

На правах рукописи



Фидарова Мадина Ивановна

ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ,
ФОРМИРУЕМЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ,
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ Г. ВЛАДИКАВКАЗ)

Специальность 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Владикавказ-2024

Работа выполнена в Геофизическом институте – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (ГФИ ВНЦ РАН)

Научный руководитель: **Заалишвили Владислав Борисович**
доктор физико-математических наук, профессор
научный руководитель ГФИ ВНЦ РАН, г. Владикавказ

Официальные оппоненты: **Корженков Андрей Михайлович**
доктор геолого-минералогических наук, главный
научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией №
304 палеосейсмологии и палеогеодинамики,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г.
Москва

Магомедов Рабадан Абдулкагирович
кандидат геолого-минералогических наук, ведущий
научный сотрудник лаборатории геодинамики и
сейсмологии, Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Дагестанский федеральный
исследовательский центр Российской академии наук, г.
Махачкала

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Защита состоится «15» ноября 2024 года в 11-00 часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.0.075.03 при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» по адресу: г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а (ГФИ ВНЦ РАН).

Отзывы на автореферат (заверенные печатью, в двух экземплярах) просим направлять по адресу: 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 З.Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovets@mail.ru. Факс: 8 (8712) 22-36-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/ и vak.minobrnauki.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.г.н.



З.Ш. Гагаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В горных районах, большей частью характеризующихся высокой сейсмической опасностью, находится значительное количество промышленных и гражданских зданий, гидротехнических сооружений и объектов транспортной инфраструктуры, создающих различные виды антропогенного воздействия на природную среду. Интенсификация урбанизации, образование крупных городов и городских агломераций, увеличение объемов промышленного производства, а также рост населения связаны с интенсивным использованием ограниченных земельных, водных и минеральных ресурсов. Эффективность их использования и защита от опасных геологических процессов во многом зависят от характера инженерно-геологических условий и степени их изученности. Анализ факторов геологического риска позволяет на основе комбинирования информационных слоев с данными о пространственном распределении опасности, техногенной нагрузке и уязвимости застройки оценивать ожидаемые геологические риски. В 2021 году в ГФИ ВНЦ РАН был разработан подход, когда на основе экспертных оценок, для каждого исследуемого участка, характеризующегося собственным уровнем геологического риска, выделялся ряд стандартных факторов, формирующих интегральный геологический риск (Заалишвили, Чотчаев, 2022). Для урбанизированных горных территорий проблема оценки и снижения геологического риска с целью разработки мер по управлению и снижению ущерба является актуальной.

Наиболее точной характеристикой сейсмических воздействий является сейсмическая интенсивность, поскольку она напрямую связана с повреждаемостью строительных объектов. Необходимо отметить, что действующая шкала ГОСТ Р 57546-2017 однозначно связывает баллы шкалы сейсмической интенсивности со степенями повреждений различных типов зданий. При этом оценки интенсивности однозначно связаны с параметрами состояния собственно грунтов. В этой связи оценка интенсивности в целочисленных величинах, несомненно, характеризуется высокой погрешностью. Это предполагает разработку методологии использования дробных значений интенсивности в баллах. В то же время, повреждаемость объектов определяется не только параметрами сейсмических или динамических воздействий, но и геологическим или геологическим состоянием исследуемой территории.

Факторами, определяющими интегральный геологический риск территорий, являются: природные – геолого-тектонические, техногенные, экологические и социально-экономические процессы, состояние которых определяет потенциал ущерба и его проявленную величину. Каждый из этих факторов характеризуется особенностями текущего состояния и уровнем реализации. Современные цифровые геоинформационные технологии позволяют производить системную оценку состояния каждого фактора риска на основе алгоритмов машинного обучения [19]¹. Основой такой оценки является,

¹ Здесь и далее указан номер источника в Списке работ, опубликованных автором по теме диссертационной работы

несомненно, адекватный выбор величин, определяющих опасности различного вида и зависящих от решаемой геоэкологической задачи [7, 11, 20]. Так, для оценки геоэкологического риска целесообразно использовать макросейсмическую интенсивность в баллах, когда важно получить обоснованные формулы пересчета непрерывных физических величин, выражаемых через параметры инструментальных данных в интенсивность макросейсмической шкалы, которая в данном случае обоснованно будет являться непрерывной (однородной). Геоэкологические задачи могут отличаться от инженерных задач, и интегральная мера воздействия, выраженная в величине интенсивности, является более общей и более обоснованной для применения. В частности, установление сейсмической опасности в единицах пиковых ускорений не отражает, в целом, все особенности процесса, но является определенной величиной, для которой по инструментальным данным строятся региональные модели, а интенсивность, выраженная в баллах, отличается меньшей «разрешающей способностью» исходных данных, выраженной в целочисленных баллах. В этой связи разработка инструментально обоснованного подхода будет сочетать преимущества обеих мер воздействий.

Цель диссертационной работы – разработка научно-методической основы оценки вклада геодинамических, в том числе, сейсмических воздействий в геоэкологические риски урбанизированных горных территорий (на примере г. Владикавказ) на основе инструментальной меры интенсивности землетрясений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Создание баз данных сильных грунтовых движений для целей машинного обучения.

- Установление соотношений между сейсмическими шкалами для унификации данных.

- Статистическая обработка набора данных: записей сильных движений на участках с различными эпицентрными расстояниями, грунтовыми условиями и значениями магнитуд землетрясений.

- Исследование различных характеристик динамического или сейсмического воздействия на природную среду и техногенные объекты для выбора параметра или группы параметров, наилучшим образом описывающих инструментальные данные.

- Анализ различных характеристик и разработка методологии вероятностной оценки получаемых инженерных и макросейсмических мер интенсивности.

- Развитие методики оценки геоэкологических рисков в зависимости от уровня динамических, в том числе, сейсмических воздействий на примере сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказа.

Объект исследования – колебания грунтовой толщи в различных инженерно-геологических условиях территории г. Владикавказ при геодинамических воздействиях, в том числе, землетрясениях.

Предмет исследования – анализ влияния параметров, определяющих формирование интенсивности динамического и сейсмического воздействия, на

геоэкологические риски природно-техногенных геосистем (на примере сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказ).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Установлено, что шкала MSK, современной версией которой является действующий стандарт ШСИ-2017, характеризуется высокой равномерностью разметки, что определяет физическую обоснованность закономерностей, получаемых на ее основе, и обуславливает выбор шкалы в качестве основы для разработки инструментальной меры интенсивности («обучение с учителем»).

2. Выявлено, что неоднородность среды определяет разброс значений около математического ожидания параметров, описывающих динамический эффект, и является дополнительной характеристикой грунтового комплекса, т.к. даже при одних и тех же величинах средней скорости поперечной волны в толще Vs30, участки могут относиться к разным сейсмическим категориям.

3. Установлено, что оценка параметров, формирующих интенсивность, может быть выполнена с учетом различной вероятности превышения приведенных значений на основе доверительных интервалов в дробных значениях ожидаемой интенсивности, определяющей геоэкологическое состояние территории.

4. Разработана научно-методическая основа геоэкологического районирования территории, основанная на эмпирических регрессионных соотношениях и оценках статистических характеристик получаемых величин, позволяющая непосредственно учитывать факторы и закономерности развития опасных природно-техногенных процессов и оценку геоэкологического риска.

Научная новизна

1. Впервые выполнена всесторонняя оценка различных параметров динамических и сейсмических записей, подходящих для разработки меры «инструментальной интенсивности», с помощью современных методов машинного обучения – по данным расчета коэффициента корреляции Пирсона, F-теста, модели «случайный лес» и взаимной совместной информации, представляющей непосредственную основу для оценок геоэкологического риска.

2. Сопоставление макросейсмической интенсивности и инструментальных показателей записей динамических и сейсмических событий впервые выполнено с помощью базы данных сильных движений K-Net (Япония), а также записей и результатов обследования отдельных районов на территории Кавказа.

3. Установлены основные параметры, определяющие формирование интенсивности динамического и сейсмического воздействия. Повышение точности достигается совместным использованием интенсивности Фаджфара с максимальным значением амплитудного спектра Фурье, что определило использование в качестве наиболее надежных мер интенсивности модифицированной меры Фаджфара-Анга, а также комбинации пиковой скорости/ускорения и меры Заалишвили – площади спектра колебаний, тесно связанных с геоэкологическим состоянием горно-породного массива.

4. **Разработаны методические основы оценки состояния грунтовой толщи по критерию дисперсии, подтверждающиеся инструментальными**

данными, когда вводимые поправки, обуславливающие различный геоэкологический риск, рассчитываются в форме доверительных интервалов. На основе инструментальной меры интенсивности разработана методика геоэкологического районирования территории с учетом геоэкологических эффектов в задачах сейсмического микрорайонирования.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных, полученных в ходе долговременных наблюдений, сопоставимостью результатов исследований и практики, использованием современных методов исследований.

Теоретическая значимость результатов состоит в решении научной задачи оценки геоэкологических рисков, формируемых геодинамическими воздействиями, на основе инструментальной меры интенсивности землетрясений, имеющей значение для развития геолого-минералогической отрасли знаний.

Практическая значимость работы заключается в использовании ее результатов в качестве основы для оценки сейсмических рисков территорий, сценариев влияния сейсмических факторов на геоэкологические процессы.

Фактический материал и методы исследования. Экспериментальную основу исследования составляет комплекс сейсмологических, геолого-геофизических, макросейсмических, инженерно-строительных и других данных из разных районов мира: базы данных ГФИ ВНЦ, база данных K-NET (Япония) [3, 10, 14], материалы инженерно-геологических изысканий на территории г. Владикавказа при сейсмическом микрорайонировании города и отдельных объектов, проведенных ГФИ ВНЦ РАН в разные годы [9, 16–18]. Исходные материалы обрабатывались при помощи методов теории вероятностей и математической статистики – применялись корреляционный и регрессионный анализ (метод опорных векторов), метод главных компонент, модели «случайный лес». Математическое моделирование выполнялось на основе конечно-разломной модели в Программе FINSIM (Beresnev, 1998); реакции грунтовой толщи методом отраженных волн на основе алгоритмов, разработанных в ГФИ ВНЦ РАН [10, 12, 13, 22], работа с пространственными данными осуществлялась в программах ARCGIS 9 и QGIS [8, 10], обработка данных – в программах MATLAB, JupyterNotebook (библиотеки scipy, numpy, sklearn) [19].

Апробация результатов. Основные результаты исследования представлены на международных, российских и региональных конференциях: VII Международная конференция «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии», г. Владикавказ, 30 сентября – 2 октября 2019 г.; IX Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки», г. Владикавказ, 12–14 декабря 2019 г.; X Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», г. Грозный, 14–16 октября 2020 г.; XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа»; VIII Международная конференция «Опасные природные и техногенные

процессы в горных регионах: модели, системы, технологии», г. Владикавказ, 20–22 сентября 2022 г.; XIII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», г. Владикавказ, 4–8 октября 2023 г.; научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы инженерной сейсмологии, безопасности территорий и зданий, экспертиза и оценка рисков» памяти Ю.А. Бержинского, г. Иркутск, 5–7 декабря 2023 г.; II Евразийский инновационный форум «Актуальные проблемы застройки и безопасности крупных городов», Казахстан, г. Алматы, 13–14 июня 2024 г.; на семинарах ГФИ ВНЦ РАН, 2019–2024 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 печатных работ, в том числе, в изданиях из списка Web of Science и/или Scopus – 10 и в изданиях, рекомендованных ВАК – 7.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология: 1. Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. 9. Динамика, механизмы, факторы и закономерности развития опасных природных, природно-техногенных и техногенных процессов, оценка их активности, опасности и риска проявления. Разработка методов и технологий оперативного обнаружения и прогноза возникновения катастрофических природно-техногенных процессов, последствия их проявления и превентивные мероприятия по их снижению, инженерная защита территорий, зданий и сооружений. 16. Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов. Современные методы геоэкологического картирования, ГИС-технологии и информационные системы в геоэкологии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, трех приложений, в том числе, 65 рисунков, 22 таблиц, списка литературы из 171 наименований. Общий объем работы составляет 308 страниц.

Благодарности.

Диссертация была выполнена в рамках Гранта РФФИ 19-35-90127 «Исследование связи макросейсмической интенсивности землетрясений с показателями инструментальных записей колебаний грунтовой толщи».

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.ф.-м.н., профессору В.Б. Заалишвили за научное руководство, выбор темы исследования, создание условий для работы и постоянную человеческую поддержку. Автор глубоко благодарен д.г.-м.н., профессору С.Г. Параде за ценные советы и рекомендации. Автор благодарен к.т.н., доценту Д.А. Мелькову за плодотворные годы совместной работы. Автор признателен к.т.н., доценту К.С. Харебову, к.г.н. О.Г. Бурдзиевой, к.т.н., доценту А.С. Канукову, И.Г. Архиреевой и другим коллегам за помощь на всех этапах работы над диссертацией.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования, определены цели, решаемые задачи, объект и предмет исследования, сформулированы основные защищаемые положения, приведены научная новизна, теоретическое и практическое значение результатов исследования.

В первой главе проведен анализ современного состояния исследуемой проблемы, рассмотрена структура и основные характеристики современных сейсмических шкал, основные факторы, определяющие повреждаемость застройки на основе результатов инженерного макросейсмического обследования [1, 2] и существующие количественные меры повреждаемости физической системы, на основе которых может быть разработана инструментальная мера сейсмической интенсивности.

Традиционно сейсмические воздействия в практике сейсмостойкого строительства оцениваются величиной пикового горизонтального ускорения грунта. Такой подход, являясь простым и удобным для практического использования, отражен в строительных нормах для сейсмостойкого проектирования и строительства в сейсмически опасных районах большинства стран мира.

Исследования инструментальных записей последних лет показывают, что нередко величина динамического коэффициента усиления не зависит от значений пиковых ускорений. Анализом инструментальных записей сильных землетрясений Японии и США было установлено, что смещения и скорости колебаний частиц на рыхлых, дисперсных грунтах, как правило, превышают значения соответствующих показателей на плотных и скальных грунтах. При этом значения ускорений на рыхлых и плотных грунтах, практически, совпадали. С другой стороны, часто ускорения по своим значениям выше на скальных грунтах. Разрушительный потенциал ускорений не особенно надежен на самых различных уровнях воздействий. При ускорениях 0,4 g (Япония) наблюдались весьма незначительные повреждения и даже при ускорениях 1,8 g (Нортридж, США) повреждения были неадекватно малы. С другой стороны при ускорениях 0,1-0,2 g разрушения были весьма интенсивными (Япония, 1964; Мексика, 1985 и т.д.). В случае землетрясений данной магнитуды и расстояния ускорения оказываются распределенными по нормальному закону.

В последние годы делаются попытки при расчетах зданий и сооружений на сейсмические воздействия использовать величины скоростей колебаний грунтов, что, по мнению инженеров, позволяет непосредственно учитывать кинетическую энергию, воздействующую и поглощаемую исследуемым объектом. Следует отметить, что и величина скорости не характеризуется высокой надежностью в качестве показателя потенциала «повреждаемости». Следует отметить, что не особенно, надежна и т.н. «интенсивность Ариаса», которая установлена на основе анализа 250 записей сильных грунтовых движений.

Очень часто, поврежденные или тем более разрушенные в результате землетрясения здания, априори, связывают с результатами низкого качества строительства. При этом, часто не обращают внимания на другие не менее

важные факторы, которые определяют интегральный эффект сейсмического воздействия (тип здания, грунтовые условия, эпицентральное расстояние, спектральный состав и направление приходящего воздействия, длительность процесса, резонансные явления и т.д.). Другими словами, при анализе последствий сильных и разрушительных землетрясений необходимо учитывать многофакторность влияния процесса землетрясения на застройку. Становится неясным, что определяет сейсмостойкость сооружения или какой параметр воздействия определяет его сейсмический эффект и является наиболее важным для адекватной оценки сейсмостойкости.

Действующая шкала сейсмической интенсивности ШСИ-2017 (ГОСТ Р 57546-2017), несомненно является прогрессивной – в ней формализована реакция различных объектов (категорий сенсоров: людей, предметов быта, зданий и сооружений) на сейсмические воздействия, но при этом определение интенсивности по инструментальным данным традиционно основано на максимальных значениях ускорений, скоростей или смещений. Использование интегрального параметра, например, комбинации ускорения и скорости, как параметров не только характеризующихся различной частотой колебаний, но и физически описывающих разные величины – силы, воздействующие на систему, и передаваемую системе энергии позволяют учитывать в более полной мере геоэкологическое состояние среды.

Во второй главе выполнен анализ известных способов получения соотношений между различными сейсмическими шкалами мира. Установлены неравномерности указанных сейсмических шкал, обусловленные особенностями реакции объектов-индикаторов. Выявлены наиболее обоснованные соотношения для пересчета величин интенсивностей, полученных в различных диапазонах сейсмической шкалы JMA, в величины сейсмической шкалы MSK или MMI (США, Европа) – рис. 1 [5].

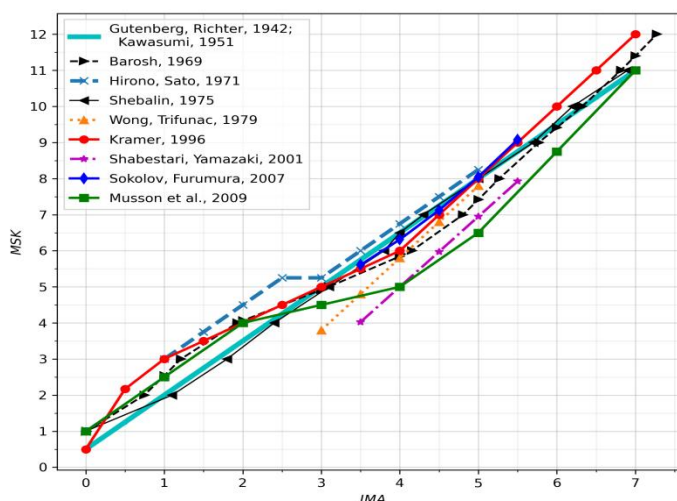


Рисунок 1. Пересчет интенсивности JMA в MSK по различным источникам

Анализ многочисленных имеющихся работ показывает различия в зависимостях, порой достигающие двух баллов. Наибольшей неравномерностью

шкала JMA (Япония) обладает в интервале интенсивностей от 4 до 6 MSK (Россия), однако, необходимо отметить, что в диапазоне $MSK > 6$ зависимость между шкалами JMA и MSK можно считать линейной, при этом угол наклона, определенный по разным источникам примерно одинаков и равен 2. Для верхней границы шкал предлагается продолжить данный тренд, поскольку признаки, основанные на повреждении и разрушении зданий, достигают насыщения, а также в силу особенностей развития шкалы JMA, поскольку верхний предел повышался после более разрушительных землетрясений и фактически максимум Японской шкалы не определен [Musson et al., 2009].

В результате для пересчета интенсивности JMA использовалась следующая формула, полученная по данным Kramer, 1996, Richter (1958), Murphy and O'Brien (1977):

$$I_{MSK} = 2,0I_{JMA} - 2,0 \quad (1)$$

Сопоставление соотношений между шкалами семейства Меркалли (MMI) и Медведева (MSK), полученных различными авторами [Barosh, 1969; Kramer, 1996] с данными Шебалина по распределению изосейст землетрясений Македонии [Шебалин, 1975], позволяет сделать вывод, что сейсмическая шкала MSK является наиболее равномерной (во всяком случае, в диапазоне от 3 до 5,5 баллов) т.е. является шкалой «интервалов» (рис. 2). Возможно, это послужило одним из факторов развития инструментального метода сейсмического микрорайонирования, поскольку позволяет использовать интенсивность как величину, а не категориальный признак. Таким образом, шкала MSK является наиболее подходящей основой для разработки инструментальной меры сейсмической и динамической интенсивности. Полученные соотношения между шкалами использованы для обработки базы данных сети K-NET.

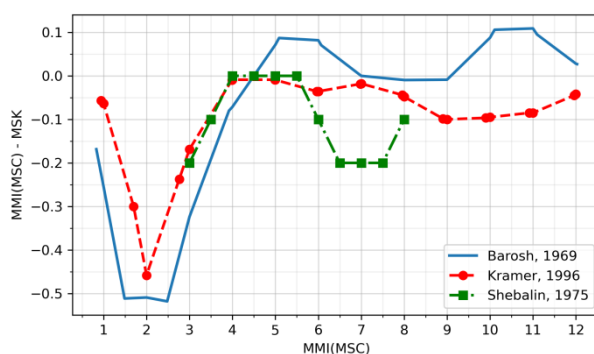


Рисунок 2. Соотношение между шкалами MMI и MSK по данным (Barosh, 1969; Kramer, 1996) и «равномерность» шкалы MCS (MMI) по материалам землетрясений Македонии (Шебалин, 1975)

Глава 3 посвящена формированию набора данных инструментальных показателей записей колебаний грунтовой толщи, и предварительному анализу

связи между собой и с макросейсмической интенсивностью MSK. Выполнен расчет целого ряда инструментальных параметров (максимальных скоростей, смещений и ускорений, среднеквадратической скорости преобладающего периода, интенсивности Ариаса (кумулятивный квадрат ускорений), кумулятивной абсолютной скорости, интенсивности Анга, интенсивности Хаузнера, индекса полной входной энергии, и мер интенсивности Заалишвили - площади реального спектра колебаний, площади нормализованного спектра колебаний, средневзвешенной частоты колебаний, и создан соответствующий набор данных [15].

Выполнена оценка различных параметров сейсмических записей подходящих для разработки меры «инструментальной интенсивности» по данным расчета коэффициента корреляции Пирсона, F-теста, важности признаков модели «случайный лес» и взаимной совместной информации (рис. 3–4). Наиболее информативными признаками являются пиковая горизонтальная скорость (PHV), кумулятивный квадрат ускорений – интенсивность Ариаса, максимальное значение амплитудного спектра Фурье, интенсивность Анга и мера Фаджфара [4, 21, 23].

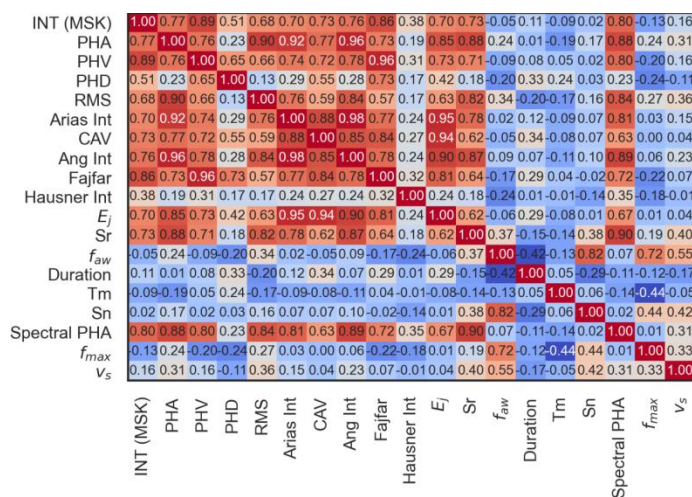


Рисунок 3. Тепловая карта корреляции параметров анализируемого набора данных

В главе 4 на основе созданного набора данных параметров, характеризующих сейсмические воздействия, производится разработка инструментальной меры сейсмической или динамической интенсивности. Для расчета регрессионных соотношений использовался метод опорных векторов (support vector), называемый ранее алгоритмом «обобщенного портрета». Данный метод был разработан советскими математиками В.Н. Вапником и А.Я. Червоненкисом (1974) и с тех пор приобрел широкую популярность (Smola, Schölkopf, 2004). В основе метода опорных векторов для задач регрессии или регрессии опорных векторов (SVR) лежит поиск гиперплоскости, при которой риск в многомерном пространстве будет минимальным. По сравнению с традиционной регрессионной моделью SVR оценивает коэффициенты путем

минимизации квадратичных потерь. Данный метод обладает целым рядом преимуществ по сравнению с методом наименьших квадратов: более устойчив к выбросам в данных, более гибок в своей способности моделировать нелинейные данные, имеет лучшие возможности обобщения, поскольку он использует методы регуляризации, чтобы избежать переобучения. Расчеты выполнялись с использованием библиотеки sklearn.

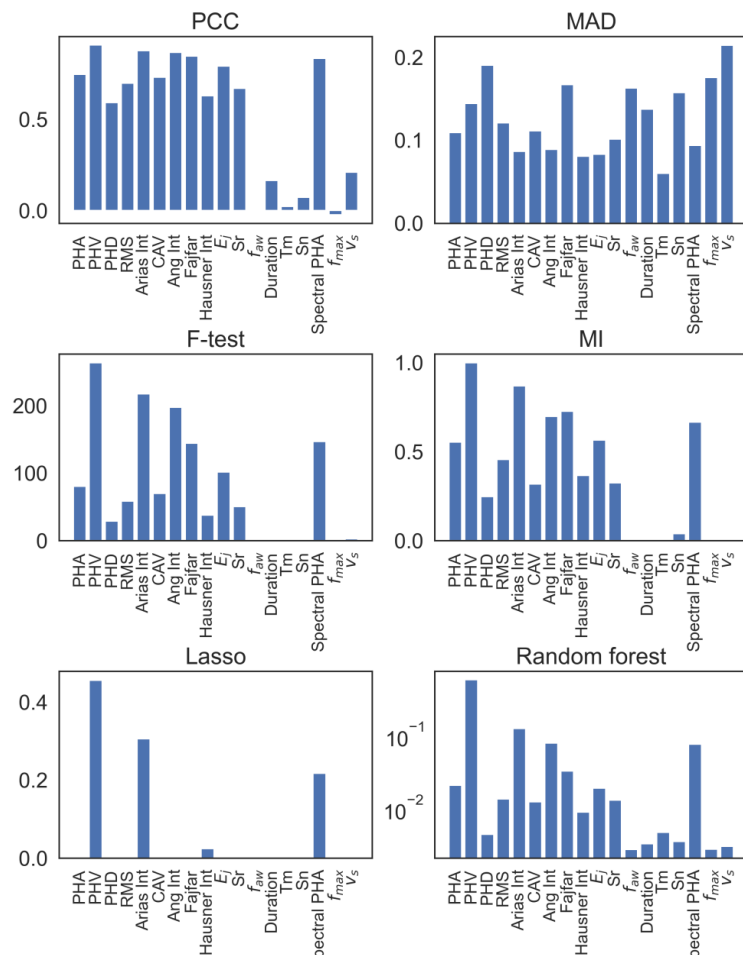


Рисунок 4. Отбор признаков: коэффициент корреляции Пирсона (PCC) (а), среднеквадратическое отклонение (б), F-тест (в), взаимная совместная информация (г), важность признаков модели LASSO (д), важность признаков модели «случайный лес» (е)

Для оценки эффективности моделей с наиболее равномерным использованием имеющихся данных применялась процедура кроссвалидации (перекрестной проверки) (Hastie, 2009).

Расчеты выполнялись для моделей с одним параметром, и различными комбинациями двух и трех параметров набора данных [7]. В модели с двумя параметрами лучший результат получен для комбинации меры Фаджфара и меры Анга и меры Фаджфара и среднеквадратического ускорения (рис. 5а, б).

$$I=0,82 \cdot \lg(\text{Ang Int})+1,34 \cdot \lg(\text{Fajfar})+2,6 \quad (2)$$

$$I=0,90 \cdot \lg(\text{RMS})+1,72 \cdot \lg(\text{Fajfar})+3,2 \quad (3)$$

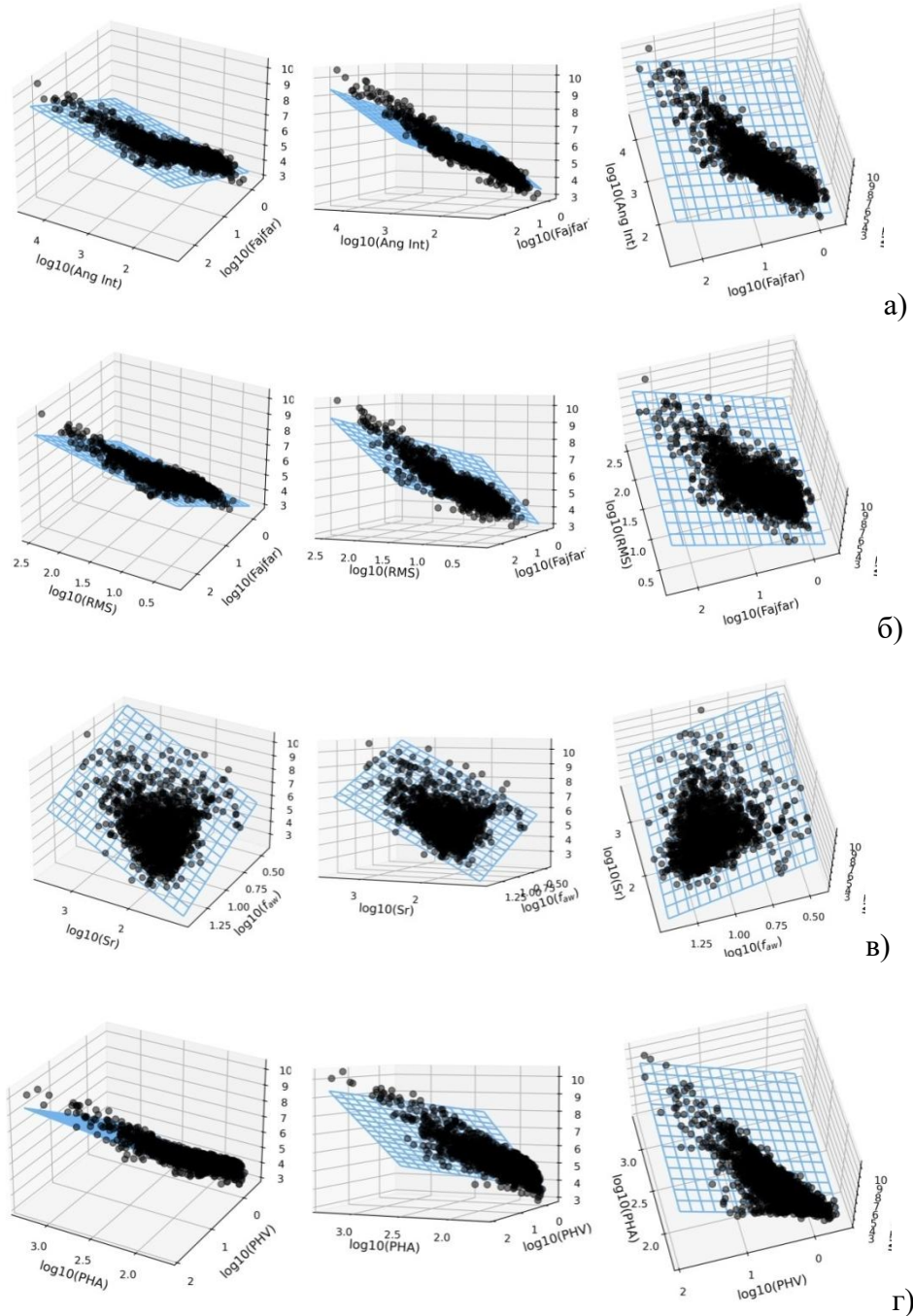


Рисунок 5. Регрессионные модели для двух параметров: комбинация меры Анга и Фаджфара (а) ($R^2=0,89$, $MAE=0,23$), среднеквадратического ускорения и меры Фаджфара (б) ($R^2=0,89$, $MAE=0,23$); меры площади спектра и средневзвешенной частоты (в) ($R^2=0,88$, $MAE=0,23$), пикового горизонтального ускорения и пиковой горизонтальной скорости (г) ($R^2=0,85$, $MAE=0,27$)

Поскольку в меру Фаджфара входит пиковая скорость и продолжительность, по сути, это уточнение трехпараметрической модели, сочетающей в себе элементы меры Фаджфара и Анга:

$$I_{FAl} = RMS^{1.23} PGV^{1.34} t_d^{0.745} \quad (4)$$

или, поскольку нас интересует соотношение между параметрами, соответствующие показатели степени можно представить в виде: 1.65; 1.8 или 0.83; 0.90; 0.5.

Соответствующее выражение для второй модели примет вид $I_{FA2} = RMS^{0.9} PGV^{1.72} t_d^{0.43}$ и показатели степени можно представить в виде: 2.09; 4,0; 1,0 или 1.04; 2.0; 0.5, т.е. выражение примет вид

$$I_{FA2} = RMS \cdot PGV^2 \cdot t_d^{1/2} \quad (5)$$

Для двух основных параметров лучший результат получен для меры площади спектра и средневзвешенной частоты ($R^2 = 0.88$, MAE = 0.23) – рис. 5 в:

$$I = 2,11 \cdot \lg(Sr) - 3,54 \cdot \lg(f_{av}) + 4,68 \quad (6)$$

Следующим по значимости является выражение, полученное для комбинации пикового горизонтального ускорения и пиковой скорости – рис. 5 г:

$$I = 0,59 \cdot \lg(PHA) + 2,11 \cdot \lg(PHV) + 3,41 \quad (7)$$

Предложенные модели инструментальной меры сейсмической или динамической интенсивности должны обладать следующим важным свойством – быть применимы для расчета приращений интенсивности при оценках геоэкологической опасности территории. Практическому применению различных моделей инструментальной интенсивности посвящена пятая глава.

В главе 5 рассмотрены данные сейсмического микрорайонирования (СМР) территории г. Владикавказа [7]. Выполнен анализ различных инструментальных мер сейсмической интенсивности по базе данных сети K-Net. В результате получены модели, основанные на различных параметрах (Глава 4). Установленные закономерности для сейсмической интенсивности, а также формулы, включенные в ШСИ-2017, и полученные В.Б. Заалишвили динамические интенсивности для мощных источников (площади спектра, средневзвешенная частота колебаний в сочетании с амплитудными параметрами) применены для тестового полигона – территории г. Владикавказа (рис. 6).

Инструментальная мера интенсивности может быть непосредственно использована в сейсмическом микрорайонировании, как в расчетных, так и инструментальных способах. В работе использованы данные постоянно действующей сети сейсмических наблюдений на территории г. Владикавказа (способ слабых землетрясений) и расчетный метод, основанный на использовании способа МОВ (многократно отраженных волн).

Возвращаясь к вопросу формирования комплексов инженерно-геологических элементов (ИГЭ) территории, существует задача соответствия получаемых данных районирования реальным свойствам объектов. Созданная в рамках сейсмического микрорайонирования территории г. Владикавказа база данных сейсморазведочных работ в рамках данной работы была дополнена данными, полученными при микрорайонировании отдельных площадок на территории города (рис. 6). Сейсмический метод исследования является инженерным методом установления строения грунтов, и одновременно способом получения данных о сейсмических свойствах среды, необходимых для

моделирования. При этом категория грунтов верхней части толщи может измениться в силу перемещения масс грунтов либо искусственного их уплотнения. Подобные изыскания выявляют изменения природной среды до техногенного вмешательства на уровне геоэкологических процессов и оценок воздействия на окружающую среду и методология эта вполне обоснована. Отсюда интерполяция данных по территории при достаточной плотности точек измерений, в целом, будет соответствовать конкретной геоэкологической обстановке. Уточнение же конкретных условий площадок входит в задачу инженерных изысканий для строительства.

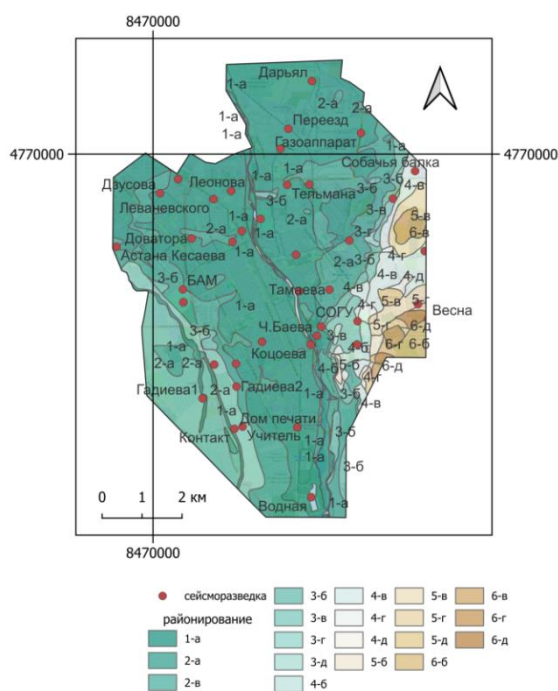


Рисунок 6. Информационный слой инженерно-геологических условий территории в ГИС геоэкологического районирования г. Владикавказа и участки сейсморазведочных работ

В этой связи следует отметить важный аспект, объясняющий расхождения карт-схем СМР и нашего геоэкологического зонирования. Различие заключается в мере ответственности схем, используемых при планировании и принятии решений. Так, зона проявления локальных грунтов второй категории на площади первой категории отнесена на карте-схеме СМР ко второй категории в силу большого распространения подобных участков, чтобы исключить строительство на данном участке объектов заниженной сейсмостойкости (в силу преобладания в данных районах частного сектора и самостоятельной застройки). В то же время при проведении изысканий для строительства сейсмичность площадки будет уточнена в соответствии с результатами изысканий, как это указано в Пояснительной записке к карте.

В качестве нового критерия оценки приращений интенсивности использована дисперсия разброса значений около среднего (в табл. 1 приведены примеры расчетов для участков, представленных на рис. 7) [6, 7]. На рис. 7

показаны гистограммы и соответствующие плотности вероятности, в предположении, что распределение является нормальным.

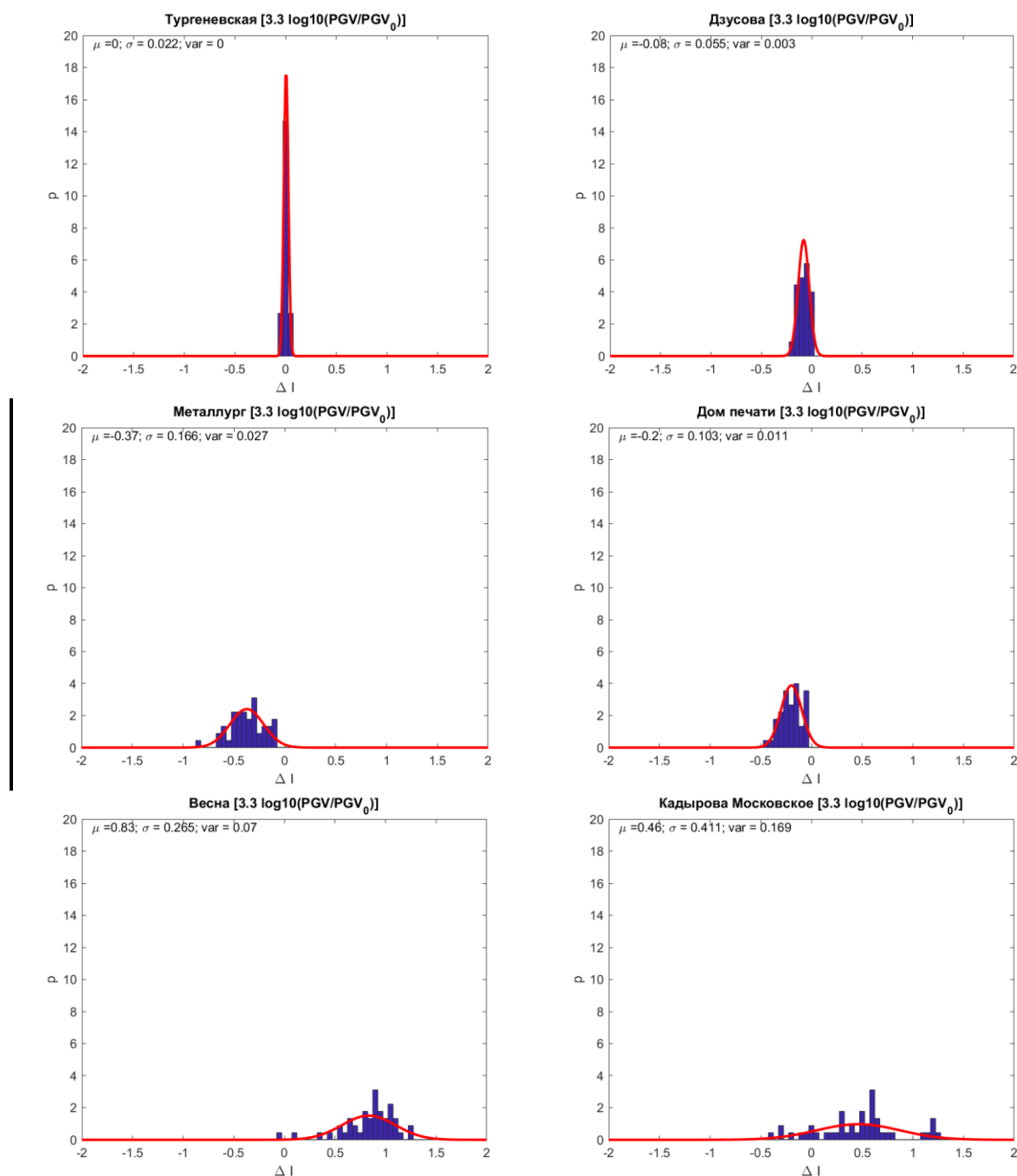


Рисунок 7. Гистограммы распределения приращений динамической интенсивности для различных участков территории

В целом наблюдается закономерность увеличения разброса значений с ухудшением категории, но поскольку данный параметр связан также со слоистостью среды, в пределах одного и того же комплекса ИГЭ данный параметр будет различаться.

В связи с необходимостью оценки максимальных воздействий с определенной вероятностью неперевышения, нами в методологию СМР в расчеты введен новый параметр «дисперсия разброса значений около среднего».

Таблица 1. – Расчет приращений интенсивности ΔI (средние значения) и соответствующие среднеквадратические отклонения σ

№ пп	Формула	Весна		Дом печати		Металлург		Тургеневская		Дзусова		Кадырова Московское	
		ΔI	σ	ΔI	σ	ΔI	σ	ΔI	σ	ΔI	σ	ΔI	σ
1.	$\Delta I = 3.3 \cdot \lg(\text{PHA}/\text{PHA}_0)$	0,47	0,29	-0,45	0,12	-0,91	0,19	0,06	0,06	-0,19	0,08	-0,50	0,54
2.	$\Delta I = 3.3 \cdot \lg(\text{PHV}/\text{PHV}_0)$	0,83	0,26	-0,20	0,10	-0,37	0,17	0,00	0,02	-0,08	0,06	0,46	0,41
3.	$\Delta I = 1.325 \cdot \lg(\text{PHV} \cdot \text{PHA} / (\text{PHV}_0 \cdot \text{PHA}_0))$	0,52	0,19	-0,26	0,06	-0,52	0,11	0,02	0,03	-0,11	0,04	-0,01	0,37
4.	$\Delta I = 2.5 \cdot \lg(\text{PHA}/\text{PHA}_0) + 1.25 \cdot \log_{10}(\tau/\tau_0)$	0,38	0,21	-0,36	0,13	-0,72	0,15	0,04	0,08	-0,14	0,11	-0,20	0,30
5.	$\Delta I = 3.0 \cdot \lg((\text{PHA} \cdot f_{aw}) / (\text{PHA}_0 \cdot f_{aw0}))$	0,11	0,25	-0,39	0,11	-1,06	0,17	0,14	0,06	-0,20	0,08	-0,92	0,41
6.	$\Delta I = 2.0 \cdot \lg(\text{Sr}/\text{Sr}_0)$	0,21	0,06	-0,24	0,01	-0,57	0,03	0,06	0,01	-0,12	0,01	-0,47	0,13
7.	$\Delta I = 0.82 \cdot \lg(\text{Ang}/\text{Ang}_0) + 1.34 \cdot \lg(\text{Fajfar}/\text{Fajfar}_0)$	0,65	0,33	-0,23	0,31	-0,51	0,53	-0,04	0,24	-0,28	0,44	0,13	0,47
8.	$\Delta I = 0.90 \cdot \lg(\text{RMS}/\text{RMS}_0) + 1.72 \cdot \lg(\text{Fajfar}/\text{Fajfar}_0)$	0,66	0,27	-0,21	0,23	-0,46	0,39	-0,03	0,18	-0,23	0,32	0,19	0,41
9.	$\Delta I = 2.11 \cdot \lg(\text{Sr}/\text{Sr}_0) - 3.54 \cdot \lg(f_{aw}/f_{aw0})$	0,60	0,10	-0,28	0,03	-0,33	0,06	-0,04	0,01	-0,09	0,01	0,06	0,26
10.	$\Delta I = 0.59 \cdot \lg(\text{PHA}/\text{PHA}_0) + 2.11 \cdot \lg(\text{PHV}/\text{PHV}_0)$	0,62	0,20	-0,21	0,07	-0,40	0,12	0,01	0,02	-0,09	0,04	0,21	0,35

Распределение среднеквадратических отклонений приращений интенсивности по пиковым горизонтальным ускорениям и скоростям приведено на рис. 8 [7].

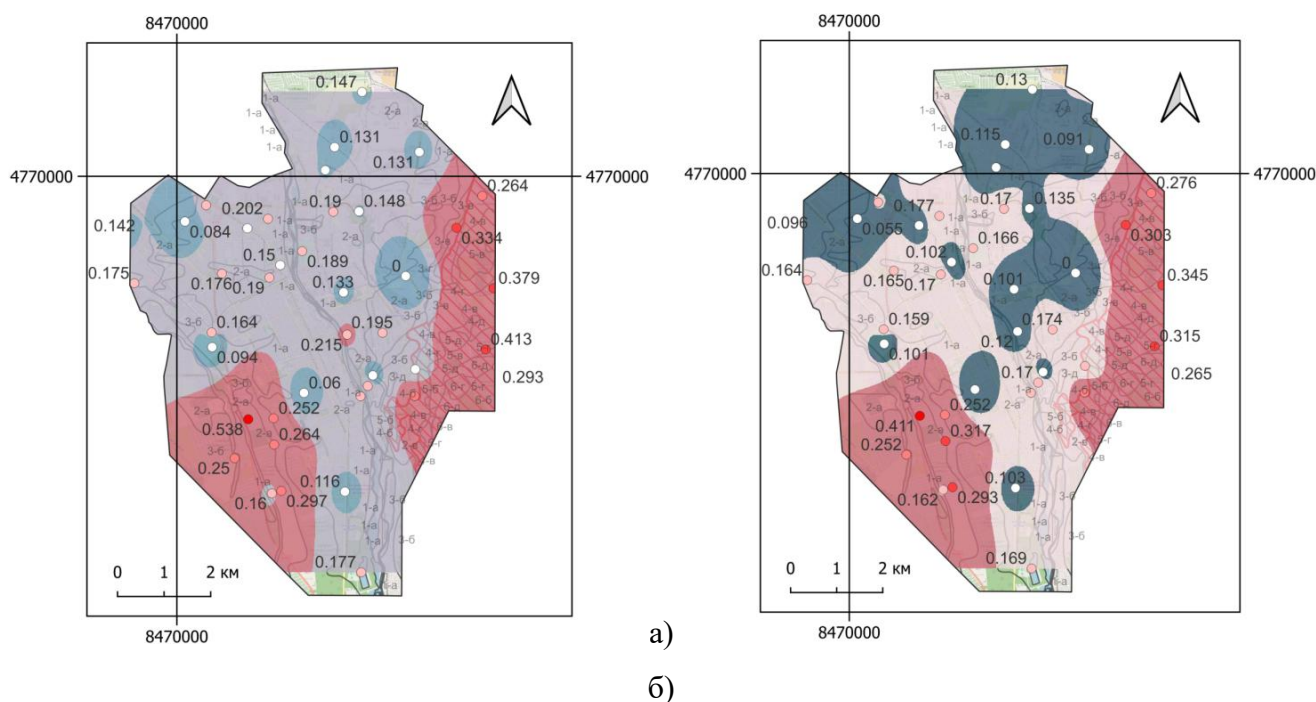


Рисунок 8. Среднеквадратические отклонения приращений интенсивности по пиковым горизонтальным ускорениям (а) и скоростям (б)

В результате выполнено районирование территории г. Владикавказа по комплексу критериев в рамках предложенных формул с учетом доверительных интервалов для вероятностей 5% и 1% непревышения указанных значений (таблица 2) и районирование в пределах каждой категории грунтов, исходя из уточненных данных сейсморазведки. Значительные изменения не отмечаются, учитывая округление результатов до десятых, однако в случае значений около 0,5

по максимальным ускорениям (участок «Весна») изменения могут меняться от 0,47 до 0,54 и обусловить округление приращения на один балл.

Для разбиения территории на подзоны использовалась диаграмма Вороного – деление на области, содержащие равноудаленные точки от данного участка, для которого выполнены работы по данным сейсморазведки. Процесс деления на зоны представлен на рис. 9: деление схемы инженерно-геологического районирования на подобласти диаграммой Вороного (а) и дифференциация внутри каждой категории комплекса ИГЭ (б), если точка не попадает в категорию комплекса ИГЭ, то соответствующая зона на схеме не представлена, и в качестве подложки показана интерполяция данных между точками.

По результатам выполненной оценки была построена уточненная карта-схема СМР территории г. Владикавказа – рис. 10.

Анализ данных показывает различие в двух областях – рис. 11: в северо-западной части территории часть восьмибалльной зоны отмечена как семибалльная (обозначена зеленым цветом), и часть семибалльной территории в центральной части попадает в восьмибалльную зону (обозначена желтым цветом). При этом поправки к значениям сейсмической интенсивности рассчитывались в форме доверительных интервалов

Таблица 2. – Приращения сейсмической интенсивности на городских участках для вероятностей непревышения 95% и 99%

№ пп	Формула	Весна		Дом печати		Металлург		Тургеневская		Дзусова		Кадырова Московское	
		95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%
1.	$\Delta I = 3.3 \cdot \lg(PHA/PHA_0)$	0,54	0,58	-0,42	-0,41	-0,87	-0,85	0,07	0,08	-0,17	-0,16	-0,36	-0,30
2.	$\Delta I = 3.3 \cdot \lg(PHV/PHV_0)$	0,90	0,93	-0,17	-0,16	-0,33	-0,31	0,01	0,01	-0,07	-0,06	0,57	0,61
3.	$\Delta I = 1.325 \cdot \lg(PHV \cdot PHA / (PHV_0 \cdot PHA_0))$	0,57	0,59	-0,25	-0,24	-0,49	-0,48	0,03	0,03	-0,10	-0,09	0,08	0,12
4.	$\Delta I = 2.5 \cdot \lg(PHA/PHA_0) + 1.25 \cdot \log_{10}(\tau/\tau_0)$	0,43	0,46	-0,33	-0,31	-0,68	-0,66	0,06	0,07	-0,11	-0,10	-0,13	-0,09
5.	$\Delta I = 3.0 \cdot \lg((PHA \cdot f_{aw}) / (PHA_0 \cdot f_{aw0}))$	0,17	0,20	-0,37	-0,35	-1,02	-1,00	0,15	0,16	-0,18	-0,17	-0,82	-0,78
6.	$\Delta I = 2.0 \cdot \lg(Sr/Sr_0)$	0,23	0,23	-0,24	-0,23	-0,56	-0,56	0,06	0,06	-0,12	-0,12	-0,44	-0,42
7.	$\Delta I = 0.82 \cdot \lg(Ang/Ang_0) + 1.34 \cdot \lg(Fajfar/Fajfar_0)$	0,74	0,77	-0,15	-0,12	-0,38	-0,32	0,02	0,05	-0,17	-0,13	0,25	0,30
8.	$\Delta I = 0.90 \cdot \lg(RMS/RMS_0) + 1.72 \cdot \lg(Fajfar/Fajfar_0)$	0,73	0,76	-0,16	-0,13	-0,36	-0,32	0,02	0,04	-0,15	-0,11	0,29	0,34
9.	$\Delta I = 2.11 \cdot \lg(Sr/Sr_0) - 3.54 \cdot \lg(faw/faw_0)$	0,62	0,63	-0,27	-0,27	-0,32	-0,31	-0,04	-0,04	-0,09	-0,08	0,13	0,16
10.	$\Delta I = 0.59 \cdot \lg(PHA/PHA_0) + 2.11 \cdot \lg(PHV/PHV_0)$	0,67	0,69	-0,19	-0,18	-0,37	-0,36	0,02	0,02	-0,08	-0,07	0,29	0,33

В рамках разрабатываемой геоинформационно-вычислительной системы выполнена системная интеграция блоков регионального моделирования сейсмических воздействий на основе зон ВОЗ и реакции отдельных участков на данные воздействия. При этом моделировались ансамбли акселерограмм с варьированием характеристик разломов, и выполнялась статистическая обработка результатов с представлением пространственных данных в ГИС-технологиях, формирующих геоэкологический риск территории.

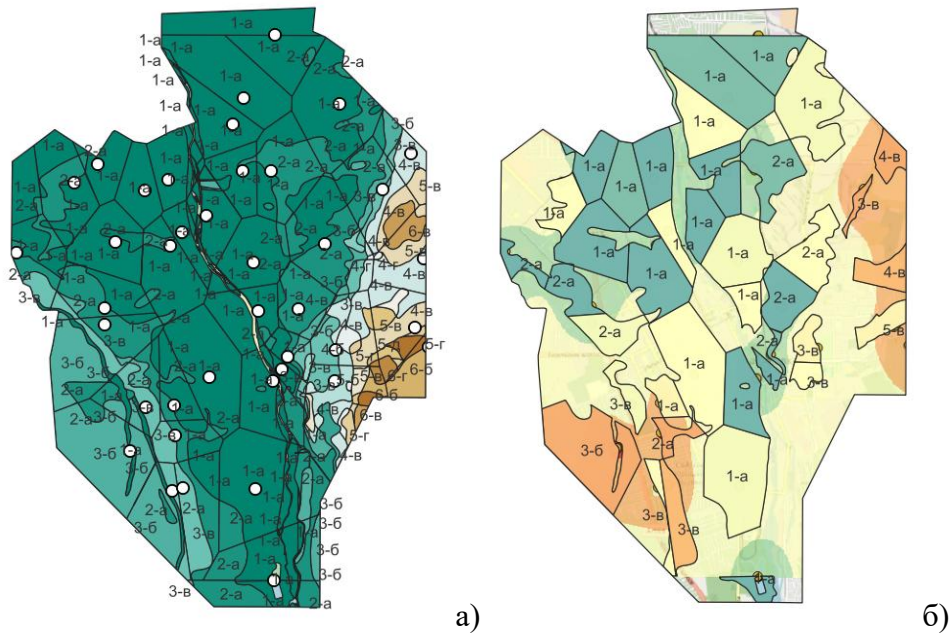


Рисунок 9. Деление схемы инженерно-геологического районирования на подобласти диаграммой Вороного (а) и дифференциация внутри каждой категории комплекса ИГЭ (б)

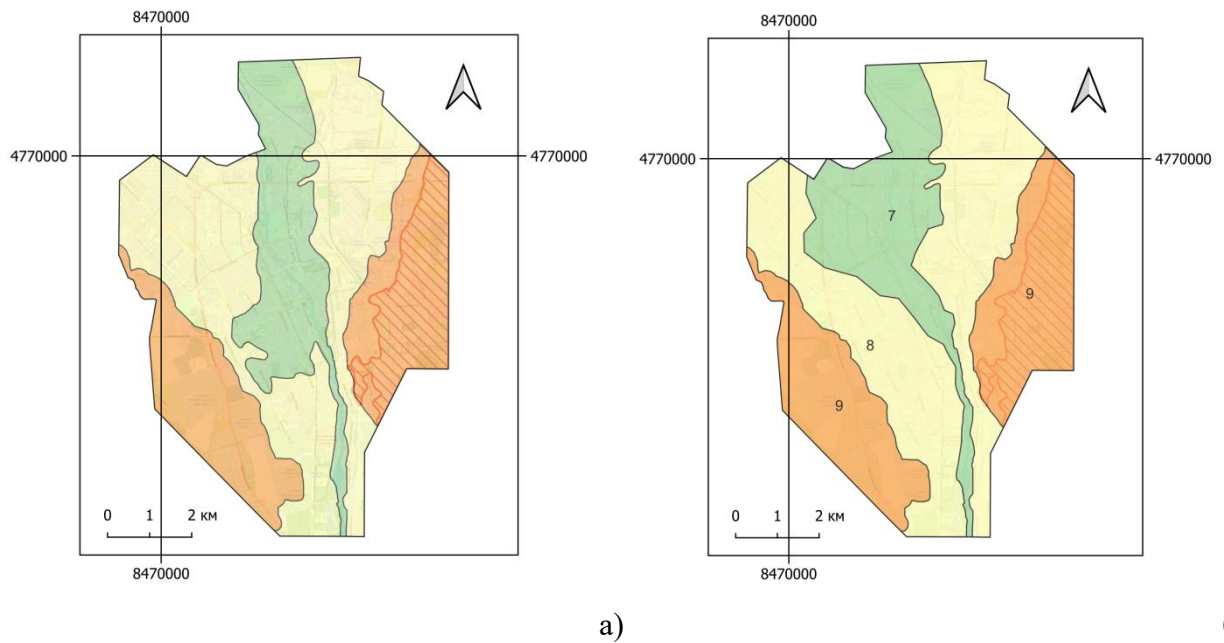


Рисунок 10. Исходная (а) и уточненная (б) карты СМР территории г. Владикавказа



Рисунок 11. Зоны с изменившейся сейсмичностью и их площади

Таким образом, на основе детальных исследований по критерию дисперсии разработана оригинальная методика оценки состояния грунтовой толщи и на ее основе введены поправки в распределение зон по сейсмическим свойствам, подтверждающиеся инструментальными данными (наличие просадочных грунтов) и непосредственно обуславливающие распределение геоэкологической опасности, в свою очередь, формирующей различный геоэкологический риск.

Анализ данных позволил на основе инструментальной меры интенсивности разработать практические Рекомендации по учету геоэкологических процессов или эффектов в задачах сейсмического микрорайонирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В практику геоэкологических исследований введены сейсмические методы инструментальной оценки состояния грунтовых условий. Массовое исследование и анализ, в частности, групповых записей микросейсмических колебаний или микросейсм позволили установить возможность выполнения геоэкологического районирования территории по признакам параметров сейсмических колебаний, являющегося основой обнаружения и прогноза катастрофических природно-техногенных процессов. Способ регистрации слабых землетрясений не позволяет набрать статистически надежный набор данных в сжатые сроки. В этой связи в работах Заалишвили и др., разработан способ дифференциации участков по признаку преобладающей частоты мощных динамических колебаний грунтовой толщи на исследуемой территории. Однако такое районирование предполагает привязку полученных частот к конкретным инженерно-геологическим условиям, для которых имеются данные изысканий.

2. В российском действующем своде правил (СП), как и в зарубежных нормах (Eurocode 8 и др.), принята классификация грунтовых условий по средневзвешенной по мощности грунтовой толщине скорости поперечных волн в верхнем 30-метровом слое (V_{s30}). Однако при этом не учитывается влияние слоистости среды и, в особенности, контрастности слоев, приводящих к увеличению определенных частот колебаний. В связи с различной ориентацией плоскости разлома и разным удалением от моделируемых эпицентров зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ), приходящие сейсмические волны имеют различный спектральный состав и обуславливают значительную вариацию параметров колебаний и результирующей сейсмической интенсивности на поверхности грунтовой толщи. Установлено, что параметром, описывающим данный эффект, является дисперсия, непосредственно характеризующая ширину распределения исследуемой величины или в случае конечной выборки величина среднеквадратического отклонения. Таким образом, дисперсия (квадрат среднеквадратического отклонения) непосредственно является характеристикой геоэкологического состояния территории по инструментальным данным.

3. Установлена закономерность увеличения разброса значений с ухудшением геоэкологического состояния или сейсмической категории грунта, но поскольку данный параметр связан также со слоистостью среды, в пределах одного и того же комплекса инженерно-геологических элементов (ИГЭ) данный параметр будет различаться. В качестве входных данных использована симуляция сценарных землетрясений от различных зон ВОЗ территории на основе конечно-разломной модели (программа FINSIM). Моделирование акселерограмм каждого участка осуществлялось методом многократно отраженных волн (МОВ). В связи с необходимостью оценки максимальных воздействий с определенной вероятностью непревышения, в методологию СМР введен новый параметр «дисперсия разброса значений около среднего».

4. Выполнена системная интеграция блоков регионального моделирования сейсмических воздействий на основе зон ВОЗ и реакции отдельных участков на данные воздействия. При этом моделировались ансамбли акселерограмм с варьированием характеристик разломов, и выполнялась статистическая обработка результатов с представлением пространственных данных, формирующих геоэкологический риск территории, в ГИС-технологиях,.

5. Разработаны методические основы оценки состояния грунтовой толщи по критерию «дисперсии разброса значений около среднего» и на ее основе введены поправки в распределение зон по сейсмическим свойствам, которые рассчитывались в форме доверительных интервалов, подтверждающиеся инструментальными данными (наличие просадочных грунтов) и обуславливающие различный геоэкологический риск.

6. Разработаны практические Рекомендации на основе инструментальной меры интенсивности по учету геоэкологических процессов или эффектов в задачах сейсмического микрорайонирования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ:

В изданиях, включенных в перечень ВАК и Scopus:

- 1 **Фидарова, М.И.** Взаимосвязь величины макросейсмической интенсивности с показателями инструментальных записей Гюбанского землетрясения 2000 г. и Тбилисских землетрясений 2002 г. / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 89–108.
- 2 **Фидарова, М.И.** Влияние нелинейных свойств среды на сейсмический эффект сильных землетрясений / Д.А. Мельков, А.Ф. Габараев, М.И. Фидарова, Т.И. Мерзлякин, З.В. Персаева // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 72–84.
- 3 **Фидарова, М.И.** Инструментальная мера сейсмической интенсивности по данным сети K-NET / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова, К.С. Харебов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, № 2 (52). – С. 331–340.
- 4 **Фидарова, М.И.** Связь величины макросейсмической интенсивности с различными показателями инструментальных записей колебаний грунтовой толщи / М.И. Фидарова, В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 59–75.
- 5 **Фидарова, М.И.** К вопросу пересчета сейсмической интенсивности шкалы Японского метеорологического агентства (JMA) в макросейсмическую шкалу MSK / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова, К.С. Харебов // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 19–35.
- 6 **Фидарова, М.И.** Статистические характеристики расчета приращений сейсмической интенсивности при сейсмическом микрорайонировании / В.Б. Заалишвили, Д.А. Камболов, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т.16, № 1 (59). – С. 345–357.
- 7 **Фидарова, М.И.** Геоэкологические аспекты формирования интенсивности землетрясения на основе изучения инструментальных данных / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова, Г.В. Шманатов // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 45–60.

В изданиях из списка Web of Science и/или Scopus:

- 8 **Fidarova, M.I.** GIS-technologies in geophysical information databases processing / V.B. Zaalishvili, A.S. Kanukov, M.I. Fidarova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" (CATPID-2020). – 2020. – Article 052050.
- 9 **Fidarova, M.I.** Vladikavkaz city seismological network database / V.B. Zaalishvili, D.A. Melkov, A.S. Kanukov, M.I. Fidarova, Z.V. Persaeva // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. Ser. "Advances in Intelligent Systems and Computing". – 2021. – pp. 57–63.

10 **Fidarova, M.I.** GIS simulation of the geological objects soil conditions: strong motion banks and databases / V.B. Zaalishvili, A.S. Kanukov, D.A. Melkov, K.S. Kharebov, M.I. Fidarova // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. Ser. "Advances in Intelligent Systems and Computing". – 2021. – pp. 492–501.

Статьи в других научных изданиях:

11 **Фидарова, М.И.** Сейсмическая обстановка на территории г. Алагир (Республика Северная Осетия-Алания) / Х.О. Чотчаев, А.М. Колесникова, М.И. Фидарова, С.А. Гогмачадзе // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11, № 4 (42). – С. 505–518.

12 **Читишвили, М.И.** Модели сильных движений грунта для вероятностного детального сейсмического районирования территории РСО-Алания. Часть 1 / Ю.К.Чернов, А.Ю. Чернов, М.И. Читишвили // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 95–108.

13 **Читишвили, М.И.** Модели сильных движений грунта для вероятностного детального сейсмического районирования территории РСО-Алания. Часть 2 / Ю.К. Чернов, А.Ю. Чернов, М.И. Читишвили // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 161–178.

14 **Фидарова, М.И.** Создание базы данных записей локальной городской сети сейсмологических наблюдений / М.И. Фидарова, Д.А. Мельков, З.В. Персаева // Материалы IX Международной научно-практической конференции "Молодые ученые в решении актуальных проблем науки", 12–14 декабря 2019 г., г. Владикавказ. – Владикавказ: Веста, 2019. – С. 277–281.

15 **Фидарова (Читишвили), М.И.** К вопросу выбора параметра сейсмического воздействия, характеризующего энергетический потенциал грунтового движения / В.Б. Заалишвили, М.И. Фидарова (Читишвили), Д.А. Мельков, А.С. Кануков // Коллективная монография: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии; под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2019. – С. 267–273.

16 **Фидарова (Читишвили), М.И.** К вопросу установления взаимосвязей протекания явлений на атомно-молекулярном и макроуровне / В.Б. Заалишвили, Т.Т. Магкоев, Г.Э. Туаев, Д.К. Карапетян, И.Г. Архиреева, М.И. Фидарова (Читишвили) // Коллективная монография: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии; под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2019. – С. 384–392.

17 **Chitishvili, M.I.** Mathematical modeling of seismic vibrations of system: tailings dam and soil foundations / I.D.иMuzaev, K.S.иKharebov, N.I. Muzaev, E.N. Kozyrev, V.D. Makiev, A.F. Gabaraev, F.S. Morozov, M.I. Chitishvili // Proceedings of the VIII Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018). Ser. "Advances in Engineering Research". – 2019. – pp. 206–210.

18 **Chitishvili, M.I.** Influence of soils on impact parameters of seismic effect / K.S. Kharebov, V.B. Zaalishvili, T.V. Zaks, A.N. Baskaev, I.G. Arkhireeva, R.R. Gogichev, M.V. Maisuradze, M.I. Chitishvili // Proceedings of the VIII Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018). Ser. "Advances in Engineering Research". – 2019. – pp. 164–168.

19 **Фидарова, М.И.** Сравнение применения регрессионного анализа и нейронных сетей для прогноза сейсмических воздействий в сборнике: современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова // Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа" в 2-ух частях. – Том X. – Грозный: Формат, 2020. – С. 110–115.

20 **Фидарова, М.И.** Сейсмический риск территории современного города / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, А.С. Кануков, И.Г. Архиреева, М.И. Фидарова // Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)". – Москва: ИИЕТ РАН, 2021. – С. 234–237.

21 **Фидарова, М.И.** Корреляция различных характеристик сейсмических записей с макросейсмической интенсивностью / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова, К.С. Харебов // Коллективная монография по материалам VIII Международной конференции "Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии"; научный редактор В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2022. – С. 33–43.

22 **Фидарова, М.И.** Нелинейные эффекты в геологических объектах по данным математического моделирования / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, А.Ф. Габараев, Т.И. Мерзликин, М.И. Фидарова // Коллективная монография по материалам VIII Международной конференции "Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии"; научный редактор В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2022. – С. 329–336.

23 **Фидарова, М.И.** Анализ параметров для разработки инструментальной меры сейсмической интенсивности / В.Б. Заалишвили, Д.А. Мельков, М.И. Фидарова, К.С. Харебов // Коллективная монография по материалам XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2022)". – Том XIII. – Москва: ИИЕТ РАН, 2022. – С. 255–260.