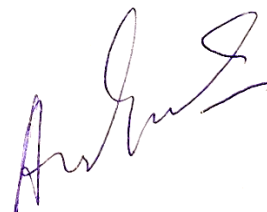


На правах рукописи



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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 20__

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

Научный руководитель: **Овсяченко Александр Николаевич,**

кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится _____ 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 www.ifz.ru.

Отзыв 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 «_____» _____ 20__ г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

В. А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Интерес к изучению разломов определяется актуальностью проблемы и возрастает со временем. Это связано с тем, что активные разломы как сейсмогенерирующие структуры напрямую связаны с уровнем и оценкой природных опасностей, в первую очередь – сейсмической опасности. Оценка сейсмической опасности является важнейшей задачей сейсмотектоники и включает в себя анализ данных о строении сейсмогенерирующих структур в недрах – их глубину, кинематику, морфологию. Автор в своей работе собрал и проанализировал все эти данные, используя комплексный подход, заключающийся в совокупности геолого-геоморфологического и геофизического исследований с точной пространственной привязкой геологии к геофизическим профилям. Такие исследования предоставили возможность наиболее детально изучить активные разломы как на глубине, так и на поверхности, а также проследить сходство и различия для разломных зон, расположенных в различных геодинамических обстановках.

Проведенные исследования позволили установить морфологию сейсмоактивных зон на глубине, что является неотъемлемой частью сейсмотектонической модели, используемой в оценке сейсмической опасности.

Целью диссертационного исследования было изучение особенностей строения и проявления активных разломов на поверхности и в недрах в трёх существенно различных геодинамических обстановках: 1) в условиях сейсмоактивного Альпийско-Гималайского подвижного пояса; 2) в условиях сейсмоактивной окраины древней платформы; 3) в условиях сейсмически пассивных внутренних районов древней платформы.

Задачами исследования являлось:

- Анализ представлений геолого-геоморфологических и геофизических методов изучения глубинных разломах, выбор и развитие методов исследования глубинных разломов.
- Исследование Прегольской и Янтарнинской разломных зон в Калининградской области комплексом сейсмотектонических и геофизических методов;
- Исследование активных разломов Кавказского и Таманского сегментов Альпийско-Гималайского подвижного пояса комплексом сейсмотектонических и геофизических методов;
- Исследование асейсмичных разломов Московского авлакогена комплексом сейсмотектонических и геофизических методов.

- Сопоставление результатов исследования глубинных разломов в разных геолого-тектонических обстановках.

Научная новизна работы заключается в получении данных о строении глубинных разломов на основе уникального научно-методического подхода, представленного совокупностью геолого-геоморфологических методов с методом микросейсмического зондирования в различных геодинамических обстановках: сейсмоактивного 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 проведенных исследований заключается в получении новых данных о глубинном и приповерхностном строении активных разломов. Полученные данные могут использоваться для уточнения сейсмической опасности, в том числе в густонаселенных районах. Таким образом результаты, полученные за время исследования, могут использоваться в прогнозных целях.

Методы исследования. В работе применяется геолого-геоморфологический анализ в совокупности с методом микросейсмического зондирования (ММЗ). Такое сочетание методов позволяет уже на уровне постановки производить точную пространственную привязку геофизического и геологического профилей. Единая интерпретация результатов в пространственной привязке «поверхность - глубинный разрез» дает существенное преимущество.

Структурно-геоморфологическое картирование подразумевает структурно-генетический анализ гипсометрии современного и дочетвертичного рельефа, береговых линий голоценовых морских и озерных бассейнов, аллювиальных, морских, озерных террас и слагающих их осадков в сопоставлении с геологическим строением глубоких горизонтов чехла и фундамента.

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) – это метод пассивной сейсморазведки, разработанный и запатентованный в Институте физики Земли РАН [Горбатилов и др., 2008, Горбатилов, Цуканов, 2011]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями земной коры.

Таким образом, исследования включили в себя: анализ глубинного строения, древней и новейшей тектоники регионов; дешифрирование материалов дистанционного зондирования; структурно-геоморфологическое картирование; полевые геолого-геофизические исследования; выделение основных активных геологических структур.

Положения, выносимые на защиту:

1. Независимо от уровня сейсмической активности региона, по геолого-геофизическим данным, глубинные разломы в недрах различных тектонических структур представляются в виде субвертикальных или наклонных низкоскоростных зон и смещений горизонтальных слоев скоростного разреза. При этом на поверхности зоны низкоскоростных неоднородностей имеют точное пространственное соответствие с геолого-геоморфологической выраженностью зон активных разломов.

2. В исследованных сейсмически активных регионах очаги крупных землетрясений приурочены к тем областям разломов, где контакты двух разнопрочных объемов имеют максимально высокие и максимально низкие скорости сейсмических волн.

3. Под осевой частью Большого Кавказа на геофизических разрезах ММЗ выделяется массивное относительно низкоскоростное тело, прослеживающееся в диапазоне глубин 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. Граница этого тела, на всех геофизических профилях представлена узкими низкоскоростными вертикальными структурами, проникающими в недра на всю мощность земной коры. Эти структуры соответствуют крупным разломным зонам, которые выделяются на поверхности по морфологическим признакам.

4. На примере Московского региона и Охотоморского глубокофокусного землетрясения 2013 года доказано усиление макросейсмического эффекта от удаленных землетрясений в зонах крупных глубинных разломов, выделяемых в стабильных внутренних районах древних платформ, что подтверждает потенциальную опасность глубинных разломов для зданий высокэтажной застройки городов.

Фактическая основа и личный вклад: в основу работы легли фактические материалы, полученные в результате полевых экспедиций, проведенных с участием автора в рамках научно-исследовательских работ ИФЗ РАН в составе сейсмотектонического отряда ИФЗ РАН, а так же дистанционных исследований, направленных на изучение глубинного и поверхностного строения зон разломов и их связи с сейсмическими событиями. Подобные исследования имеют уникальное теоретическое и практическое значение.

Апробация. Результаты проведенных исследований были представлены на научно-практической конференции «Сейсмические технологии – 2017», на I Тектоническом совещании «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии» (2018), на «Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН» (2013 г, 2014 г, 2015 г,

2017 г, 2018 г, 2020 г.). По теме диссертации опубликовано 10 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём работы.

Диссертация состоит из введения, описания развития представлений о разломах земной коры и методов их исследования (глава 1), описания методик исследования (глава 2), трех глав, посвященных изучению строения зон разломов на поверхности и в недрах в трёх существенно различных геодинамических обстановках: в условиях сейсмоактивной окраины древней платформы на примере Калининградской области (глава 3), в условиях сейсмоактивного Альпийско-Гималайского подвижного пояса на примере Кавказского и Таманского его сегментов (глава 4) и в условиях сейсмически пассивных внутренних районов древней платформы на примере Московского авлакогена (глава 5), заключения и списка литературы (230 наименований), изложенных на 24 страницах текста, и содержит 47 рисунков и 2 таблиц.

Благодарности

Особую глубокую благодарность автор выражает своему научному руководителю д.г.-м.н. Евгению Александровичу Рогожину, 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 Овсяченко 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 Сейсмоструктуры 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 настоящей работы заключается в том, что автор наряду с известными, хорошо себя зарекомендовавшими методами исследования (геолого- геоморфологический и палеосейсмологический анализ) применяет недавно вошедший в геофизическую практику метод пассивной сейсморазведки - метод микросейсмического зондирования. Такое сочетание методов было выбрано не случайно. В ходе собственных полевых исследований, начиная преимущественно с геологических методов, автор имел возможность многократно проанализировать высокую степень корреляции результатов между геологическими методами и ММЗ. В отличие от подавляющего большинства геофизических методов, проведение которых происходит независимо от геологических методов, а интерпретация результатов производится уже на уровне готовых карт или разрезов, ММЗ уже на уровне постановки позволяет производить точную пространственную привязку к геологической постановке. Поэтому, интерпретация результатов производится в единой пространственной шкале, практически с точностью до одного пространственного отсчета (300 метров и меньше). Единая интерпретация результатов в пространственной привязке «поверхность - глубинный разрез» дает существенное преимущество.

Таким образом исследования включили в себя: анализ глубинного строения, древней и новейшей тектоники регионов; дешифрирование материалов дистанционного

зондирования; структурно-геоморфологическое картирование; полевые геолого-геофизические исследования; выделение основных активных геологических структур.

Структурно-геоморфологическое картирование подразумевает структурно-генетический анализ гипсометрии современного и дочетвертичного рельефа, береговых линий голоценовых морских и озерных бассейнов, аллювиальных, морских, озерных террас и слагающих их осадков в сопоставлении с геологическим строением глубоких горизонтов чехла и фундамента. Для кавказского сегмента структурно-геоморфологические исследования включали в себя прослеживание опорных геоморфологических уровней (поверхностей выравнивания), маркирующих собой характер молодых тектонических деформаций. Кроме того, структурно-геоморфологические 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]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного поля при взаимодействии со 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. Калининградские разломы как пример зон глубинных структур на окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП): геолого-геофизическое строение и сейсмическая активность

Землетрясения, произошедшие 21 сентября 2004 г., в районе г. Калининград, с интенсивностью сотрясений 6 и 6-7 баллов по шкале MSK-64 и магнитудой $M_w=4.6$ 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 1 представлены точки наиболее детальных геоморфологических исследований и расположение профилей микросейсмического зондирования.



Рисунок 1 – Схема фактического материала на фоне разломов и флексур. Красные кружки – точки наблюдения. Желтые ромбы – точки микросейсмического зондирования. Черными сплошными линиями показаны разломы, установленные на поверхности и в основании чехла; пунктирными — разломы, установленные по данным сейсморазведки и бурения; черными треугольниками — флексурно-разрывные зоны.

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 сейсморазведкой и контролирующей 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 простираения активных геологических структур было пройдено два профиля ММЗ (рисунок 1) и по ним получены глубинные разрезы (рисунок 2). 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 (K08 - K43) 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.

Восточный профиль (KE01 - KE18) 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 1). 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.

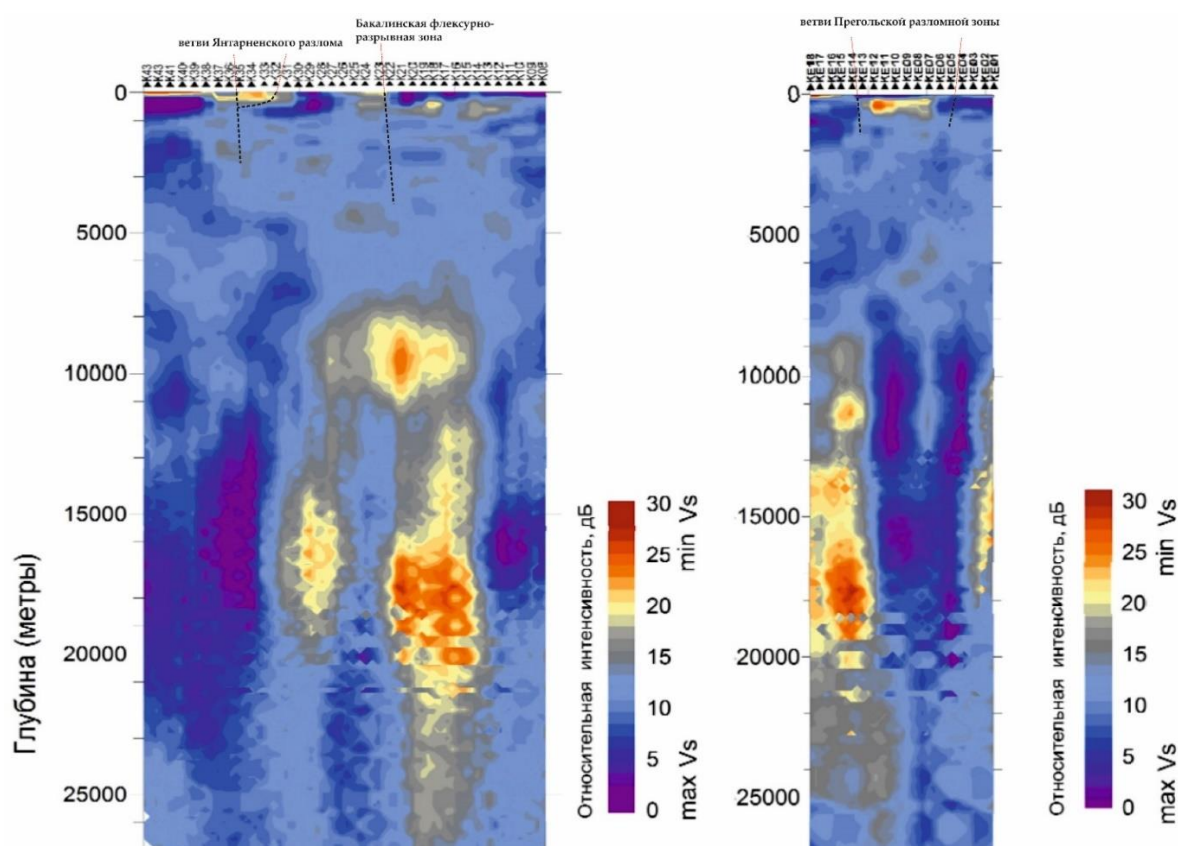


Рисунок 2 – Разрезы ММЗ с индивидуальной нормировкой для двух профилей

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. При этом основные вертикальные неоднородности скоростей поперечных сейсмических волн соответствуют Прегольской разломной зоне и оперяющим её разломным нарушениям – Янтарненскому и Бакалинскому.

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 Янтарненским и Бакалинским 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 разломными зонами. Ее глубина 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, эта компактная неоднородность отражает 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 простираения и Пионерское северо-восточного. 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 ММЗ выражено зоной пониженных скоростей на глубине до 1 км.

Выводы к главе 3:

1. Выявлена отчетливая корреляция поверхностных признаков тектонической активности с глубинным строением 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 ММЗ выражено зоной пониженных скоростей на глубине до 1 км. Таким образом результаты по ММЗ 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 4. 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, а именно в Кавказском и Таманском его сегментах.

Исследования были сосредоточены в 3 зонах: 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 пересекает центральную зону Большого Кавказа от Предкавказского прогиба до границы с системой Закавказских межгорных впадин в области максимального сужения всех тектонических зон – вдоль Транскавказской магистрали. Весь профиль состоял из 202 точек измерений с шагом между точками 500 метров. На профиле отчетливо улавливаются все разломные зоны, установленные по геолого-геоморфологическим исследованиям. 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 3). 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 неперенном 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.

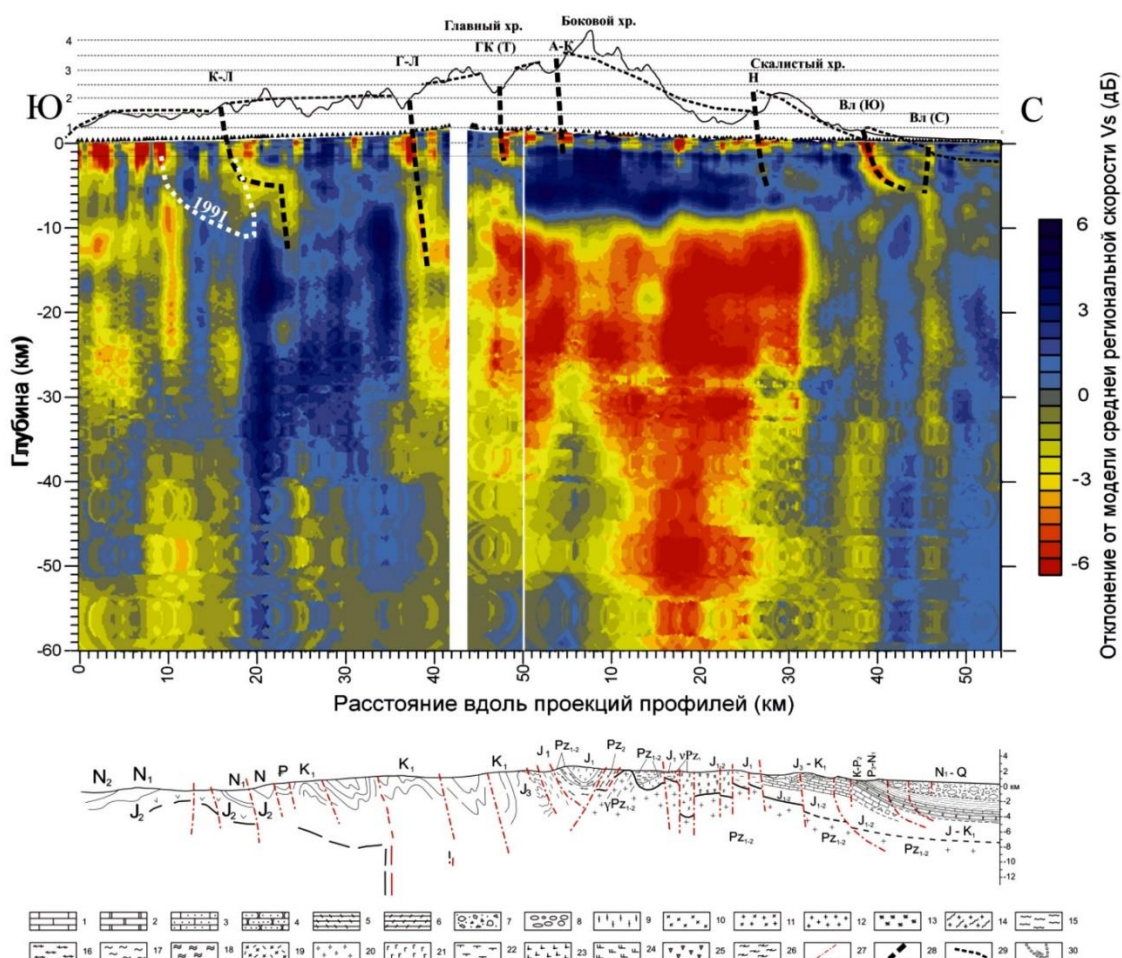


Рисунок 3. Осетинский профиль

1 – известняки (J3–K1 2); 2 – мраморизованные известняки балтинской свиты (J3bl1); 3 – песчанистый известняк балтинской свиты (J3bl1); 4 – песчаники (J1); 5 – аргиллиты ксуртской свиты (J1ksr); 6 – алевролиты ксуртской свиты (J1ksr); 7 – брекчии (Q); 8 – конгломераты (Q); 9 – кремни (PZ2); 10 – андезиты (J1); 11 – гранодиориты туялинского комплекса (PZ1tl); 12 – граниты (PZ2); 13 – кварцевый андезит (J1 2); 14 – гранито

гнейсы (PZ2); 15 – гнейсы буронской свиты (PR2–PZ1br); 16 – метаморфизованные гнейсы (PZ2); 17 – сланцы буронской свиты (PR2–PZ1br); 18 – филлиты буронской свиты (PR2–PZ1br); 19 – диориты туялинского комплекса (PZ1tl); 20 – пегматиты (PZ2); 21 – габбро фиагдонского комплекса (J1f); 22 – долериты (PZ2); 23 – пикриты буронской свиты (PR2–PZ1br); 24 – перидотиты буронской свиты (PR2–PZ1br); 25 – оруденения; 26 – амфиболит буронской свиты (PR2–PZ1br); 27 – разломные зоны; 28 – основные разломы: К-Л – Кахетино-Лечхумский, Г-Л – Гебско-Лагодехский, ГК(Т) – Главный Кавказский (Тибский), А-К – Адайком-Казбекский, П – Пуйский, Вл – Владикавказский; 29 – Позднеплиоцен эоплейстоценовый уровень; 30 – зона Рачинского землетрясения

Профиль Туапсе Апшеронск располагался приблизительно между городами Туапсе и Апшеронск. Вдоль профиля ММЗ были прослежены опорные геоморфологические уровни, по которым можно проследить характер молодых тектонических деформаций, а так же детально изучены проявления разломных зон на поверхности.

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 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.

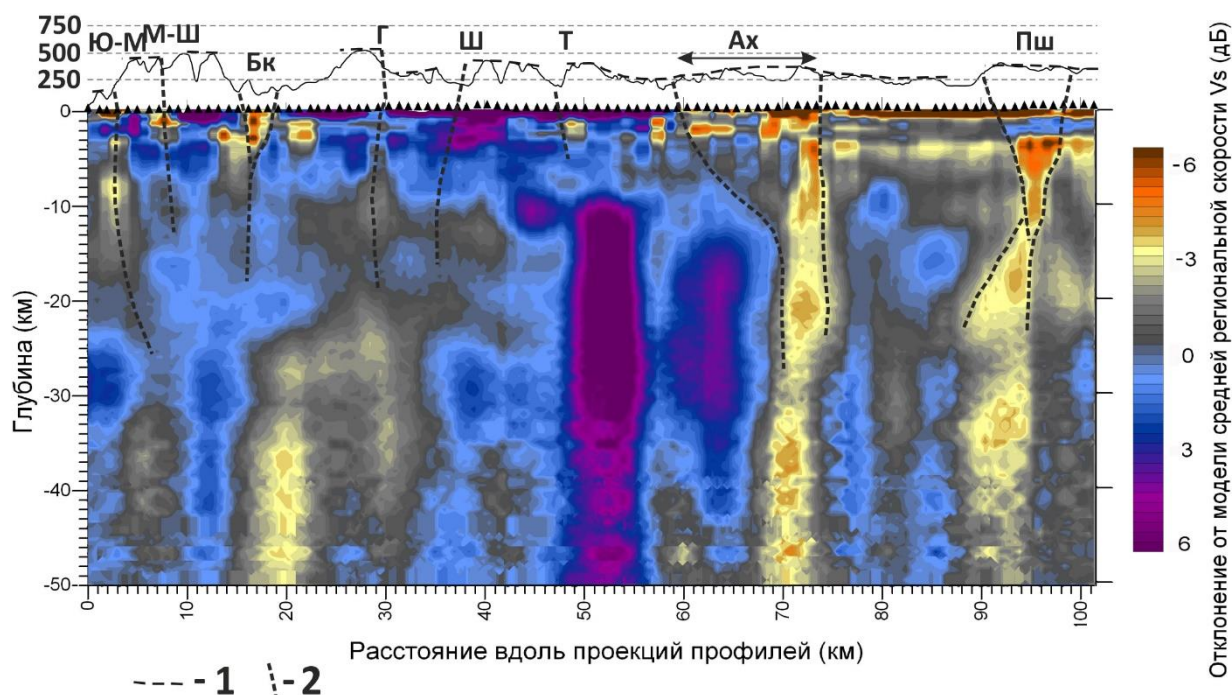


Рисунок 4 – Разрез ММЗ по профилю Туапсе-Апшеронск [Рогожин и др., 2015 с изменениями]

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 направлениях – вкрест структуры и по направлению её периклинального замыкания соответственно.

На профиле пересекающем зону западного замыкания Кавказа вкрест структуры выделяется зона низкоскоростных неоднородностей между пикетами 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, 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 4

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 (PCM)), 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 ($-3 \dots -6$ 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 ($-3 \dots -6$ 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 5. Исследование асейсмичных разломов Московского региона комплексом сейсмотектонических и геофизических методов

24 мая 2013 года в акватории Охотского моря произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_s = 8.2$. 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 геолого-геоморфологическим и геофизическим исследованиям, проводимых в различные годы на территории города [Кузьменко, 1994, Лоджевский и др., 1997; Померанцева, Солодилов,

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 осязаемости, отмечающихся в пределах этих структур.

По результатам произведенного подсчета выяснилось, что зоны разломов, хотя и занимают меньшую площадь (528 км²), контролируют большее количество пунктов осязаемости (64), а блоковые структуры, имеющие в целом большую суммарную площадь (642 км²), характеризуются почти вдвое меньшим количеством таких пунктов (36). Таким образом, можно обоснованно говорить о некоем макросейсмическом усилении колебаний от Охотоморского глубокофокусного землетрясения в зонах крупных разломов в городе [Рогожин и др., 2013].

Сразу же после события 24 мая 2013 года был осмотрен склон Воробьевых 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 Воробьевых гор доказывает, что при колебаниях, вызванных Охотоморским землетрясением 24 мая 2013 г. произошла небольшая по масштабам активизация оползней на Воробьевых горах.

Активность склона Воробьевых гор подтверждается глубинным строением. В 2016 году на оползневом склоне в районе старого трамплина был пройден небольшой профиль ММЗ [Горбатилов 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 полученном разрезе, удалось выделить и проанализировать глубинное строение Теплостанского грабена и обрамляющих его зон разломов, а также соседних блоков фундамента (рисунок 6).

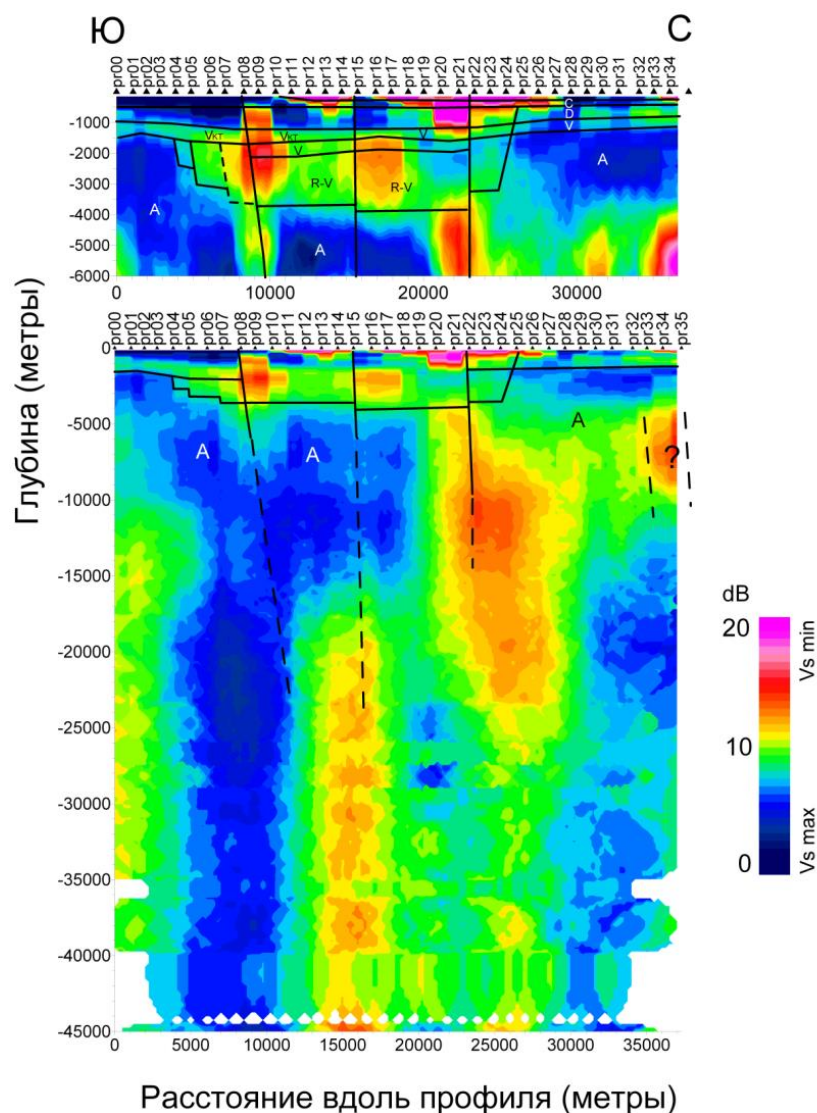


Рисунок 6 – глубинный разрез распределения относительных интенсивностей микросейсмического поля, полученный методом микросейсмического зондирования. Повышение относительной интенсивности соответствует относительному уменьшению скорости сдвиговых сейсмических волн, понижение интенсивности – увеличению 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

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.

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 $M_s = 8.2$, 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 высокотажной застройки, а изучение новейшей тектоники актуально и важно с практической точки зрения.

Заключение

Одной из прикладных задач сеймотектоники является оценка сейсмической опасности, где важную роль играют данные о строении сейсмоактивных структур в недрах, их глубине, кинематике, морфологии, строении очага, кинематике подвижки. В исследованиях сейсмической опасности так же установлена тесная взаимосвязь макросейсмического эффекта с глубинным строением.

Анализ всех полученных данных наглядно показал, что подобранный комплекс геолого-геофизических 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 установить морфологию сейсмоактивных зон на глубине, что является неотъемлемой частью сеймотектонической модели.

Для *зоны активной окраины* 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 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 так же 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.

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

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., **Андреева Н.В.**, Погребченко В.В., Червинчук С.Ю., Цзе Ч., Цзяо Лю., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Глубинное строение северо-западного окончания Кавказа по новым геолого-геофизическим данным Физика Земли. 2020. № 6. С. 48-65.
2. Овсяченко А.Н., Горбатилов 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., Милуков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В., **Андреева Н.В.**, Лукашова Р.Н., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М. Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала ххi 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 ($m \geq 7$) глубокофокусных сейсмических событиях с учетом данных о землетрясении в Охотском море 24 мая 2013 г. ($m_w = 8.3$) Физика Земли. 2017. №3. С. 62-87.
5. Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко 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.
6. Рогожин Е.А., Горбатилов 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.
7. Горбатилов 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., Дзедобоев 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.
8. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Горбатилов 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., 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.

10. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., **Андреева Н.В.**, Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедоев 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., Овсяченко 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.