На правах рукописи

And

Андреева Надежда Вячеславовна

## СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО И ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗОН РАЗЛОМОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА)

Специальность 25.00.03 Геотектоника и геодинамика

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в лаборатории сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Научный руководитель:	Овсюченко Александр Николаевич,
	кандидат геолого-минералогических наук, зав.
	лабораторией сейсмотектоники и сейсмического
	микрорайонирования, ФГБУН Институт физики
	Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.
Официальные оппоненты:	Трифонов Владимир Георгиевич – доктор геолого-
	минералогических наук, профессор, главный
	научный сотрудник лаборатории неотектоники и
	современной геодинамики, ФГБУН Геологический
	институт Российской академии наук, г. Москва;
	Саньков Владимир Анатольевич – кандидат
	геолого-минералогических наук, зав. лабораторией
	современной геодинамики, ФГБУН Институт земной
	коры СО РАН, г. Иркутск.
Ведущая организация:	Геологический факультет ФГБОУ ВО
	Московский государственный университет
	имени М.В. Ломоносова.

Защита состоится **12 мая 2022 г.** в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 002.001.01 при Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук по адресу: г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте www.ifz.ru. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru и на сайте института <u>www.ifz.ru</u>.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в 2-х экземплярах просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» марта 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат геолого-минералогических наук

auz

В. А. Камзолкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы определяется значимостью изучения активных разломов как сейсмогенерирующих структур, прямо влияющих на степень сейсмической опасности территорий. Оценка сейсмической опасности включает в себя, прежде всего, выявление закономерностей распространения активных разломов и разломных зон на земной поверхности, а также положения их плоскостей в разных по глубине слоях земной коры. Автор использовал комплексный подход, заключающийся в комбинировании геолого-геоморфологических данных с данными геофизических исследований. Такой подход позволил выявить сходство и различия положения активных разломных зон в трехмерном пространстве в разных геодинамических обстановках.

Цель диссертационного исследования – изучение, на основе геологогеоморфологических и геофизических данных, особенностей строения и проявления активных разломов на поверхности и в недрах в трёх различных геодинамических обстановках:

1) сейсмоактивного коллизионного Альпийско-Гималайского подвижного пояса;

2) сейсмоактивной окраины Восточно-Европейской платформы;

3) сейсмически пассивных внутренних районов древней Восточно-Европейской платформы.

### Задачами исследования являлись:

1) Описание существующих геолого-геоморфологических и геофизических методов изучения разломов, анализ их возможностей, выбор методов выявления закономерностей распространения активных разломов от поверхности вглубь земной коры.

2) Исследование, выбранными методами:

•Прегольской и Янтарнинской активных разломных зон в юго-восточном обрамлении впадины Балтийского моря (Калининградская область);

■активных разломов Кавказского и Таманского сегментов Альпийско-Гималайского подвижного пояса;

•асейсмичных разломов Московского авлакогена;

•сопоставление результатов исследования глубинных разломов в разных геологотектонических и геодинамических обстановках

Научная новизна работы заключается получении данных о строении активных разломных зон комбинированием геолого-геоморфологического и геофизического (микросейсмического зондирования) методов в разных геодинамических обстановках: подвижного пояса, активизированной окраины древней платформы и стабильных внутренних районов древней платформы. Исследования позволили провести типизацию разломов по их кинематике и морфологической выраженности.

**Практическая значимость исследования** заключается в получении новых данных о параметрах распространения активных разломов ниже поверхности земной коры. Полученные данные, таким образом, могут быть использованы для определения кинематики активных разломов, от чего существенно зависит оценка сейсмической опасности территорий (в том числе, заселенных).

## Методы исследования.

Для достижения целей работы и решения сформулированных задач применен геолого-геоморфологический анализ в совокупности с методом микросейсмического зондирования (ММЗ).

Структурно-геоморфологический анализ подразумевает картирование уровней современного и дочетвертичного рельефа различного генезиса. Для Кавказского структурно-геоморфологические сегмента исследования включали в себя прослеживание опорных геоморфологических поверхностей выравнивания, маркирующих собой характер молодых тектонических деформаций. Структурногеоморфологические исследования сопровождались составлением геологических профилей и обобщением данных об орогенном вулканизме и интрузивном магматизме.

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) – это метод пассивной сейсморазведки, разработанный и запатентованный в Институте физики Земли РАН [Горбатиков и др., 2008, Горбатиков, Цуканов, 2011]. На полученных разрезах ММЗ зоны деформаций выглядят, как правило, в виде областей относительно пониженных скоростей. Точная пространственная привязка позволяет связать зоны разломов, выделяемых на поверхности, с областями пониженных скоростей на глубине.

Таким образом, исследования включили в себя: анализ глубинного строения, новейшей тектоники регионов, дешифрирование материалов дистанционного зондирования, структурно-геоморфологическое картирование, интерпретацию и анализ профилей микросейсмического зондирования.

## Научные положения, выносимые на защиту:

На примере Большого Кавказа показано существование отчетливой 1. пространственной связи между геологическими структурами, выделяемыми на поверхности, и глубинным строением по данным метода микросейсмического зондирования (ММЗ). Под наиболее приподнятой частью Большого Кавказа выделено массивное относительно низкоскоростное тело. На поверхности данному телу соответствует относительно высокоскоростной выступ блоков палеозойского фундамента. Выход низкоскоростного тела приурочен к Южному склону Большого Кавказа с максимальными складчато-разравными деформациями осадочного чехла. Выступ палеозойского фундамента Большого Кавказа ограничен разломными зонами, низкоскоростными аномалиями MM3, представленными узкими ПО данным проникающими до глубин 20-30 км.

2. Выявлены формы проявления активных разломов в глубинном строении по данным ММЗ. Разломы, тектоническая активность которых определяется на

поверхности геолого-геоморфологическими методами, по данным микросейсмического зондирования в недрах представлены субвертикальными или наклонными низкоскоростными зонами шириной от 2 до 5 км, узкими зонами смещений горизонтальных слоев скоростного разреза и контактами двух разнопрочных объемов земной коры.

3. На примере эффектов Охотоморского глубокофокусного землетрясения 24 мая 2013 г. в Московском регионе показано, что удаленные сильные землетрясения могут приводить к усилению макросейсмического эффекта в зонах разломов платформенных областей. Такие разломы по данным ММЗ представлены узкими вертикальными неоднородностями с пониженными значениями скоростей поперечных сейсмических волн и по своему строению схожи с разломами в других регионах.

## Личный вклад автора.

На основе данных, полученных в полевых экспедициях с непосредственным участием автора, а также дистанционных исследований, направленных на изучение глубинного и поверхностного строения зон разломов и их связи с сейсмическими событиями, где автор занимался геоморфологическим анализом рельефа и составлял детальное описание исследованных областей, автором построены геологические Проведена обработка полученных данных, профили и схемы. интерпретация геофизических профилей микросейсмического зондирования И сопоставление полученных результатов в различных областях исследования. Для определения характера молодых деформаций в Кавказском сегменте прослежены опорные геоморфологические уровни. Для Московского региона автором собраны и обработаны данные об усилении макросейсмического эффекта после землетрясения 24.05.2013 г.

## Апробация.

Результаты проведенных исследований были представлены на Всероссийском совещании, посвященного памяти профессора С. И. Шермана «Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ» (2021), на научно-практической конференции «Сейсмические технологии – 2017», на Международной научно-практической конференции «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований» (2017), на конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе» (2014), на XLVI тектоническом совещании «Тектоника складчатых поясов евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения» (2014), на «Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН» (2013 г, 2014 г, 2015 г, 2017 г, 2018 г). По теме диссертации опубликовано 11 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

## Структура и объём работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, изложенных на 132 страницах, содержит 51 рисунок и 2 таблицы. В первой главе описывается развитие представлений о разломах

5

земной коры и методов их исследования, во второй - методы исследования. В главах №№ 3-5 приводятся данные и результаты изучения строения зон разломов на поверхности и в недрах в трех существенно различных геодинамических обстановках: 1) сейсмоактивного коллизионного Альпийско-Гималайского подвижного пояса; 2) сейсмоактивной окраины древней Восточно-Европейской платформы; 3) сейсмически пассивных внутренних районов древней Восточно-Европейской платформы.

Список литературы содержит 231 наименований научных работ.

## Благодарности.

Особую глубокую благодарность автор выражает своему научному руководителю Рогожину, Д.Г.-М.Н. Евгению Александровичу который являлся не просто руководителем, но и чутким наставником, оказывавшим всевозможную поддержку и помощь в организации исследований и написании диссертации. Искреннюю благодарность автор выражает своему научному руководителю к.г.-м.н. Александру Николаевичу Овсюченко за ценные рекомендации на всех этапах написания работы и за руководство и поддержку на последних этапах. Автор глубоко признателен к. ф.-м. н. Андрею Вениаминовичу Горбатикову за участие и поддержку, а также ценные советы и курирование работы по части геофизических методов. Автор выражает благодарность своим учителям и коллегам, сотрудникам ИФЗ РАН, к. г.-м. н. Л.И. Иогансон, к. г.-м.н. А.С. Ларькову, к.ф.-м. н. М.Ю. Степановой за помощь на различных этапах работы. Автор благодарит коллектив лабораторий Сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования и Методов прогноза землетрясений ИФЗ РАН за плодотворные обсуждения, ценные рекомендации и поддержку; а также своих родных и близких, мотивировавших и вдохновлявших при написании работы.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения, показан личный вклад автора.

## Глава 1. Развитие представлений о разломах земной коры. Развитие методов исследований.

В данной главе говорится о том, как развивалось учение о разломах, интерес к которым появился у ученых наряду с развитием горнодобывающей промышленности, и возрастал в связи с оценкой опасности сейсмических и тектонических явлений, где они играют важную роль. Описаны первые попытки классификации разломов вначале по морфологическим, а затем и по генетическим признакам. Отмечены труды многих великих ученых, которыми были предложены различные классификации и модели разломов. Описаны понятия «глубинный» и «активный» разлом и комплексы методов, которыми изучаются разломы в наши дни.

### Глава 2. Методы исследования

Особенность работы состоит в применении к изучению активных разломов и разломных зон, особенно, с точки зрения их распространения на глубину, метода пассивной сейсморазведки - метода микросейсмического зондирования – наряду с известными геолого- геоморфологическими методами. Такое сочетание методов было выбрано не случайно. В ходе полевых исследований автор имел возможность многократно проанализировать высокую степень корреляции результатов между геологическими данными и данными MM3. Интерпретация результатов производится в единой пространственной шкале, практически с точностью до 300 метров и меньше. Интерпретация результатов в пространственной привязке «поверхность - глубинный разрез» дает существенное преимущество.

Структурно-геоморфологический анализ земной поверхности подразумевает картирование разного рода (генезиса и возраста) уровней рельефа и их деформаций. Такими уровнями, например, могут быть террасы (речные, морские, озерные, их тыловые швы) и связанные с ними отложения, педименты, вершинные поверхности, а также фрагменты предорогенных поверхностей. Одним из инструментов, примененных при картировании, было дешифрирование ДДЗ (данных дистанционного зондирования). Важное значение имело сопоставление деформаций форм рельефа разного возраста и генезиса со строением (восстанавливаемым геологическими и геофизическим методами) расположенных ниже горизонтов земной коры. Такое картирование, в итоге, приводит к моделям деформаций земной поверхности и подстилающих ее горизонтов, которые можно сопоставлять с параметрами земной коры, восстанавливаемыми геофизическими методами.

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) – это метод пассивной сейсморазведки, разработанный и запатентованный в Институте физики Земли РАН [Горбатиков и др., 2008, Горбатиков, Цуканов, 2011]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного взаимодействии со поля при скоростными неоднородностями земной коры. Распределения амплитудной реакции неоднородностей на облучение микросейсмическими волнами позволяют выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. На полученных разрезах отрицательные значения вариаций амплитуд соответствуют уменьшению скоростей поперечных сейсмических волн по сравнению со средней скоростной моделью региона, и наоборот. Уменьшения скоростей сейсмических волн связываются, в первую очередь, с пониженной прочностью и тектонической нарушенностью среды и, во вторую очередь, с изменением состава пород. О тектонических смещениях также свидетельствуют резкие изменения гипсометрии скоростных границ в верхней части слоистого осадочного чехла. Наиболее полную формулировку ММЗ с обсуждением его свойств можно найти в работе [Кугаенко и др., 2018]. При интерпретации разрезов по ММЗ необходимо помнить, что метод является относительным, поэтому структуры в результирующих разрезах выделяются на фоне среднего для каждой глубины значения скоростей сейсмических волн, а средние значения скоростей связаны со сглаженной региональной скоростной дисперсионной моделью.

На ряду с описанием выбранных автором методов исследования в главе приводится проверка работоспособности метода микросейсмического зондирования, анализируется вопрос о том, насколько он подходит для решения целей и задач, поставленных в работе.

## Глава 3. Исследование активных разломов Кавказского и Таманского сегментов альпийско-гималайского подвижного пояса комплексом сейсмотектонических и геофизических методов

В данной главе приведены результаты исследования активных разломов в условиях сейсмоактивного Альпийско-Гималайского подвижного пояса в Кавказском и Таманском его сегментах.

Исследования были сосредоточены в 3 областях: в центральной части Большого Кавказа (профиль по Военно-Осетинской дороге), на западной окраине Кавказа (профиль Туапсе-Апшеронск) и в западной зоне замыкания складчатой зоны Большого Кавказа.

Осетинский профиль пересёк центральную зону Большого Кавказа от Предкавказского прогиба до границы с системой Закавказских межгорных впадин в области максимального сужения всех тектонических зон – вдоль Транскавказской магистрали. Вдоль профиля были проведены геолого-геоморфологические исследования, на основе которых был составлен структурно-геологический разрез с привлечением данных Е.А Рогожина в южной части профиля [Рогожин, Богачкин, 1993] (рисунок 1 а). Для анализа активности разломов вдоль профиля были прослежены деформации позднеплиоцен-эоплейстоценового уровня с привлечением результатов изучения голоценовых смещений по разломам [Белуженко, 2011; Белуженко, Письменная, 2016]. С точной пространственной привязкой к точкам геологогеоморфологических наблюдений на местности были произведены геофизические измерения. Весь геофизический профиль состоял из 202 точек измерений с шагом между точками 500 метров. На профиле отчетливо улавливаются все разломные зоны, установленные по геолого-геоморфологическим исследованиям (рисунок 1б). Так, например, отчетливо видны две ветви Владикавказского разлома, выраженные на поверхности смещениями молодых террасовых уровней: северная ветвь представлена хорошо оформленной контрастной зоной с субвертикальным падением, а южная имеет вид листрического надвига.

Самой яркой особенностью микросейсмического разреза является наличие под осевой частью Большого Кавказа обширного, относительно низкоскоростного тела (падение скорости по отношению к средней скоростной модели оценивается до ~5 дБ относительно региональной скоростной модели (РСМ)), прослеживающегося на глубинах в диапазоне от 9-10 до 45-50 км [Рогожин и др., 2015] (рисунок 1б). Данное тело в разрезе имеет клинообразную форму и выдержанную пологую кровлю на глубине ~10 км. Наличие такого тела может быть сопоставлено с относительно легким объемом и свидетельствовать в пользу представлений об основной особенности подвижных поясов, вовлеченных в горообразование, заключающейся в непременном наличии в растущем объеме земной коры относительно легких (разуплотненных) горных пород [Трифонов, 1999]. В терминологии В.В. Белоусова [Белоусов, 1989] это тело можно интерпретировать как следствие глубинного диапиризма.

Следует отметить, и то, что на разрезе ММЗ в гипоцентре Рачинского землетрясения читается горизонтальный срыв по границе фундамента в виде низкоскоростной ступени, что согласуются с другими независимыми сейсмологическими исследованиям региона.

При сопоставлении разреза с распределением гипоцентров землетрясений была выявлена латеральная приуроченность сейсмичности к высокоскоростной зоне на южном склоне Кавказа.



Рисунок 1 – Геологический (а) (построен с использованием [Рогожин, Богачкин, 1993]) и геофизический (б) разрезы по профилю Ардон-Цхинвал (Рогожин, ..., Андреева, и др., 2015). Красным пунктиром в верхней части обозначены смещения позднеплиоцен-эоплейстоценового уровня. Тектонические зоны: ОС – Окрибо-Сачхерская, РЛ – Рача-Лечхумская, ЧФ – Чиаурский флишевый синклинорий, ГХ – Главный хребет, БХ – Боковй хребет, СХ – Скалистый хребет, ПХ – Пастбищный хребет, ТП – Терский прогиб. Разломы: К-Л – Кахетино-Лечхумский, Г-Л – Гебско-Лагодехский, ГК(Т) – Главный Кавказский (Тибский), А-К – Адайком-Казбекский, П – Пуйский, Вл – Владикавказский. Красный пунктир в верхней части рисунка позднеплиоцен-эоплейстоценовый уровень

Профиль Туапсе-Апшеронск располагался приблизительно между городами Туапсе и Апшеронск. Как и в предыдущем случае, по линии профиля был составлен структурно-геологический разрез (рисунок 2a) и геофизический профиль микросейсмического зондирования (рисунок 2б), а также прослежены опорные геоморфологические уровни (поверхности выравнивания), по которым можно проследить характер молодых тектонических деформаций.

Общий анализ полученных данных показал, что глубинное строение Туапсинского сектора отличается от центрального сектора мегантиклинория. Если в осевой части Большого Кавказа наблюдается обширный низкоскоростной объем, то в

10

близкой тектонической позиции Туапсинского сектора контрастность и размеры такого объема значительно меньше. Граница между Большим Кавказом и Предкавказским прогибом на обоих профилях представлена узкими низкоскоростными вертикальными телами, проникающими в недра на всю мощность земной коры. Эти низкоскоростные неоднородности подстилают выходящие на поверхность зоны крупнейших разломов – Владикавказского на востоке и Ахтырского на западе.



Рисунок 2 – Геологический профиль (а) (составлен с использованиемданных Е.А. Рогожина и геологической карты [Маринин, Расцветаев, 2008]) и разрез ММЗ (б) по профилю Туапсе-Апшеронск [Рогожин, ... Андреева и др., 2015 с изменениями]

1 – позднеплиоцен-эоплейстовый геоморфологический уровень; 2 – основные разломы по геологическим данным и их предполагаемое положение в недрах на профиле ММЗ.

Разломы: Ю-М – Южно-Михайловский; М-Ш – Мессажайско-Шепсинская система разломов; Бк – Бекишейский; Г – Гогопсинский; Ш – Шаумяновский; Т – Тугупсинский; Н – Навагинский; А – Ахтырская система разломов, Пш – Пшехско-Адлерский.

Западная зона замыкания складчатой зоны Большого Кавказа была изучена в двух вкрест структуры (профиль Шуго) и по направлениях – направлению её периклинального замыкания (профиль Гостагаевский). Для детального изучения структуры также составлялись структурно-геологические разрезы и прослеживались поверхности выравнивания. Bce ЭТИ данные сопоставлялись С профилями микросейсмического зондирования, показавшее хорошую взаимосвязь поверхностного и глубинного строения.

Так, на профиле, пересекающем зону западного замыкания Кавказа вкрест структуры, Марфовский и Су-Псехский разломы, отчетливо выделяющиеся по морфологическим признакам на поверхности, представлены крупными вертикально вытянутыми низкоскоростными зонами, начинающимися от глубины 8-10 км. Между этими разломами на профиле MM3 отчетливо прослеживается Суккинский грабен. Кроме того, на профиле Шуго выделяется зона низкоскоростных неоднородностей, которую можно сопоставить с низкоскоростным телом под осевой частью Большого Кавказа на профиле по Военно-Осетинской дороге, но, как и в позиции Туапсинского сектора, размеры и контрастность данного объема здесь значительно меньше. Граница этого тела, как и в предыдущих профилях, представлена узкими низкоскоростными вертикальными телами, проникающими в недра на всю мощность земной коры соответствующими крупным разломным зонам.

Важно также отметить, что на активный сегмент Семигорского разлома, отчетливо выделяемого на профиле, попадает положение очага землетрясения 2018 года, которое, располагаясь на глубине 10 км, совпадает с границей фундамента. Именно рядом с этой областью расположена локальная высокоскоростная неоднородность. Можно выдвинуть предположение о приуроченности данного события к зоне Семигорского разлома на границе между максимально высокими и низкими скоростями.

На профиле Гостагаевский, расположенном по направлению периклинального замыкания западного окончания Кавказа, отчетливо читается погружение западного крыла, совпадающее с местом понижения в рельефе. Под восточной частью профиля с вступлением Кавказских гор появляется и относительно низкоскоростное тело, похожее на подобные низкоскоростные области под осевой частью Кавказа на других профилях.

#### Выводы к главе 3

1. Под осевой частью Большого Кавказа на микросейсмических разрезах отчетливо видно наличие обширного, относительно низкоскоростного тела (падение скорости по отношению к средней скоростной модели оценивается до ~5 дБ относительно региональной скоростной модели (РСМ)), прослеживающегося на глубинах в диапазоне от 9-10 до 45-50 км. Это тело наблюдается во всех изученных частях Кавказа – в центральной и западной зоне, а также в западной зоне замыкания Большого Кавказа. Наиболее ярко это низкоскоростное тело выражено в центральной части Большого Кавказа, в то время как размеры и контрастность данного объема в

Туапсинском секторе и в Западной зоне замыкания Кавказа значительно меньше. Граница этого тела, на всех геофизических профилях представлена узкими низкоскоростными вертикальными телами, проникающими в недра на всю мощность земной коры и соответствующими крупным разломным зонам.

2. Зоны разломов на профилях ММЗ выражены по-разному. Можно выделить различные типы:

• Разломы, представленные крупными относительно низкоскоростными (-3...-6 дБ), вертикальными зонами (до 7 км в ширину), проходящими от поверхности в глубь фундамента до больших глубин (30-40 км).

• Разломы, представленные крупными относительно низкоскоростными (-3...-6 дБ), вертикальными зонами (до 7 км в ширину), начинающимися не от поверхности, а от глубин 5-10 км, но при этом имеют четкую пространственную корреляцию с зонами разломов, выраженных на поверхности по геолого-геоморфологическим признакам.

• Разломы, не имеющие под собой больших корней, читающиеся на геофизических профилях ММЗ по смещению слоёв и структур.

• Разломы, идущие от поверхности вертикально, но выхолаживающиеся с глубиной.

3. На поверхности зоны низкоскоростных неоднородностей имеют точное пространственное соответствие разрывам в молодых отложениях, выраженных смещениями молодых террасовых уровней и слагающих их осадков.

4. Очаги землетрясений приурочены к зонам разломов и на профилях ММЗ расположены в областях контактов двух разнопрочных объемов, с максимально высокими и максимально низкими скоростями.

## Глава 4. Геолого-геофизическое строение и сейсмическая активность Польско-Литовской синеклизы: пример зон глубинных разломов на окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП)

Землетрясения, произошедшие 21 сентября 2004 г., в районе г. Калининград, с интенсивностью сотрясений 6 и 6-7 баллов по шкале MSK-64 и магнитудой Mw=4.6 и 4.8 соответственно [Никонов и др., 2005; Габсатарова и др., 2010], показали, что уровень сейсмической опасности региона был недооценен. Ранее Калининградский регион считался сейсмически безопасным, а его сейсмичность согласно карте Общего сейсмического районирования России (ОСР-97) оценивалась в 5 баллов [Уломов, Шумилина, 1999]. При этом точное положение очагов Калининградских землетрясений 2004 г. осталось неясным – из-за редкой сети сейсмических станций в регионе разброс в определении эпицентров очень велик.

Таким образом в данной работе при геолого-геофизическом исследовании района основное внимание было уделено очагу Калининградских землетрясений 2004 г., как типовой сейсмогенерирующей зоне, и активным геологическим структурам: Бакалинской флексурно-разрывной и Прегольской разломной зонам. На рисунке 3

представлены точки наиболее детальных геоморфологических исследований и расположение профилей микросейсмического зондирования.



Рисунок 3 – Положение мест детальных полевых исследований на схеме тектонического строения района г. Калининград (Рогожин, ...Андреева и др., 2014а). Составлена с использованием материалов: [Загородных и др., 2002]. Условные обозначения: 1-разломы, установленные на поверхности; 2-разломы установленные в каледонском и герцинском структурных ярусах по данным сейсморазведки и бурения; 3-флексурно-разрывные зоны нарушающие отложения альпийского этажа (бергштрихи направлены в сторону опущенного крыла); 4-оси локальных поднятий (брахиантиклиналей) установленных в каледонском и герцинском структурных этажах; 5-изогипсы кровли ордовика,км. Названия разломных и флексурно-разрывных зон (номера в кружках): 1-Прегольская разломная зона; 2-Янтарненская разломная зона; 3-Бакалинская

Прегольская разломная зона; 2-Янтарненская разломная зона; 3-Бакалинская флексурно-разрывная зона; 4-Пионерский разлом; 5-Светлогорско-Полесская разломная зона; 6-Зеленоградский разлом; 7-Мельниковская флексурно-разрывная зона; 8-Гурьевский разлом; 9-Нивенский разлом; 10-Знаменская разломная зона. Красные кружки – точки наблюдения. Желтые ромбы – точки микросейсмического зондирования

В зонах Бакалинской флексурно-разрывной и Янтарненской разломной структур, отмечается линейное валообразное поднятие и развитие вытянутых вдоль этих зон, или эшелонированных систем пологих холмов. Янтарненская разломная зона выражена в рельефе пологим денудационно-тектоническим уступом высотой до 20 м. [Рогожин и др.

2010]. К северо-западу от долины р. Нельма зона Янтарненского разлома разделяется на две параллельные ветви. Яркое проявление в рельефе говорит о современной активности нарушения.

Бакалинская флексурно-разрывная зона имеет северо-западную ориентировку. В рельефе эта структура сопровождается цепочками вытянутых, пологих холмов.

По данным сейсморазведочных работ на простирании этой флексурно-разрывной зоны установлены разломы, нарушающие как фундамент, так и платформенный чехол [Загородных и др., 2002]. Разломная зона сопровождается непротяженными разрывами, обрезающими антиклинальную складку, выраженную как в поверхности каледонского и герцинского структурных ярусов [Рогожин и др., 2014], так и в рельефе подошвы четвертичных отложений.

Прегольская разломная зона представляет собой систему сближенных разрывных нарушений преимущественно субширотной ориентировки, выявленных контролирующих сейсморазведкой И крупную положительную структуру Калининградский мегавал [Загородных и др., 2002], который является наиболее крупной структурой рассматриваемого региона. В киммерийско-альпийском структурном ярусе чехла зона представляет собой относительно узкий (5-10 км) субширотный вал с отдельными локальными брахиантиклинальными поднятиями, выраженными В современном рельефе.

Отдельные разрывные нарушения Прегольской зоны разломов характеризуются вертикальным смещением с амплитудами от несколько десятков до сотен метров, и по типу смещения соответствуют сбросам, реже взбросам с существенной горизонтальной компонентой.

В рельефе, вдоль Калининградского мегавала прослеживается крупное пологое валообразное поднятие, которое имеет асимметричное строение и служит резкой границей между областями распространения различных генетических типов рельефа.

Отчетливое выражение выявленных локальных антиклиналей и флексур в современном рельефе и деформациях речных террас, общее яркое проявление линейного поднятия, развитого над Прегольской разломной зоной на протяжении голоцена, позволяют считать эту, и оперяющие её структуры активными и в настоящее время.

Вкрест простирания активных геологических структур было пройдено два профиля MM3 (рисунок 3) и по ним получены глубинные разрезы (рисунок 4). Красные тона на данных разрезах соответствуют областям с минимальными относительными скоростями поперечных сейсмических волн в пределах изучаемой площади, а синие – областям с максимальными значениями скоростей. Как правило области понижения сейсмических скоростей образованы за счет тектонической нарушенности, флюидонасыщенности и дилатансии.

Западный профиль (К08 - К43) был пройден в районе Калининградских землетрясений 2004 г. Его положение было выбрано исходя из геологической обстановки, в районе наиболее вероятного положения очага по инструментальным



данным. Этот профиль пересёк Бакалинскую флексурно-разрывную зону в районе 22-23 точек и две ветви Янтарненской разломной зоны в районе 32 и 35 точек.

Рисунок 4 – Разрезы ММЗ с индивидуальной нормировкой для двух профилей (Рогожин, ...Андреева и др., 2014а) с наложенными геологическими профилями.

Восточный профиль (КЕ01 - КЕ18) пройден на окраине области ощутимых сейсмических сотрясений в 2004 г. Он пересекает две ветви Прегольской разломной зоны в районе 4-5 и 14 точек (рисунок 3). На глубине 8-9 км под зонами разломов прослеживаются низкоскоростные неоднородности, так называемые глубинные корни, которые прослеживаются до глубин 20-22 км. В верхней же части профиля можно отметить, что разломные зоны как бы оконтуривают собой небольшую по глубине низкоскоростную зону.

На полученных разрезах ММЗ видно, что скоростные неоднородности в верхней части земной коры проявляются до глубины в 1 км, а ниже имеют бесструктурный вид

до глубины 7-8 км, после чего вновь проявляются как ярко выраженные неоднородности. Такая картина отражает резкое несоответствие между строением земной коры на разных уровнях. Основные вертикальные неоднородности скоростей поперечных сейсмических волн соответствуют Прегольской разломной зоне и оперяющим её разломным нарушениям – Янтарненскому и Бакалинскому. При этом на геологических профилях также отмечаются разломы на больших глубинах (от 12 км и ниже), в то время как в верхней части профиля наблюдается моноклинальное залегание слоёв На западном профиле положение этих разломов четко совпадает с выделяемыми на поверхности Янтарненскому и Бакалинскому мариениям и зонам пониженных скоростей, выделяемым на профилях ММЗ.

На разрезе по западному профилю видно, что в верхней части, на глубине 7-11 км, находится компактная низкоскоростная область нарушений. Ниже по глубине, в средней части земной коры, расположены две субвертикальные зоны пониженных скоростей, ассоциирующиеся с Янтарненском и Бакалинском разломами. Зона Янтарненского разлома прослеживается до глубины 20 км и имеет ширину 2 км. Бакалинская разломная зона прослеживается до глубины 26 км и имеет кажущуюся ширину 3 км. Верхняя локальная неоднородность пространственно располагается между вышеописанными зонами. Ее глубина разломными совпадает с оценочной глубиной очага Калининградского землетрясения. В региональном отношении она совпадает с подошвой верхней части земной коры, выделяемой по данным ГСЗ [Pharaon et al, 2006]. По-видимому, неоднородность отражает эта компактная положение очага Калининградских землетрясений в недрах, либо расположена в непосредственной близости от него.

Низкоскоростная зона, выделяемая в средней части западного профиля, приурочена к тектоническому узлу, в котором сочленяются Янтарненское, Бакалинское тектонические нарушения северо-западного простирания и Пионерское северовосточного. На разрезе по восточному профилю подобной компактной низкоскоростной зоны не наблюдается. Тем не менее на глубине от 10 до 23 км можно заметить вытянутую, субвертикальную низкоскоростную зону с кажущейся шириной 2 км и соответствующую одному из разломов Прегольской зоны, пересекаемому профилем. А локальное поднятие, связанное с Прегольской разломной зоной, на профиле MM3 выражено зоной пониженных скоростей на глубине до 1 км.

## Выводы к главе 4:

1. Выявлена отчетливая корреляция поверхностных признаков тектонической активности с глубинным строение по ММЗ:

- В средней части западного профиля, на глубине 7-11 км наблюдается компактная низкоскоростная зона, которая представляет собой очаг землетрясений 2004 г., расположенный на северо-западе Самбийского полуострова. В осадочном чехле эта неоднородность соответствует тектоническому узлу, в котором сочленяются Янтарненское, Бакалинское и Пионерское тектонические нарушения.

- На разрезе по восточному профилю на глубине от 10 до 23 м. выделяется вытянутая, субвертикальная низкоскоростная зона, соответствующая одному из разломов Прегольской зоны, пересекаемому профилем. Кроме того, локальное поднятие, связанное с Прегольской разломной зоной, на профиле MM3 выражено зоной пониженных скоростей на глубине до 1 км. Таким образом результаты по MM3 получают прямое подтверждение.

2. Метод Микросейсмического Зондирования позволил выявить объем в земной коре, ассоциируемый с очагом землетрясений 2004 г.

3. Ассоциирующийся с гипоцентром Янтарненский и Бакалинский разломы имеют субвертикальную структуру, прослеживающуюся до глубин 20 и 26 км соответственно и имеют кажущуюся ширину 2 и 3 км.

# Глава 5. Исследование асейсмичных разломов Московского региона комплексом сейсмотектонических и геофизических методов

24 мая 2013 года в акватории Охотского моря произошло сильное землетрясение с магнитудой Ms = 8.2. Это событие характеризовалось необыкновенно обширной областью ощущаемости, в том числе и на территории Москвы, и показало, что сейсмический эффект на территории города может исходить не только от землетрясений из зоны Вранча, как считалось ранее, но и от других глубокофокусных событий.

Как только сейсмическая волна достигла города, жители разных округов начали сообщать в ГУ МЧС по Москве о необычных ощущениях. В тот же день сотрудники Института физики Земли РАН приступили к сбору информации о наблюдениях во время сотрясений в Москве, произошедших 24 мая 2013 г. Таким образом, было получено и обработано более сотни сообщений от жителей города, которые включали в себя адрес в Москве, тип строения, этаж, где ощущались колебания, а также характер воздействия.

Все полученные материалы были занесены в базу данных и вынесены на схематическую карту тектонических нарушений, выявленных ПО геологогеоморфологическим и геофизическим исследованиям, проводимых в различные годы на территории города [Кузьменко, 1994, Лоджевский и др., 1997; Померанцева, Солодилов, 1994; Костюченко, Солодилов, 1997; Рогожин и др., 2012а]. На основе всех полученных данных была составлена карта макросейсмических проявлений землетрясения (рисунок 5), при анализе которой видно, что распределение пунктов ощущаемости неравномерное.



Рисунок 5 – Пункты явных сейсмических проявлений Охотоморского землетрясения (большие красные кружки) и расположение профиля ММЗ (маленькие красные кружки) на схематической карте тектонических нарушений территории г. Москвы (по: [Рогожин и др., 2012а]) 1 — разломы в чехле и фундаменте по геофизическим данным ГЕОН; 2 — разломы в осадочном чехле (по геофизическим данным И.В. Померанцевой [Померанцева, Солодилов, 1994]); 3 — космофотолинеаменты; 4 — активные разрывные нарушения (зоны трещиноватости в чехле); 5 — морфоструктурные линии; 6 — границы Московского мегаполиса; 7 — номера тектонических разломов. Разломы, упомянутые в тексте статьи: I — Павлово-Посадский (а — северная ветвь, b — средняя ветвь, с — южная ветвь); II — Бутовский (Раменский); III — Москворецкий; IV — Солнцевский; V — Останкинско-Хорошевский

При сопоставлении пунктов ощущаемости Охотоморского землетрясения на территории Москвы с зонами тектонических нарушений на поверхности видно, что наибольшая концентрация таких пунктов отмечается в центре города, в пределах

Садового кольца, и именно здесь располагается Краснопресненский тектонический узел. Большое количество зданий, откуда поступили сведения о сотрясениях расположено в пределах зон Павлово-Посадского и Москворецкого разломов. Так же повышенная концентрация пунктов ощущаемости наблюдается в зонах Останкинско-Хорошевского и Сокольнического разломов. Тем не менее, значительное количество пунктов размещается и в пределах тектонических блоков, на удалении от разломных зон. Визуально оценить насколько значим тектонический контроль в распределении макросейсмического эффекта затруднительно. Поэтому был проведён подсчет площади, которую на территории города занимают разломные зоны и блоки, а также количество пунктов ощущаемости, отмечающихся в пределах этих структур.

По результатам произведенного подсчета выяснилось, что зоны разломов, хотя и занимают меньшую площадь (528 км<sup>2</sup>), контролируют большее количество пунктов ощущаемости (64), а блоковые структуры, имеющие в целом большую суммарную площадь (642 км<sup>2</sup>), характеризуются почти вдвое меньшим количеством таких пунктов Таким образом, (36) (рисунок 6). можно обоснованно говорить 0 некоем усилении колебаний макросейсмическом OT Охотоморского глубокофокусного землетрясения в зонах крупных разломов в городе [Рогожин и др., 2013].



Рисунок 6 – соотношение зон макросейсмических проявлений Охотоморского землетрясения с зонами разломов и блоков (составлено с использованием [Рогожин, Завьялов, Зайцева, 2013])

Сразу же после события 24 мая 2013 года был осмотрен склон Воробьёвых гор на предмет сейсмических проявлений и возможной активизации оползневых процессов. При детальном осмотре местности было обнаружено порядка тридцати нарушений, распространившихся вдоль всей центральной части оползневого склона. Большая часть нарушений представлена свежими трещинами на асфальтовом покрытии некоторых пешеходных дорожек на всех оползневых уровнях склона. В средней части склона были

обнаружены участки, где наряду с трещинами возникло свежее выпучивание и локальное дробление бордюрного камня. Проведенное исследование на оползневом склоне Воробьёвых гор доказывает, что при колебаниях, вызванных Охотоморским землетрясением 24 мая 2013 г. произошла небольшая по масштабам активизация оползней на Воробьевых горах.

Активность склона Воробьёвых гор подтверждается глубинным строением. В 2016 году на оползневом склоне в районе старого трамплина был пройден небольшой профиль ММЗ [Горбатиков и др., 2017]. На полученном разрезе отчетливо выделяются зеркала скольжения, зона отрыва оползневого тела, и зоны выпучивания.

Глубинное строение зон разломов Москвы так же изучалось методом микросейсмического зондирования в Юго-Западной части города [Рогожин и др., 2010б]. Измерения проводились в 2009 г. по профилю, расположенному к западу от МКАД. Профиль был ориентирован в север-северо-западном направлении, и пересекал зоны Бутовского и Павлово-Посадского разломов, являющимися границами Теплостанского грабена. Общая длина профиля составила около 35 км (рисунок 5). На получившемся разрезе, удалось более детально проследить и проанализировать глубинное строение Теплостанского грабена, выделяемого ранее по данным [Т.Ю. Кузьменко, 1994], и обрамляющих его зон разломов, а также соседних блоков фундамента (рисунок 7). Все три ветви Павлово-Посадского разлома на разрезе выглядят единой широкой (более 7 км) вертикальной полосой с пониженными скоростями микросейсмического поля, проникающей в недра до глубины 25 км. При этом южная ветвь разлома представлена наиболее ярко – в приповерхностных слоях чехла она подчеркивается наличием аномально низкоскоростного кармана, а начиная от 3 км от поверхности эта зона прослеживается вытянутым низкоскоростным объёмом, проникающим в недра кристаллического фундамента. Прослеживается и амплитуда сбросового смещения поверхности кристаллического цоколя – южное крыло опущено примерно на 3 км [Рогожин и др., 2010б].

Бутовский разлом, оконтуривающий Теплостанский грабен с юга (II на рисунке 5), также представлен узким низкоскоростным карманом, достигающим по глубине 6-7 км. Общая амплитуда сбросового смещения поверхности кристаллического фундамента по зоне разлома составляет около 2 км (опущено северное крыло). В зоне разлома поверхность кристаллического цоколя смещается ступенеобразно –выделяется три сближенных сброса с разными амплитудами.

На линию профиля так же попадает и Солнцевский разлом северо-западного простирания (IV на рисунке 5), который подходит к линии профиля под острым углом. На разрезе он предстает в виде низкоскоростного пятна шириной 2 км на глубинах 2-4 км. Зона Солнцевского разлома разделяет грабен на две близкие по размеру части, при этом поверхность кристаллического цоколя в северо-восточной части погружена ниже, чем в южной примерно на 500 м.



Расстояние вдоль профиля (метры)

Рисунок 7 – глубинный разрез распределения относительных интенсивностей микросейсмического поля, полученный методом микросейсмического зондирования. Повышение относительной интенсивности соответствует относительному уменьшению скорости сдвиговых сейсмических волн, понижение интенсивности – увеличению скорости: А – приповерхностные горизонты земной коры до глубин 6 км, вертикальный масштаб увеличен по сравнению с горизонтальным в 2 раза; Б – вся толща земной коры до глубин около 40 км, вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы

Если посмотреть на весь разрез полностью (рисунок 6 - внизу), можно отметить, что все три разлома на больших глубинах проявлены по-разному: в то время как под Павлово-Посадским разломом отмечается наличие глубоких корней в виде вертикального низкоскоростного тела, имеющего ширину 7-8 км и прослеживающиеся сквозь всю земную кору. Под Бутовским разломом таких низкоскоростных корней не обнаружено. Солнцевский начиная от 4-5 км подстилается высокоскоростным материалом, но начиная от глубин 15 км под разломной зоной отчетливо прослеживается низкоскоростной объем, имеющий ширину 5 км и вертикально уходящий в глубь фундамента до 40 км. Подобный тип разломов встречался в Калининградской области.

### Выводы к главе 5:

Известно, что в Московском регионе на ощутимом уровне регистрируются воздействия от удаленных событий из зоны Вранча в юго-восточных Карпатах. Сильное землетрясение с магнитудой Ms = 8.2, произошедшее 24 мая 2013 года в акватории Охотского моря показало, что сейсмический эффект на территории города может исходить не только от землетрясений из зоны Вранча, но и от других глубокофокусных событий.

По результатам оперативно собранной информации о сотрясаемости на территории Москвы от Охотоморского землетрясения была создана база данных и составлена карта макросейсмических проявлений. Анализ данной карты показал, что распределение сейсмического эффекта не равномерно, и зоны разломов, контролируют большее количество пунктов ощущаемости землетрясения, чем блоковые структуры. Такие результаты дают возможность обоснованно говорить о макросейсмическом усилении колебаний от Охотоморского глубокофокусного землетрясения в зонах крупных разломов в Москве.

Землетрясение, произошедшее 24 мая 2013 г. предоставило уникальную возможность осмотреть склон Воробьёвых гор сразу же после события и доказать, что при колебаниях, вызванных Охотоморским землетрясением, произошла небольшая по масштабам активизация оползней на Воробьевых горах.

Исследования, проведенные методом ММЗ показали, что глубинные разломы в земной коре представляют собой узкие вертикальные карманы, заполненные низкодобротным материалом с пониженными значениями скоростей поперечных сейсмических волн и по своему строению схожи с разломами в других регионах.

Таким образом, очевидно, что современные активные структуры Московского региона являются опасными объектами для зданий высокоэтажной застройки, а изучение новейшей тектоники актуально и важно с практической точки зрения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из прикладных задач сейсмотектоники является оценка сейсмической опасности, где важную роль играют данные о строении сейсмоактивных структур, их глубине, кинематике, морфологии, строении очага землетрясения.

Анализ всех полученных данных показал, что подобранный комплекс геологогеофизических методов – а именно, совокупность геолого-геоморфологического исследования, включавшего в себя анализ глубинного строения, древней и новейшей тектоники регионов; дешифрирование материалов дистанционного зондирования; структурно-геоморфологическое картирование; полевые исследования; выделение основных активных геологических структур, с методом микросейсмического зондирования, являющегося методом пассивной сейсморазведки, – хорошо подходит для максимально полного исследования зон разломов и дают хороший результат.

Исследования, приведенные в работе, позволили проследить положение сейсмоактивных зон в глубоких частях земной коры, что является неотъемлемой частью сейсмотектонической модели.

Исследования, проведенные в районе *складчатой зоны большого Кавказа*, показали наличие под осевой частью Большого Кавказа обширного, относительно низкоскоростного тела, отчетливо выраженного на микросейсмических разрезах. Это тело наблюдается во всех изученных частях Кавказа – в центральной и западной зоне, а также в западной зоне замыкания Большого Кавказа. Тем не менее, наиболее ярко оно проявлено в центральной части Большого Кавказа, в то время как в Туапсинской и Западной зонах Кавказа его размеры и контрастность значительно меньше. Границы этого тела соответствуют крупным разломным зонам, выраженным на всех геофизических профилях низкоскоростными вертикальными телами, проникающими в недра на всю мощность земной коры. А его наличие может свидетельствовать в пользу представлений об основной особенности подвижных поясов, вовлеченных в горообразование, заключающейся в непременном наличии в растущем объеме земной коры относительно легких (разуплотненных) горных пород [Трифонов, 1999].

При анализе микросейсмических профилей выяснилось, что зоны разломов на глубине выражены по-разному: в некоторых случаях они представлены в виде субгоризонтальных или наклонных низкоскоростных зон, а иногда просто смещением горизонтальных слоев скоростного разреза. Встречаются также разломные зоны, выраженные и низкоскоростными зонами, и смещением слоёв одновременно.

Кроме того, отмечается хорошая корреляция зон низкоскоростных неоднородностей с положением разрывов в молодых отложениях на поверхности.

Также важно отметить приуроченность областей очагов землетрясений к тем зонам разломов, где на профилях ММЗ наблюдается максимальный контраст между зонами высоких и низких скоростей.

Для зоны активной окраины платформы на примере Прегольской и Янтарнинской разломных зон в районе Калининградской области была выявлена отчетливая корреляция

поверхностных признаков тектонической активности с глубинным строением. На глубинных разрезах, полученных по профилям микросейсмического зондирования, были выявлены низкоскоростные объёмы, соответствующие активным разломам.

Исследования, проведенные *в платформенной области*, в районе Москвы, показали, что распределение сейсмического эффекта от удалённых событий на территории города неравномерно, и в зонах разломов сейсмический эффект выше, чем в разделяемых ими блоках. Исследования, проведенные методом ММЗ показали, что глубинные разломы Москвы по своему строению схожи с разломами в других регионах.

На примере Воробьёвых гор в работе была доказана активизация оползневых склонов при далёких сейсмических событиях.

Таким образом очевидно, что современные активные структуры Московского региона являются опасными объектами для зданий высокоэтажной застройки.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Андреева Н.В., Погребченко В.В., Червинчук С.Ю., Цзе Ч., Цзяо Лю., Овсюченко А.Н., Ларьков А.С. Глубинное строение северо-западного окончания Кавказа по новым геолого-геофизическим данным // Физика Земли. 2020. № 6. С. 48-65.

2. Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Андреева Н.В., Степанова М.Ю., Ларьков А.С., Сысолин А.И. Микросейсмическое зондирование и активные разломы Керченско-Таманского региона // Физика Земли. 2019. № 6. С. 84-95.

3. Рогожин Е.А., Милюков В.К., Миронов А.П., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В., Андреева Н.В., Лукашова Р.Н., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М. Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала XXI в. в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры //Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. №1. С. 91-102.

4. Варга П., Рогожин Е.А., Шуле Б., Андреева Н.В. Оценка энергии, высвободившейся при сильнейших (м ≥ 7) глубокофокусных сейсмических событиях с учетом данных о землетрясении в Охотском море 24 мая 2013 г. (Мw = 8.3) // Физика Земли. 2017.№3. С. 62-87.

5. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсюченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015. №2. С. 36–49.

6. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Новые данные о глубинном строении, тектонике и геодинамике Большого Кавказа // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 3. С. 356 – 359.

7. Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзебоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли. 2015. №1. С. 28 – 39.

8. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В., Лутиков А.И., Новиков С.С., Мараханов А.В., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Ларьков А.С. Детальная оценка сейсмической опасности территории Калининграда и тектонический анализ землетрясений 2004 г // Инженерные изыскания. 2014. № 12. С. 26-38.

9. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В., Лутиков А.И., Новиков С.С., Мараханов А.В., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Ларьков А.С. Оценка сейсмической опасности г. Калининград в детальном масштабе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений 2014, №4, с. 19-27

10. Рогожин Е.А., Завьялов А.Д., Зайцева Н.В. Макросейсмические проявления Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. на территории г. Москвы // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40. №3. С. 64-77.

11. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., **Андреева Н.В.**, Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзебоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2013. №4. С. 3-7.

## Материалы и тезисы докладов:

1. Заалишвили В.Б., Авджян К.Э., Аджиев А.Х., Айрапетян О.Ю., Алборов И.Д., Алиев И.А., Алита С.Л., Алказ В.Г., **Андреева Н.В.**, Анисимов Д.А., Аракелян А.Р., Архиреева И.Г., Асоян Д.С., Ахматханов Р.С., Бадаев С.В., Байдаева З.Р., Бакраев М.М., Баскаев А.Н., Беккиев М.Ю., Бекузарова С.А. и др. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований Коллективная монография / Владикавказ, 2017.

2. Андреева Н.В. Корреляция геолого-геоморфологической выраженности и глубинного строения активных разломов на территории Керченско-Таманского региона. / В книге: Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. Тезисы докладов и программа Конференции. 2018. С. 16.

3. Андреева Н.В. Сопоставление зон глубинных разломов в их сейсмических проявлениях, геолого-геоморфологической выраженности и глубинном строении на территориях Москвы и Калининграда./ В книге: Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. Тезисы докладов и программа Конференции. 2017. С. 16.

4. Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Зиновьев И.А., Турчков А.М., Бабаян А.Д., Андреева Н.В Опыт применения метода микросейсмического зондирования в инженерно- геологических изысканиях на территории Новомосковского административного округа г. Москвы. В сборнике: Сейсмические технологии- 2017. Материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 2017. С. 227-230.

5. Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Овсюченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Складчато-блоковая структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении. В сборнике: Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе. 2015. С. 97-106.

6. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Зайцева Н.В., Харазова Ю.В. Новые данные о глубинном строении, тектонике и геодинамике Большого Кавказа. В сборнике: Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI тектонического совещания. 2014. С. 125-130.

Подписано в печать 03.03.2022 г. Формат 64×84/16. Объем 1,5 усл. печ. л. Тираж 100 шт. Заказ № Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1 Тел./факс: (499) 254 90 88.