, 1978; Sato, 1991]. Факт устойчивого влияния глубинных и приповерхностных неоднородностей геологической среды на пространственное распределение параметров микросейсмического поля позволяет использовать сейсмический шум для изучения свойств геологической среды, и (опосредовано) величин сайт-эффекта. Основным механизмом образования микросейсм является волнения на океанах. Ветровые воздействия на сооружения, возмущение воздушных масс и их воздействие на деревья имеют локальный характер [Гутенберг, 1935]. Микросейсмы распространяются по твердой земле в виде сейсмических волн различных типов. Слабое затухание поверхностных волн по сравнению с объемными приводит к тому, что в дальней зоне от источников преобладают волны поверхностного типа. Как показывают измерения, микросейсмический фон преимущественно представлен поверхностными волнами Рэлея и Лява. Исследование природы и свойств микросейсмического поля в российской науке и в странах СНГ связано с основополагающими работами [Табулевич, 1963; Рыкунов, 1967; Монахов, 1977; и др.].

В работе описаны проведенные полевые измерения и методы их обработки. Методы пассивной сейсмологии, использующие в качестве зондирующего сигнала микросейсмический фон Земли, можно разделить на две группы – дисперсионные методы и статистические методы. Дисперсионные методы основаны на восстановлении дисперсионной кривой поверхностных волн [Левшин, Яновская, 1986; Lobkis, Weaver, 2001; Ritzwoller, 2002; Snieder, 2004; Sabra, 2005; Shapiro, 2005, Picozi, 2009]. Основой методов второй группы является зависимость пространственного распределения статистических характеристик микросейсмического поля от свойств геологической среды. В качестве таких характеристик могут использоваться любые устойчивые характеристики волнового поля, например, амплитуда или центральная частота характерного пика в спектре, отражающего некую структурную особенность залегания пластов [Asten, 1978; Kanai, Tanaka, 1954]. Развитие статистических методов связано с поиском способов минимизации влияния сильной нестабильности источников микросейсмического шума. В этом ключе можно выделить два направления – 1) определение и интерпретация спектральных отношений между опорной и исследуемой площадками, и 2) определение и интерпретация пространственного распределения спектрального отношения между вертикальной (V) и горизонтальной (H) компонентами поверхностной волны. На определении и интерпретации H/V-отношения (так называемая *эллиптичность*) базируется широко используемый метод, предложенный Накамура [Nakamura, 1989]. Данный метод был найден

феноменологически и лишь позднее было получено его теоретическое обоснование [Malischewsky, Scherbaum, 2004].

В настоящей главе приводится также описание разработки и реализации подходов к оценке сайт эффекта на основе решения прямой и обратной задачи взаимодействия поверхностной волны Рэлея с неоднородностями строения среды. Такой метод оценки используется в методе микросейсмического зондирования [Паролай, 2005], основанном на оценке свойств грунтового слоя по данным анализа пространственных вариаций спектра микросейсмического поля. Первый методологический подход – основан на фиксации с помощью сети сейсмостанций колебаний от произошедших ощутимых и сильных землетрясений. Второй подход основан на использовании широкополосных сейсмических шумов (микросейсм). На основе полученных записей микросейсм продолжительностью 30-40 минут на каждом выбранном участке исследуемой территории, осуществляются определения характера сейсмических шумов для этих участков.

В результате для трех городских агломераций — Бишкека, Каракола и Нарына был проведен комплексный анализ микросейсм, который лег в основу схем сейсмического районирования этих городов (рис. 2-4) в терминах резонансных частот. Результаты по Нарыну представлены и обсуждаются более подробно (рис.4,5). По всем трем агломерациям анализ проводился всеми тремя перечисленными выше способами — методом анализа записей землетрясений, методом анализа микросейсм и методом построения дисперсионных кривых и построения на этой основе профилей изменения с глубиной волн Vs. Практически основой для сейсмического районирования являлся метод анализа поля микросейсм, два других метода использовались более для подтверждения результатов, получаемых методом анализа поля микросейсм. Во всех случаях выявленные особенности поля микросейсм хорошо согласуются с независимыми данными по геологическому строению исследованных городских агломераций. Основная резонансная частота, определенная методом Накамуры, во всех этих случаях закономерно изменяется с изменением мощности осадочного чехла, сложенного рыхлыми породами.

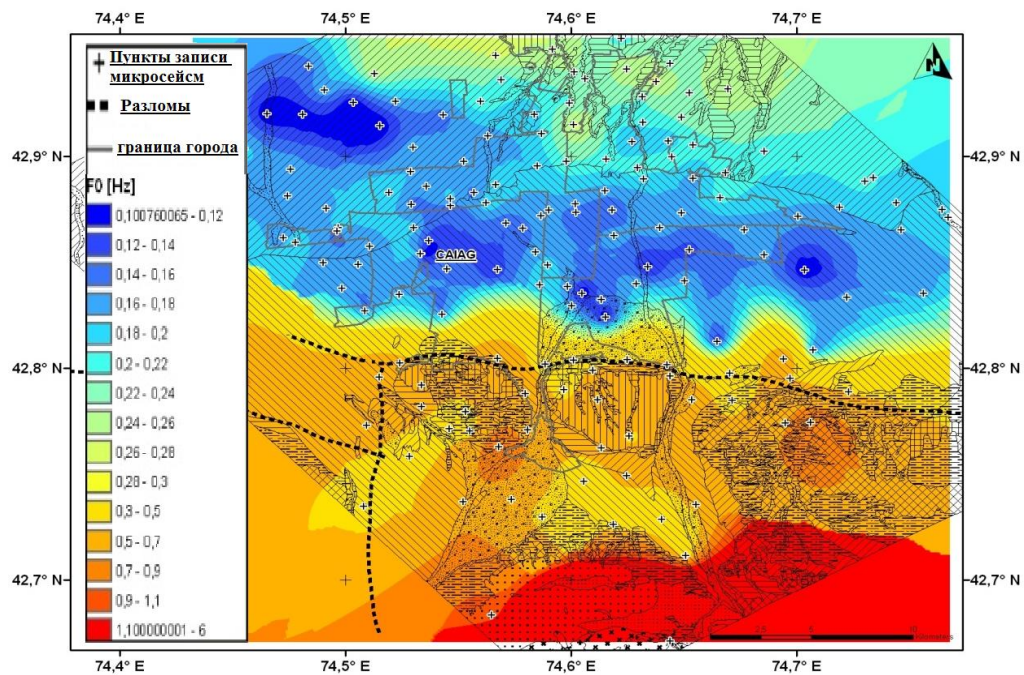


Рисунок 2. Карта фундаментальных резонансных частот г. Бишкек (Киргизия). Крестиками указаны участки, где были проведены измерения сейсмических шумов одной станцией.

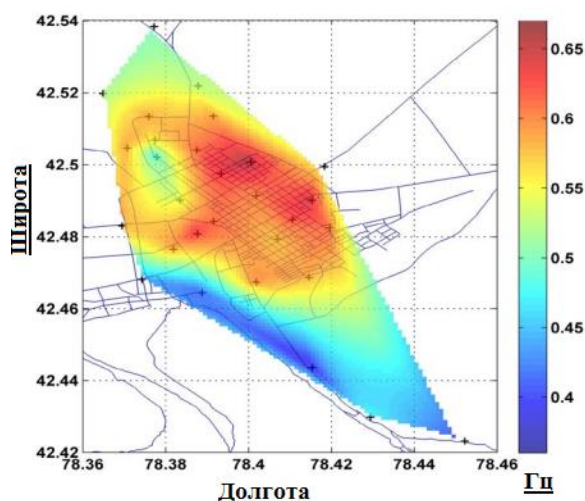


Рисунок 3. Карта резонансных частот для г.Каракол, определенных на основе Н/В спектральных коэффициентов сейсмических шумов.

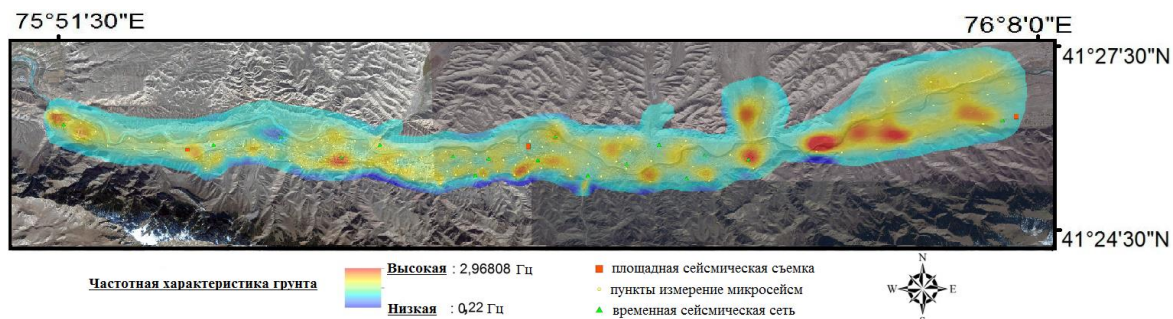


Рисунок 4. Карта интегрированных сайт-эффектов по трем видам сейсмических измерений, проведенных на территории города Нарын и его агломерации.

Кроме того, была также получена уточненная модель формирования сигнала, более полно учитывающей закономерности взаимодействия волны Рэлея с неоднородностями, а именно получение зависимости $w(\omega, y)$, где w – величина сайт эффекта, ω – частота, y – локализация. Это соотношение позволяет описать амплитуду вертикальных колебаний в волне Рэлея (фундаментальная мода) определенной частоты в зависимости от глубины.

Сопоставление характеристик сайт эффекта, полученных в результате расчетов разными методами (по профилям изменения V_s от глубины и сравнение результатов, полученных методом опорной точки (расположенной на скальном основании) и методом отношения H/V спектров по методу Накамуры) показали хорошее согласие между собой.

Особо отметим, что способ определения резонансных частот (и строения осадочной толщи) по методу H/V отношения Накамуры для исследованного района оказался предпочтительным (дающего более устойчивые, логичные и лучше согласующиеся с геологическими данными результаты). Отметим также, что в ряде других регионов, например, на Камчатке [Скоркина, 2017] – напротив, отмечалась неадекватность результатов применения метода спектрального отношения Накамуры. В нашем случае, различные наборы экспериментальных данных подтвердили, что эти отношения гораздо более стабильны, чем сами спектры. Метод может быть признан эффективным для определения основной резонансной частоты осадочного слоя и предполагаемого резонансного приращения амплитуды, которые более реалистичны, чем полученные по методу эталонной точки. Основное преимущество этого метода — это прямая оценка резонансной частоты слоя осадков без необходимости знать их мощность и скорости S волн, а также простые и недорогие измерения. Подчеркнем, однако, что не существует прямой взаимосвязи между пиковой амплитудой H/V и величиной приращения балльности. Можно предположить, что успешность применения метода Накамуры в нашем случае обусловлена относительно большей простотой строения грунтовой толщи в исследуемом регионе, а именно отсутствием вулканических геологических новообразований прорывающих осадочную толщу и сильно деформирующих ее исходно слоистую структуру.

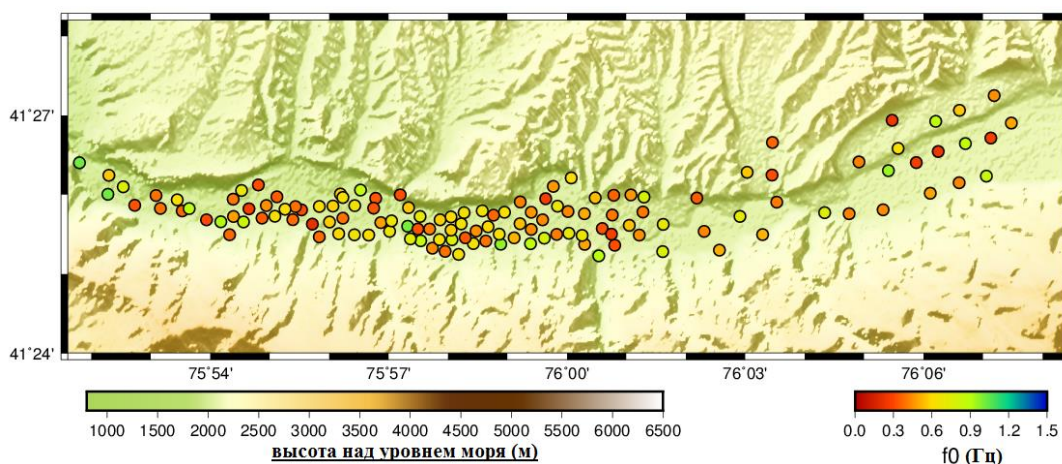


Рисунок 5. Карта точечного распределения основной частоты резонанса определенной по результатам измерений сейсмических шумов для составления интегральной карты сайт-эффектов территории города Нарын и его агломераций.

Основные результаты по главе 3.

1. Получены карты микросейсмического районирования 3-х городских агломераций территории Киргизии – городов Бишкека, Каракола и Нарына в терминах доминирующих резонансных частот.
2. Продемонстрирована эффективность метода H/V отношения спектров Накамуры для определения фундаментальных частот колебаний грунтовой толщи для условий Киргизии. Сделано предположение эффективности этого метода в регионах с отсутствием современного вулканизма и напряженного, и изменчивого глубинного теплового режима (вызывающего сильные метаморфические превращения и изменяющего упругие характеристики пород).
3. Уточнена модель взаимодействия волны Рэлея с неоднородностями строения верхних горизонтов.

Материалы главы явились основой для третьего защищаемого положения. (вставить формулировку)

В четвертой главе обсуждается методика возможности распространение результатов точечных наблюдений микросейсмического поля на всю исследуемую территорию с целью получения детальных площадных оценок сайт-эффекта, а также рассматриваются ограничения на возможности метода использования микросейсм, связанные с малой амплитудой микросейсм.

Для решения первого вопроса используется известное (рекомендованное к использованию USGS) регрессионное соотношение между характеризующими свойства грунтовой толщи средними значениями скорости сейсмических s-волн в верхних 30 м разреза (V_{s30}) и локальными значениями уклона местности, получаемыми по детальным цифровым моделям рельефа. Используемая методика в диссертации получения

детальных (с разрешением 1 арксекунда ~ 30 м) данных по уклонам местности на основе открытых мировых баз данных подробно описана в диссертации. Параметры регрессии пополняются и верифицируются полученными автором результатами по точечным микросейсмическим наблюдениям, проведенным с целью определения профиля скоростей s-волн на нескольких участках в бассейне Верхнего Нарына. Эти полученные нами данные по бассейну Нарына хорошо согласуются с мировыми данными для случая тектонически активных областей с молодым рельефом местности (рис.6).

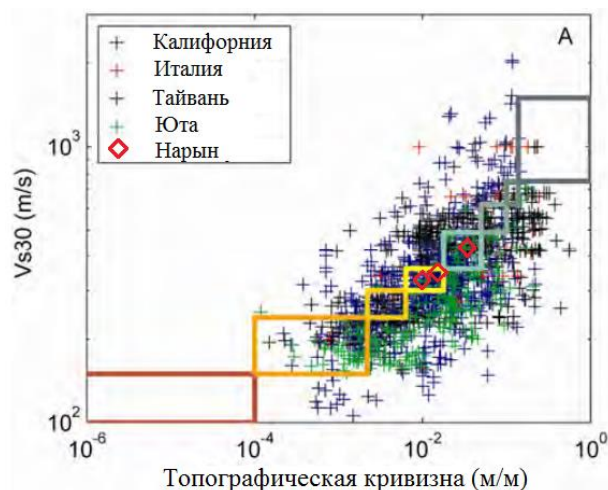


Рисунок 6. Соотношение измеренных значений Vs30 (м/с) и локальных значений уклона местности (м/м) для активной тектонической области, по (Wald and Allen, 2007). Цветные полигоны представляют собой Vs30 и диапазоны наклонов, соответствующие типовым диапазонам, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Интервалы величин Vs30 и наклонов местности для тектонически активных областей с молодым рельефом и для тектонически стабильных регионов.

Класс грунтов	Диапазон изменения Vs30	Величины наклона местности, тектонически активные области	Величины наклона местности, тектонически стабильные области
E	<180	<1.0E-4	<2.0E-5
	180-240	1.0E-4 – 2.2E-3	2.0E-5 - 2.0E-3
D	240-300	2.2E-3 – 6.3E-3	2.0E-3 - 4.0E-3
	300-360	6.3E-3 – 0.018	4.0E-3 - 7.2E-3
C	360-490	0.018 – 0.050	7.2E-3 – 0.013
	490-620	0.050 – 0.10	0.013 – 0.018
B	620-760	0.10 – 0.138	0.018 – 0.025
	>760	>0.138	>0.025

Такое согласие подкрепляет мнение о возможности применения метода регрессии для получения площадных оценок сайт-эффекта. В

качестве результата получаем прогнозную детальную карту сейсмического микрорайонирования на всю требуемую территорию (рис. 7). Отметим, что разброс данных по регрессии довольно велик, в связи с чем в рекомендациях USGS рекомендуется огрублять результаты до класса грунта (B, C, D, E) и, в более ответственных случаях, проверять результаты расчета точечными сейсмическими наблюдениями.

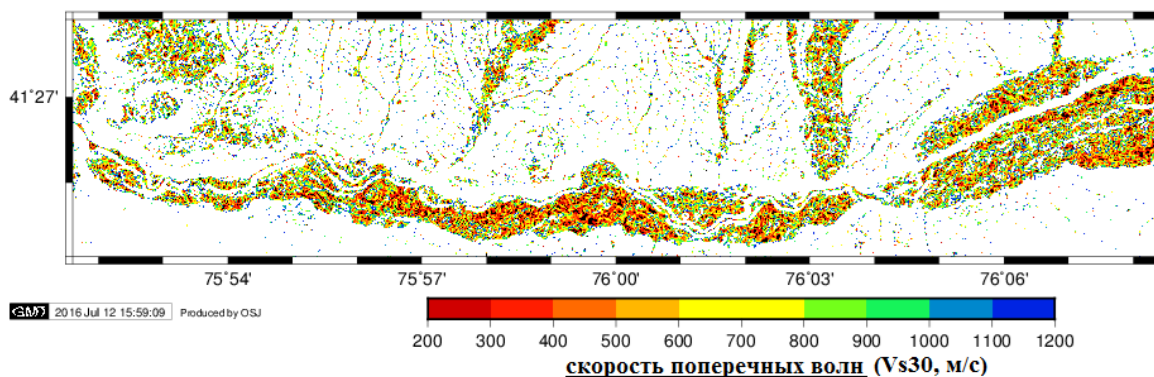


Рисунок 7. Карта микрорайонирования по Vs30 на территории агломерации города Нарын

В плане решения второго вопроса проводилось сравнение результатов микросейсмических наблюдений с результатами наблюдений с использованием искусственных вибровоздействий, производимых вибромашиной. Исследовался небольшой типовой дом частного сектора. Определялись резонансные частоты колебаний здания и грунта. По данным анализа искусственных сильных вибровоздействий выявился дополнительный, не обнаруженный при анализе микросейсм, низкочастотный максимум отклика в колебаниях грунта. Природа этого максимума остается неясной. Он может быть связан как с более глубокой границей осадочного слоя, так и с началом разжижения почв сильным сейсмическим воздействием. Отметим, что исследование вибровоздействия в масштабе всего здания оказалось возможным ввиду небольшого его размера (небольшой типовой дом частного сектора). Исследование больших по размеру сооружений вызвало бы большие технические трудности. На основании исследования сделаны рекомендации по ориентации строящихся зданий исследованного типа.

По результатам сравнения наблюдений микросейсм и вибровоздействий делается вывод об ограниченной применимости метода микросейсм, принципиально не позволяющего оценивать возможные эффекты изменения грунтовых характеристик и свойств конструкций (видимо, второе менее существенно) при сильных сейсмических воздействиях.

Основные результаты по главе 4.

Проблема успешного применения метода анализа микросейсм для оценок сейсмической опасности включает задачу расширения результатов анализа на значительную территорию и проблему возможной

ограниченности метода анализа микросейсм в связи с малой амплитудой микросейсм. Оба эти вопроса рассматриваются в 4-й главе. Продемонстрировано, что:

1) - применим метод использования рекомендованной USGS регрессионной связи между локальными значениями наклона рельефа и величинами V_s30 , характеризующими величину сайт-эффекта. Метод (при значительной погрешности) обеспечивает высокое разрешение по пространству.

2) - выявлен пример ограниченности метода анализа поля микросейсм; параллельное использование метода микросейсм и данных по искусственному воздействию вибромашиной показали наличие во втором случае дополнительного низкочастотного пика в величинах отклика. Природа пика осталась неясной.

По материалам главы сформулированы 3-е и 4-е защищаемые положения. Первое защищаемое положение является обобщением всего содержания диссертации.

В заключении кратко сформулированы основные полученные в диссертации новые результаты.

Применительно к оценке максимального сейсмического эффекта показано, что для практических целей оценки величин сейсмической опасности оценка максимальных скоростей предпочтительнее оценки максимальных ускорений, а используемый нами метод оценки PGVEM направлен на оценку именно величин максимальных массовых скоростей при древних землетрясениях. Вторым новым моментом является то, что впервые реализована программа площадных оценок по этому методу, в данном случае для области планируемого строительства Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Полученные нами оценки возможных величин максимальных воздействий (балльности) совпали с параметрами, заложенными в проект строительства каскада ГЭС. Такое совпадение можно полагать как свидетельствующим в пользу использованного метода, так и как дополнительное подкрепление обоснованности проекта в плане сейсмической безопасности.

Проблемы, связанные с оценкой величин сайт-эффекта рассмотрены на примере 3-х городских агломераций Киргизии. Использованный подход включает 3-х разных метода оценки величин сайт-эффекта — на основе превышения амплитуд колебаний при землетрясениях относительно реперной станции на скальном основании, на основе анализа поля микросейсм, и на основе построения вертикальных профилей изменения скоростей волн V_s в верхнем грунтовом слое. При этом за основной метод принят наиболее экономичный метод использования поля микросейсм. Для условий Кыргызстана показана хорошая применимость метода Накамуры.

Метод анализа микросейсм, однако, предполагает то обстоятельство, что получаемая картина может быть не полной, ввиду малых амплитуд

колебаний микросейсм. Встает также задача получения оценок не для отдельных точек, а для всей исследуемой территории, причем с высоким пространственным разрешением. Для распространения результатов расчета сайт-эффекта на всю территорию использована рекомендованная USGS регрессия между наклонами местности и характеризующими величину сайт-эффекта средними скоростями волн V_s в верхних 30 м грунтовой толщи. В работе показана согласованность мировых данных по этой регрессии для тектонически активных территорий с отдельными полученными автором данными для территории Киргизии. Детально описана процедура получения величин наклона местности с детальностью 1 арк-секунд по открытым мировым данным космического мониторинга.

Список основных публикаций по теме диссертации:

- в изданиях рекомендованных ВАК и приравненных к ним международных журналах

1. Орунбаев С.Ж., Мендекеев Р.А., Молдобеков Б.Д., Родкин М.В. Сравнительный анализ результатов микросейсмических и вибро-сейсмических испытаний здания (на примере типового частного жилого дома) // Вопросы инженерной сейсмологии, Т45, №1, Москва, 2018, с. 49-58.
2. Родкин М.В., Корженков А.М., Орунбаев С.Ж. Опыт оценки максимальных массовых скоростей в очаговых зонах сильных землетрясений по смещениям скальных отдельностей на примере некоторых районов Киргизии. // Вопросы инженерной сейсмологии, Т-42, №4, Москва, 2015, с. 25-36.
3. Parolai S., S. Orunbaev, D. Bindi, A. Strollo, Sh. Usupaev, M. Picozzi, D.Di. Giacomo, P. Augliera, E. D'Alema. C. Milkereit, B. Moldobekov, J. Zschau. Site effect assessment in Bishkek using earthquake and noise recording data // Bulletin of the Seismological Society of America, BSSA, 2010, pp. 3068—3082.
4. Bindi D., T. Boxberger, S. Orunbaev, M. Pilz, J. Stankiewicz, M. Pittore, I. Iervolino, E. Ellguth, S. Parolai. On-site early-warning system for Bishkek (Kyrgyzstan) // ANNALS OF GEOPHYSICS, 58, 1, 2015, pp. 112-118;
5. Pilz M., T. Abakanov, K. Abdrakhmatov, D. Bindi, T. Boxberger, B.Moldobekov, S. Orunbaev, N. Silacheva, S. Ullah, S. Usupaev, P. Yasunov, S.Parolai. An overview on the seismic microzonation and site effect studies in Central Asia // ANNALS OF GEOPHYSICS, 58, 1, 2015, pp. 104-112
6. Ullah S., D. Bindi, M. Pittore, M. Pilz, S. Orunbaev, B. Moldobekov, S. Parolai. Improving the spatial resolution of ground motion variability using earthquake and seismic noise data: the example of Bishkek (Kyrgyzstan) // Bulletin of Earthquake Engineering, 11, 2, DOI: 10.1007/s10518-012-9401-8, 2013, 385-399
7. Pilz M., D.Bindi, T.Boxberger, F.Hakimov, B.Moldobekov, Sh.Murodkulov, S.Orunbaev, M.Pittore, J.Stankiewicz, Sh. Ullah, F.Verjee, M.Wieland, P.Yasunov and S.Parolai. First Steps toward a Reassessment of the Seismic Risk of the City of Dushanbe // Seismological Research Letters V84, N6, 2013, p.1026-1038

8. Parolai S., Bindi D., Ullah S., Orunbaev S., Usupaev Sh., Moldobekov B., Echtler H. The Bishkek vertical array (BIVA): acquiring strong motion data in Kyrgyzstan and first results // J.Seismol, Published online, 2012. pp. 707-719.
9. Orunbaev S.J. Determining shear wave velocity using microtremor in Naryn city, Kyrgyz Republic. // National Graduate Institute for Policy Studies, Annual of GRIPS, Tokyo, Japan, 2016, pp. 25-31
10. Орунбаев С.Ж., Родкин М.В., Абдывапов Н.А. Опыт применения некоторых новых методов оценки сейсмической опасности в Киргизии. // Седьмого Международного симпозиума «Проблемы Геодинамики и Геоэкологии Внутриконтинентальных Орогенов», г. Бишкек, Киргизия, 2017, с. 324-330
11. Орунбаев С.Ж. Оценка сайт-эффектов для восточной части города Нарын, Кыргызстан. // Сергеевские чтения. Выпуск 18, март 2016, РУДН, Москва, стр. 179-183.
12. Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д. Новые сейсмокарты «VS30» составленные на основе топографических снимков высокого разрешения «srtm-1» для территории Кыргызстана // IX международная конференция Молодых ученых и студентов, Современные техника и технологии в научных исследованиях, Бишкек, Кыргызстан, 2017, с.323-327
13. Orunbaev S., Pilz M., Usupaev S., Bindi D., Serenkov A., Mambetaliev E., Verjee F., Moldobekov B. and Parolai S. Site Effect Assessment In Naryn (Kyrgyzstan) Using Earthquake And Noise Data. // A joint event of the 15th European conference on Earthquake engineering & 34th General Assembly of the European Seismological commission. ESC2014, Istanbul, Turkey, 2014, pp. 156-161.
14. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж. Карты сайт эффекта и раннее оповещение населения городов от землетрясений в Центральной Азии. // Сборник материалов докладов. 9-ая Международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях» 27-28 марта 2017 года. г. Бишкек. ИС РАН, 2017. С. 251-257.
15. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д. Карты сайт-эффекта и раннее оповещение населения городов о землетрясениях в Центральной Азии // IX международная конференция Молодых ученых и студентов, Современные техника и технологии в научных исследованиях, Бишкек, 2017, с. 251-257

- иные публикации

16. Pilz M., D. Bindi, B. Moldobekov, S. Orunbaev, S. Ullah, S. Parolai. Site effect studies in Khorog (Tajikistan) // Scientific Technical Report; 14/10, Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, p. 7-15
17. Горшков А.И., Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Лы Н.Т., Туен Н.Х., Орунбаев С.Ж. Старые и новые подходы к проблеме оценки долгосрочной сейсмической опасности. // Сергеевские Чтения, Выпуск 18, Москва, РУДН, 2016, 135-140 с.

18. Orunbaev S.J., Rodkin M.V. Assessing Earthquake Hazard Near Dams in Kyrgyzstan's Upper Naryn Region. // CAARF Project, Policy Brief, 2017, online
19. Орунбаев С.Ж., Родкин М.В. Макросейсмический анализ для вероятностной оценки сейсмической опасности водосборной территории верхней части р.Нарын // Юбилейная научная конференция 10-летие ЦАИИЗ, 2014, с. 47-51.
20. Haberland Ch., Abdybachaev U., Schurr B., Wetzel H-U., Roessner S., Sarnagoev A., Orunbaev S., Janssen Ch. EOS, Landslides in Southern Kyrgyzstan: Understanding Tectonic Controls. // EOS, Transactions, American Geophysical Union, Volume 92 number 20, 17 May 2011, pages 169–176
21. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д. Комплексные сейсмогеологические исследования георисков на примере городов Кыргызстана // Материалы 13-ой Международной сейсмологической школы. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск-2018. С. 268 – 272.
22. Mechie J., Yuan X., Schurr B., Schneider F., Sippl C., Ratschbacher L., Minaev V., Gadoev M., Oimahmadov I., Abdybachaev U., Moldobekov B., Orunbaev S. and Negmatullaev S. Crustal and uppermost mantle velocity structure along a profile across the Pamir and southern Tien Shan as derived from project TIPAGE wide-angle seismic data // Geophys. J. Int., 2011, pp. 58-76.
23. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э. Новые Vs карты и инженерные решения для сейсмостойкого строительства и снижения георисков от землетрясений в Кыргызстане // Материалы Второго Международного симпозиума, посвященного 75 летию НАН КР. Современные проблемы механики: прогноз и предупреждение горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве. Бишкек, 2018, с. 286 – 298.
24. Sippl Ch., B. Schurr, X. Yuan, J. Mechie, F. Schneider, M. Gadoev, S. Orunbaev, I.Oimahmadov, Ch.Haberland, U.Abdybachaev, V.Minaev, S.Negmatullaev, N.Radjabov Geometry of the Pamir-Hindu Kush intermediate-depth earthquake zone from local seismic data // Journal of Geophysical Research, 118, 4, 2018, pp. 1438-1457
25. Schneider F., X. Yuan, B. Schurr, J. Mechie, C. Sippl, C. Haberland, V. Minaev, I. Oimahmadov, M. Gadoev, N. Radjabov, U. Abdybachaev, S. Orunbaev and S. Negmatullaev. Subduction of Eurasian continental lower crust beneath the Pamir constrained by seismological observation // Earth and Planetary Science Letters 375, 2013, pp.101–112.
26. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д. Микросейсмические зондирования Исык-Атинского и Чон-Кеминского разломов Северного Тянь-Шаня. Сборник докладов 8-ой международной молодежной конференции «Современные техника и технологии в научных исследованиях». ФГБУН Научная Станция РАН. г. Бишкек, 2016, с. 195-200.

27. Boxberger T., Pilz M., Orunbaev S., Pittore M., Fleming K., Milkereit C., Parolai S., Bindi D. Noch Sekunden bis zu Erschütterung: ein Erdbebenfrühwarnsystem für Bischkek // - System Erde, 3, 2, 2013, pp. 18—23.
28. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж. Карты сайт-эффектов и система раннего оповещения мегаполисов от сейсмокатастроф в странах Центральной Азии. Сборник докладов Международной конференции: “Актуальные проблемы современной сейсмологии”, посвященной 50-летию Института сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, 2016, с.720-727.
29. Feld C., C. Haberland, B. Schurr, C. Sippl, H-U Wetzel, S. Roessner, M.Ickrath, U. Abdybachaev, S. Orunbaev. Seismotectonic Study of the Fergana Region (Southern Kyrgyzstan): Distribution and Kinematics of Local Seismicity // Earth, Planets and Space, Springer, 2015, pp. 67-70
30. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С., Токмулин Ж.А., Абдыбачаев У.А., Мелешко А.В. ЦАИИЗ, Parolai St., Strollo A. GFZ (Германия), INGV (Италия) Dr. D. Bindi, E. D’Alema, P. Augliera. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Бишкек. В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание 6-ое с дополнениями), Издательство «Салам», Бишкек, 2009, с. 604-609.
31. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б. Д., Бегалиев У., Паролай С., Бинди Д. Система оповещения сейсмокатастроф для города Бишкек // Теоретический и прикладной научно-технический журнал. ИЗВЕСТИЯ Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Материалы международной конференции «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающей отрасли» посвященная к 80-летию академика У. Асаналиева. Изд. центр “Текник”, Бишкек, 2014, с.392 - 399.
32. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д. Микрозонирование сейсморисков в городах Кыргызстана. // Материалы юбилейной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения д.г.-м.н., профессора Н.И. Кригера. Москва, 2015 г. С. 36-41.