

На правах рукописи



Ларьков Александр Сергеевич

**ДЕФОРМАЦИИ НОВЕЙШЕГО РЕЛЬЕФА В ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ
ЗОНАХ ИЗУЧЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Специальность 25.00.03 Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва — 2020

Работа выполнена в лаборатории методов прогноза землетрясений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Научный руководитель: **Рогожин Евгений Александрович,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. лабораторией методов прогноза землетрясений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Официальные оппоненты: **Трифонов Владимир Георгиевич,**

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории неотектоники и современной геодинамики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук

Макеев Владимир Михайлович,

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, и.о. зав. лаборатории эндогенной геодинамики и неотектоники, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН)

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук**

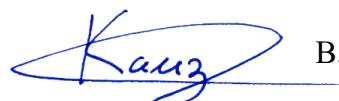
Защита состоится **26 марта 2020 г. в 14.00 часов** на заседании диссертационного совета Д 002.001.01 при Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук по адресу: г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

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 «_____» февраля 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



В. А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Фундаментальное развитие методов оценки сейсмической опасности в особенности актуально в условиях бурного экономического развития России, расширения территорий интенсивного использования и постоянно возрастающей уязвимости объектов инфраструктуры для природных катастроф. Исследования сейсмической опасности для развиваемой или модернизируемой инфраструктуры часто ограничены жесткими сроками при необходимости получения количественных оценок, что требует постоянной разработки методов и баз данных, позволяющих получать конкретные выводы быстро и надежно. Данное исследование также чрезвычайно актуально для труднодоступных регионов, регионов, не в полной мере покрытых сетью сейсмостанций или иными инструментальными средствами наблюдений.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время деформации рельефа не всегда напрямую увязывают с сейсмической активностью, или же увязывают с неточностями в интерпретации тех или иных процессов. Разные сейсмоактивные регионы сильно отличаются степенью изученности, что вплоть до настоящего времени находит отражение и в серьезных различиях региональных прогнозных моделей. В соответствии со степенью изученности и региональными условиями наметилось несколько основных подходов с использованием геолого-геоморфологических методов. Формализованный количественный подход направлен на преодоление затруднений в оценке сейсмической опасности, связанных с неравномерностью сейсмологической и сеймотектонической изученности, с помощью распространения сведений о сейсмическом потенциале в зависимости от сеймотектонической обстановки по комплексу параметров, характеризующих современное состояние земной коры [Рейснер, 1980; Рейснер и др., 1993]. Применение морфоструктурного подхода в оценке сейсмической опасности базируется на одной из важнейших предпосылок, которой является представление о том, что активное развитие морфоструктур, характеризующихся различной степенью дифференциации и интенсивности тектонических движений, приводит к накоплению напряжений в крупных объемах земной коры, границами между которыми служат зоны активных разломов. Палео- и археосейсмогеологические подходы по параметрам следов землетрясений прошлого позволяют трассировать очаги сильных землетрясений, и оценивать их магнитуду и сейсмическую интенсивность.

Цель диссертационного исследования состоит в изучении деформаций новейшего рельефа в эпицентральных зонах современных и палеоземлетрясений разной силы в различных сеймотектонических обстановках и геоморфологических условиях.

Задачами исследования являются:

- картирование и качественно-количественный анализ остаточных нарушений рельефа в эпицентральных зонах современных и палеоземлетрясений разной силы (катастрофических, сильных и умеренных) в различных сеймотектонических обстановках и геоморфологических условиях;
- морфотектонический анализ проявлений очагов современных и палеоземлетрясений разной силы (катастрофических, сильных и умеренных) в различных сеймотектонических обстановках и геоморфологических условиях;

- дополнение и верификация имеющихся данных о землетрясениях и сейсмическом режиме сопутствующими археосейсмологическими и геофизическими методами.

Научная новизна работы заключается в доказательстве на примере изученных эпицентральных зон современных, палео- и исторических сильнейших и ощутимых землетрясений (Великого Монгольского 1761 г., Рачинского 1991 г., Калининградских 2004 г., Сквородинского 2011 г. и др.) однотипности привлекаемых для анализа тектонических деформаций новейшего рельефа в различных сеймотектонических обстановках и ландшафтных условиях. Палео- и исторические сильные землетрясения изучены на примере Керченско-Таманского сегмента Альпийско-Гималайского сейсмоактивного пояса, где показано, что строение, современные очертания и границы основных морфоструктурных элементов определяются зонами крупнейших активных разломов – генераторами очагов сильных землетрясений, происходивших на протяжении голоцена. Они выражены геоморфологически в виде структур, схожих со структурами рельефа других сеймотектонических поясов и зон. К активным разломам также приурочены многочисленные разрушения и повреждения в археологических памятниках на Черноморском и Азовском побережьях.

Практическое значение исследования заключается в фундаментальном развитии и применении на конкретных объектах методов параметризации деформаций новейшего рельефа, необходимых для оценки сейсмической опасности.

Методы исследования. Исследования молодых (позднеплейстоцен-голоценовых) тектонических деформаций (активных разломов, складок, флексур) и следов сильных землетрясений выполнены методами структурной геоморфологии (морфотектоники), палеосейсмологии, археосейсмологии и приповерхностной геофизики. Геолого-геофизическое изучение активных разломов опирается, в первую очередь, на прослеживание опорных геоморфологических уровней – поверхностей выравнивания, речных и морских террас позднеплейстоцен-голоценового возраста, с выявлением их тектонических деформаций. Детальные палеосейсмологические исследования конкретных тектонических смещений и вторичных деформаций в разрезах молодых отложений и формах новейшего рельефа позволяют восстановить историю молодых подвижек по разломам, размеры очагов палеоземлетрясений, их интенсивности, магнитуды и кинематики подвижки. Для изучения следов проявления сильных современных землетрясений в рельефе используется сравнительно новая шкала интенсивности ESI-2007 (Environmental seismic intensity), которая позволяет локализовать эпицентр, построить карту изосейст высших баллов и дать событию численные параметры, исходя из геолого-геоморфологических данных. Методы археосейсмологии направлены на выявление и параметризацию сейсмических событий путём анализа архитектурных памятников древности.

Положения, выносимые на защиту:

1. В очаговых зонах сильных и сильнейших землетрясений в подвижных поясах и на платформах наблюдаются как существенные однотипные тектонические деформации новейшего рельефа, но различающиеся как по своим масштабам в зависимости от магнитуды, так и по характерным структурным особенностям, типичным для данной геодинамической обстановки.

2. В условиях малонаселенной и труднодоступной местности удастся закартировать изосейсты высших баллов сильных современных и палеоземлетрясений путем оконтуривания зон распространения их первичных и вторичных сейсмодислокаций.

3. В сейсмоактивных поясах строение, современные очертания и границы основных морфоструктурных элементов определяются зонами крупнейших новейших разломов, которые генерировали очаги сильных землетрясений на протяжении голоцена, что впервые доказано датированием палеосейсмодислокаций в зонах ряда активных наземных разломов Керченского полуострова.

Фактической основой работы и личным вкладом послужили результаты дистанционных и полевых исследований в составе сеймотектонического отряда ИФЗ РАН, проведенных автором в рамках проектов РФФИ и научно-исследовательских работ ИФЗ РАН, направленных на изучение сейсмической истории, долговременного сейсмического режима и сейсмической опасности. Подобные исследования в указанных регионах производились впервые и имеют уникальное теоретическое и практическое значение.

Апробация. Результаты проведенных исследований были представлены на Всероссийском совещании «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» (2016 г.), VII Международном симпозиуме «К 80-летию со дня рождения выдающегося ученого, основателя и первого директора ИС РАН Ю.А. Трапезникова» (2017 г.), международной конференции «Боспорские чтения» (2017 г.), «Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН» (2012 г, 2013 г, 2014 г, 2015 г, 2017 г, 2018 г.). По теме диссертации опубликовано более двадцати статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, описания методики исследования (глава 1), трех глав, посвященных деформациям новейшего рельефа в очаговых зонах современных и исторических сильнейших и сильных землетрясений (глава 2), макросейсмическому исследованию деформаций новейшего рельефа и локализация очагов землетрясений (глава 3), морфоструктурам новейшего рельефа в сейсмоактивных поясах на примере Керченского полуострова (глава 4), заключения и списка литературы (103 наименований), изложенных на 91 странице текста, и содержит 34 рисунка и 1 таблицу.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. Е.А. Рогожину за руководство, организацию исследования, наставления и всевозможную поддержку. Автор глубоко признателен своим учителям и коллегам, сотрудникам ИФЗ РАН к. г.-м. н. А.Н. Овсяченко, д. г.-м. н. А.М. Корженкову, к. г.-м. н. Л.И. Иогансон и с.н.с. А.В. Мараханову за помощь на всех этапах работы – начиная от организации и проведения экспедиций до ценных рекомендаций касательно написания диссертации. Автор благодарит коллектив лабораторий Методов прогноза землетрясений, Сеймотектоники и сейсмического микрорайонирования и Палеосейсмологии и палеогеодинамики ИФЗ РАН за поддержку и плодотворные обсуждения; а также всех товарищей по полевым работам.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Методы исследования

Основное приложение проводимых исследований – оценка сейсмической опасности. Согласно современным сейсмологическим представлениям, сейсмическая опасность определяется вероятностью достижения некоторого уровня сейсмических воздействий на данной территории в течение заданного периода повторяемости. Для расчетов реального уровня сейсмической опасности необходимы представительные каталоги землетрясений, содержащие информацию о повторяемости сильнейших сейсмических событий конкретного сейсмоактивного региона. Однако, регионы, для которых имеются такие каталоги, буквально можно пересчитать по пальцам. В то же время, повторяемость сильных землетрясений может достигать нескольких сотен и даже тысяч лет. В итоге почти каждое сильное землетрясение современности приводит к корректировке существовавших карт сейсмического районирования. Выход из этой ситуации возможен лишь с привлечением данных о землетрясениях более далёкого прошлого.

Для регионов с ограниченной сейсмостатистикой основным источником информации о сильнейших землетрясениях и их повторяемости остаются палеосейсмогеологические данные. Палеосейсмогеологический подход основан на том, что сильнейшие землетрясения далёкого прошлого оставляют на поверхности геологические следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962]. Это положение имеет фундаментальное значение в оценке сейсмической опасности, т.к. по следам древних землетрясений возможно выявление очагов сильных землетрясений будущего.

Применение морфоструктурного подхода в оценке сейсмической опасности базируется на одной из важнейших предпосылок, которой является представление о том, что активное развитие морфоструктур, характеризующихся различной степенью дифференциации и интенсивности тектонических движений, приводит к накоплению напряжений в крупных объемах земной коры [Солоненко, 1962]. Разрядка этих напряжений, хотя и возможна в пределах активно развивающихся блоков, обычно связана с подвижками по зонам активных разломов, контролирующими развитие этих морфоструктур. Принципиальной основой морфотектонического анализа, является конформность рельефа и структуры [Флоренсов, 1978; Худяков, 1977], или в более широком смысле - соответствие рельефа темпам и характеру эндогенных процессов [Уфимцев, 1984], что определяет две составляющие картирования (морфоструктурную и морфодинамическую). Относительные смещения блоков в процессе неотектонической активизации, создают основные черты рельефа - морфоструктуры, ограниченные активными разломами, а характер экзогенной геодинамики отражает характер современной геодинамической активности в пределах блоков и межблоковых линейных зон.

Таким образом, одно из важнейших мест занимает выявление и геологический анализ активности зон сочленения основных морфоструктурных элементов на протяжении последних нескольких тысяч лет. Анализ материалов дистанционного зондирования в совокупности с полевыми исследованиями позволяет выполнить анализ рельефа в сопоставлении с геологической структурой, тем самым увязывая проявления экзогенных геологических процессов с тектоническими деформациями молодых форм рельефа на

площади, привязывать их на местности в детальном масштабе и выявлять их пространственные взаимоотношения.

В настоящее время успешно и весьма активно развиваются методы археосейсмологии и исторической сейсмологии, направленные на выявление и параметризацию сейсмических событий путём анализа архитектурных памятников и литературных источников древности. Распознавание сейсмической природы повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Систематические наклоны, выдвигания, обрушения, повороты элементов древних строительных конструкций, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы характера деформаций. Их использование даёт количественный материал для решения главных задач археосейсмологической науки: а) – выявления генезиса деформаций археологических памятников; б) – оценки местной интенсивности сейсмических колебаний; в) – локализации эпицентров методом, независимым от сейсмической сети и дополняющим её; г) – идентификации зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения и д) – продлении сейсмической летописи на временной интервал в сотни и тысячи лет [Korzhnikov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001 и др.].

При исследованиях геолого-геоморфологических эффектов землетрясений главным руководством послужила шкала INQUA EEE [Michetti et al, 2004, Рогожин, 2009], где аббревиатура EEE (Earthquake environmental effects) служит синонимом выражению «геологические проявления землетрясения» [Татевосян и др., 2008]. Шкала INQUA EEE была разработана в рамках проекта международной геологической организации International Quaternary (INQUA) в 2004 г. В 2007 г., после незначительной доработки, она получила название ESI-2007 (Environmental seismic intensity) [Michetti et al, 2007].

В шкале ESI-2007 эпицентральная интенсивность определяется по двум независимым критериям - размерам сейсморазрывов и общей площади распространения вторичных эффектов. Помимо площади распространения в шкале учитываются размеры вторичных эффектов (объём для оползней и обвалов, длина, ширина для трещин и т.д.). Размеры сейсморазрывов выражаются двумя параметрами: общая длина и максимальное смещение. Очевидно, что распределение и выразительность геологических проявлений землетрясения определяются не только силой сотрясений, но и конкретными геолого-геоморфологическими условиями местности, среди которых можно упомянуть: устойчивость и крутизну склонов, состав коренного субстрата и рыхлых отложений, уровень грунтовых вод, характер растительного покрова, наличие вечной мерзлоты и время года, определяющее степень промерзания грунтов. При использовании шкалы ESI-2007 учёт этих условий возможен при переходе от интервалов интенсивности «объектов» к интенсивности в «пункте» [Татевосян и др., 2008; Guerrieri et al., 2007]. В качестве пунктов принимаются основные элементы рельефа, например, небольшие речные долины или горные массивы, в пределах которых оценивается сейсмический эффект по всей совокупности объектов. Такое использование различных пространственных уровней генерализации эффектов существенно повышает устойчивость оценок к внешним факторам.

Глава 2. Деформации новейшего рельефа в эпицентральных зонах современных и исторических сильнейших и сильных землетрясений в различных геодинамических обстановках

Приводятся результаты исследований в двух разнородных и разнотипных тектонических единицах – Центрально-Азиатском подвижном поясе и квазистабильной Восточно-Европейской платформе.

Центрально-Азиатский подвижный пояс, занятый обширными горными цепями и межгорными котловинами, – высоко сейсмический активный регион с относительно коротким периодом сейсмологических наблюдений (около 100 лет). Исследования проводились на восточном склоне Монгольского Алтая, где была изучена фрагмент крупнейшего активного разлома Ховд. Для Алтае-Саянского сегмента подвижного пояса имеется несколько весьма поучительных примеров мощнейших сейсмических катастроф, произошедших на протяжении XX века.

Оценка сейсмической опасности на относительно стабильной Восточно-Европейской платформе вызывает ряд серьёзных методических затруднений. Начнем с того, что за инструментальный период сейсмологических наблюдений сильные (8 баллов и более) землетрясения здесь не происходили. Применение традиционных сеймотектонических методов в оценке сейсмической опасности затруднено тем, что Восточно-Европейской платформе свойственны относительно невысокие темпы современных движений земной коры, а, соответственно, и сравнительно слабая выраженность в рельефе молодых тектонических деформаций. Также, здесь часто обнаруживается слабое соответствие между глубинным и приповерхностным геологическим строением. Это сильно затрудняет выявление сейсмогенерирующих структур по данным о молодых тектонических деформациях. Другой важной особенностью региона является развитие в плейстоцене мощных покровных оледенений, деградация которых вызывала гляциоизостатическую активизацию, сопровождавшуюся всплеском сейсмичности 14-8 тыс. лет назад [Рогожин и др., 2010]. Из этого следует, что далеко не все древние сейсмогенные нарушения в молодых отложениях и формах рельефа (палеосейсмодислокации) характеризуют современный сейсмический режим и по ним можно делать прогнозную оценку сейсмической опасности. Поэтому каждое современное землетрясение на Восточно-Европейской платформе заслуживает самого пристального внимания.

2.1 Землетрясения в провинции Ховд, Монгольский Алтай.

Монгольский Алтай известен своими многочисленными крупными сейсмическими очагами. Горно-складчатая область Монгольского Алтая представляется высокоактивной с точки зрения возникновения здесь сильнейших сейсмических событий на современном уровне и в историческое, а также в доисторическое времена. Эти события оставляют на поверхности в эпицентральной области многочисленные сейсмодислокации, следы которых сохраняются в течение многих тысяч лет.

Горные хребты, межгорные впадины, нагорные плато и горные массивы здесь обнаруживают конформность геологическому строению и четкое соответствие темпам и характеру молодых тектонических процессов, т.е. представляют собой классические морфоструктуры.

Великое Монгольское землетрясение 1761 г. по площади, охваченной сотрясениями, стоит в одном ряду с такими разрушительными событиями, как Хангайские

1905 г., Монголо-Алтайское 1931 г. и Гоби-Алтайское 1957 г. Землетрясение ощущалось в Усть-Каменогорске с интенсивностью 7 баллов, в Семипалатинске (6-7 баллов), в Барнауле, Бийске, на Колывано-Воскресенских рудниках (6 баллов) и привязывается к системе сейсморазрывов Ар-Хутэл [Землетрясения..., 1985]. По макросейсмическим данным и длине разрыва магнитуда оценена как $M=8.0-8.3$, а интенсивность в эпицентре предполагается в 11 баллов. Структура Ар-Хутел, расположенная на центральном отрезке Кобдинского разлома, представляет собой относительно свежий, ярко выраженный праводвиговой сейсморазрыв общей протяженностью 215 км, с горизонтальным смещением до 7 м (в среднем 4 м) и вертикальным смещением до 3 м (в среднем 1,5 м) [Землетрясения..., 1985]. В окрестностях г. Ховд, при устойчивой господствующей праводвиговой компоненте смещений на отдельных отрезках разлом демонстрирует взбросовую морфологию с приподнятым восточным или западным крылом [Рогожин и др., 2013]. Широко распространены здесь также и сейсмогравитационные нарушения поверхности: оползни, обвалы и камнепады, тяготеющие к главной сдвиговой зоне. По данным В.Г. Трифонова [1999] сеймотектоническая подвижка по разрыву Ар-Хутел произошла 460 л.н., т.е. приблизительно в начале XVI века, а предыдущее событие такого же ранга - на 700-750 лет ранее. В окрестностях г. Ховд, за период более 7 тысяч лет, реконструированы 5 сейсмических событий с $M=8.0\pm 0.2$ [Рогожин и др., 2013]. Последнее событие произошло позже 700 л.н. Таким образом, полной ясности с положением очага землетрясения 1761 г. нет.

Зона палеосейсмоструктуры (ПСС) Ар-Хутэл на восточном склоне Монгольского Алтая в окрестностях г. Ховд с запада обрамляет протяженную и широкую передовую гряду – форберг по терминологии иркутских сейсмогеологов [Землетрясения..., 1985, Трифонов и др., 2002]. Западное крыло разлома представлено протяженной линейной депрессией длиной в десятки километров и шириной в первые километры. В районе долины р. Буянт-Гол прослеживается две субпараллельных ветви разлома Ховд, отстоящие друг от друга на расстояние 500-1200 м. Более восточная ветвь в виде крутого уступа в рельефе подрезает с запада упомянутый форберг. При устойчивой господствующей праводвиговой компоненте смещений на отдельных отрезках разлом демонстрирует взбросовую морфологию с приподнятым восточным крылом в северной части и западным крылом – в южной его части.

Обследование ПСС Ар-Хутэл в зоне активного разлома Ховд (Кобдо) и изучение ее приповерхностного строения геоморфологическими методами, в траншеях и шурфах к юго-западу и к северо-западу от г. Ховд позволило заключить, что все изученные участки являются весьма активными с сейсмической точки зрения [Рогожин и др., 2013]. Они проявляли себя в качестве сейсмоактивных структур, по-видимому, в течение всего голоцена. Об этом говорит присутствие в их зонах молодых первичных и вторичных палеосейсмодислокаций - уступов на молодых формах рельефа, осыпей, немногочисленных оползней, обвалов, связанных с сильными землетрясениями прошлого. Отмечается наличие нескольких генераций древних, ископаемых горизонтов отложений временных подпрудных озер и коллювиальных клиньев в зонах сейсмогенных валов сжатия на трех отрезках ПСС (рис. 1).

По толщине горизонтов озерных отложений и выраженности в рельефе древних сейсморазрывов можно заключить, что магнитуда связанных с ними землетрясений составляла около 8.0. Эти сейсмические события согласно материалам проведенного тренчинга могли произойти примерно во временных диапазонах, близким к 7200, 6900, 6600, 1500 и позже 700 (вероятно 250) лет назад, в соответствии с возрастом несколькими

обнаруженных горизонтов захороненной палеопочвы и трех коллювиальных клиньев. Вероятно, имели место и более слабые сейсмические события во временных промежутках между сильнейшими толчками.

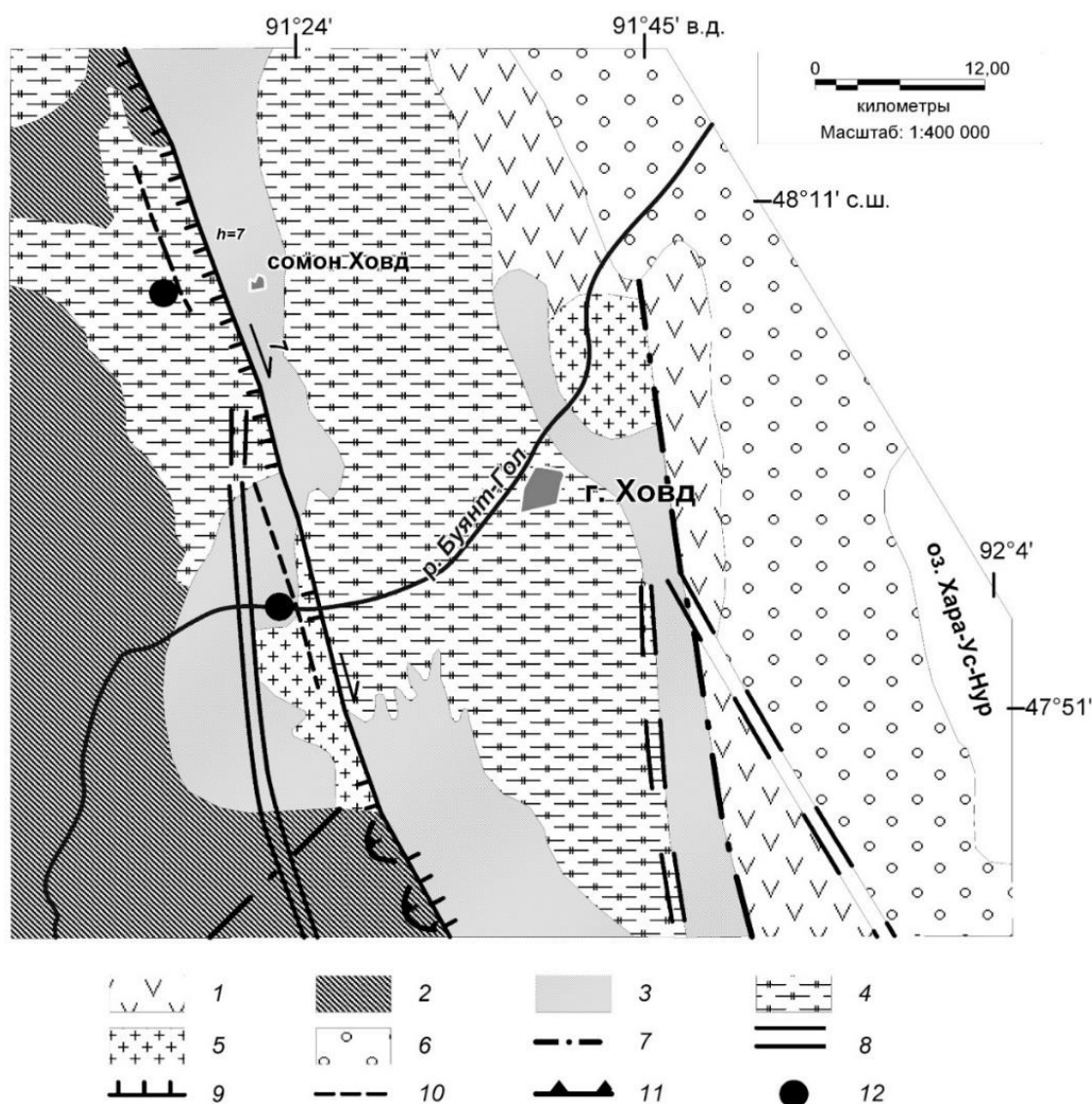


Рисунок 1. Положение системы палеосейсмодислокаций Ар-Хутэл на геологической схеме восточной части Монгольского Алтая [по Землетрясения..., 1985].

1 - 5 – горные поднятия Монгольского Алтая, сложенные: 1 — нижнекембрийскими вулканитами основного состава, 2 — верхнекембрийскими метаморфизованными терригенными толщами, 3 — верхнеордовикско-силурийскими терригенно-карбонатными толщами, 4 — нижне-среднепалеозойскими гнейсовидными гранитами, 5 — средне-верхнепалеозойскими гранитоидами; 6 — Предалтайская система межгорных мезокайнозойских впадин; 7 — древние разломы, установленные и предполагаемые; 8 — активизированный Кобдинский (Ховд) разлом; 9 — участки сейсмодислокаций с вертикальным смещением (штрихи направлены в сторону опущенного крыла, h — амплитуда, м) с направлением горизонтального смещения и его амплитудой, м; 10 — новейшие тектонические разломы с сейсмодислокациями структуры; 11 — сейсмогравитационные деформации (осыпи, обвалы, оползни); 12 — участки распространения новейших сейсмодислокаций (валов сжатия, смена направления течения

водотоков, подпруживания постоянных и временных водотоков) [Землетрясения..., 1985].

Таким образом, в этой части Монгольского Алтая удастся с некоторой долей условности реконструировать 5 сейсмических событий с $M=8.0\pm 0.2$ за период более 7 тысяч лет, включая толчок 1761 г. Сведений о более слабых сейсмических событиях почерпнуть из данных тренчинга не удастся. Также на основании этих данных сложно составить представление о среднем периоде повторяемости сильнейших событий этой части региона.

Важно учесть, что для зоны Фуюньского землетрясения 1931 г. с $M=8.0$ на западной периферии Монгольского Алтая исторические данные и результаты полевых палеосейсмических работ [Рогожин и др., 2012а, Ge Shumo et al, 1996] показали, что для периода 10000 лет обнаружены следы 5 землетрясений с $M \approx 8.0$ (включая толчок 1931 г.). Это примерно соответствует количеству сейсмических событий в зоне активного разлома Ховд за 7.5 тысяч лет.

Учитывая весьма низкую современную сейсмическую активность зоны разломов Ховд в районе одноименных города и самона, а также существенный интервал времени с момента сейсмической активизации прошлого (250 лет), можно заключить, что в ближайшие годы возможно возникновения нового сильного землетрясения в зоне этих разломов с магнитудой порядка 7.0 и более.

2.2. Калининградское землетрясение 2004 г.

До 2004 г. согласно карте ОСР-97 Калининградская область считалась сейсмически безопасной. Но, 21 сентября 2004 г. в районе г. Калининград, произошли землетрясения, два из которых имели интенсивность сотрясений 6 и 6-7 баллов по шкале MSK-64 и магнитуду $M_w=4.6$ и 4.8 соответственно [Никонов и др., 2005; Габсатарова и др., 2010]. В отдельных случаях, при неблагоприятных грунтовых условиях, интенсивность сотрясений достигла 7 баллов; в Калининграде интенсивность сотрясений при втором, самом сильном толчке, в отдельных районах достигла 6 баллов.

Основные из выявленных на камеральном этапе деформаций были изучены в поле. Сначала они были исследованы на Самбийском полуострове. В основании осадочного чехла и фундаменте здесь развиты разломы небольшой протяженности и различной ориентировки, оперяющие региональную Прегольскую систему разломов. В голоценовых отложениях и формах рельефа они выражены исключительно складчатыми деформациями. В одном случае деформированные осадки удалось датировать радиоуглеродным методом. В районе п. Бакалино, в береговом обрыве, была изучена диапировая складка, образованная палеогеновыми глинами, проникающими в вышележащие неоген-четвертичные отложения. В своде антиклинали оказался изогнутым слой покровных суглинков с калиброванным радиоуглеродным возрастом 3058-3259 лет, что говорит о продолжении деформаций в позднем голоцене. Рост складки после окончания оледенения, в свою очередь, свидетельствует о том, что она не является гляциодислокацией, образованной в результате давления ледников на подстилающие породы, а представляет собой активную тектоническую структуру.

В дальнейшем была исследована крупнейшая разломная структура региона – Прегольская зона. В каледонском ярусе она представлена эшелонированными разрывами

и брахиантиклиналями, многие из которых экранированы и содержат в кровле нефтяные залежи. 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. К западу от Калининграда валы высотой 3-7 м оформились в позднеголоценовое время, т.к. деформировали ровную поверхность среднеголоценовой (литориновой) морской террасы. К востоку от Калининграда валы имеют более зрелый облик и также обнаруживают отчетливые признаки голоценовых деформаций – перехваты гидросети, изгибы речных долин, изгибы и перекосы голоценовых речных террас (рис. 2). При этом валы развиты в различных по составу четвертичных отложениях – ледниковых и водно-ледниковых, относимых к разным стадиям позднеплейстоценового оледенения, и аллювиальных голоценового возраста. Складчатые деформации этих отложений установлены как непосредственными наблюдениями, так и с помощью георадиолокации. В черте г. Калининград эти участки разделены Бакалинской флексурой, оперяющей Прегольскую разломную зону.

Отчетливое выражение 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. Все эти деформации тяготеют к разломам в каледонском ярусе чехла, однако прямые связи между ними затушеваны неоднородностями осадочного чехла.

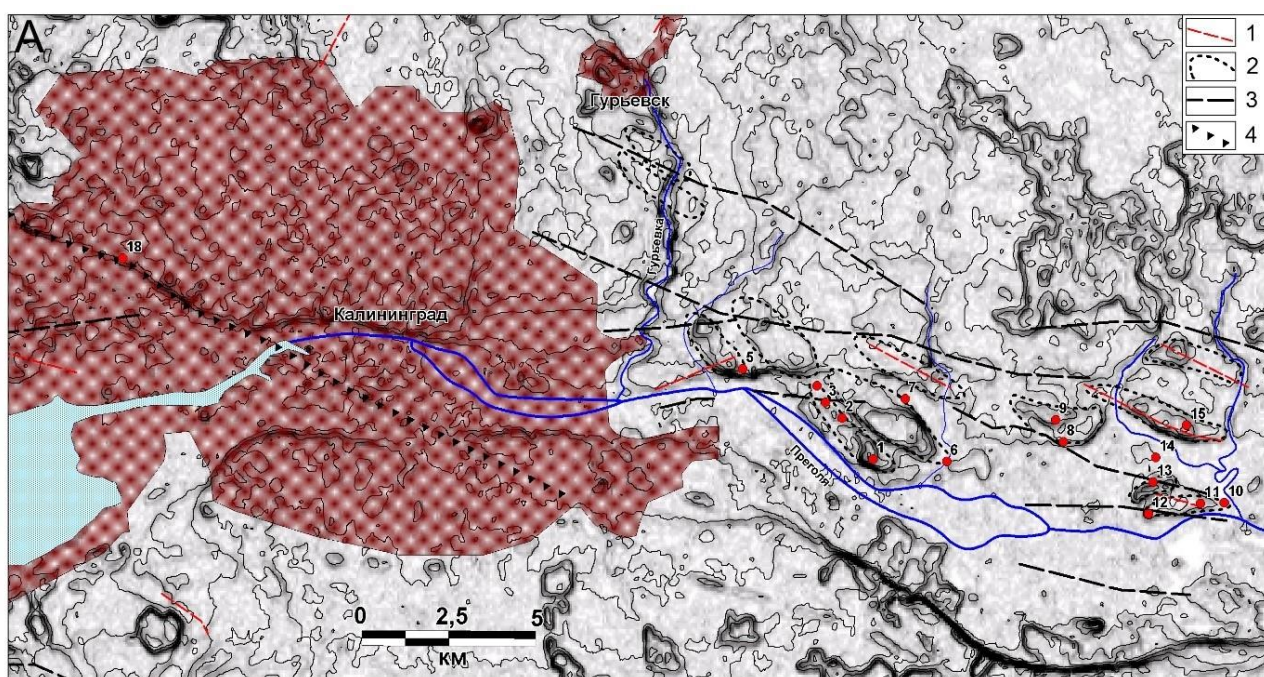


Рисунок 2. Молодые тектонические деформации в Прегольской зоне разломов.

Схема распространения локальных поднятий, связанных с Прегольской разломной зоной восточнее г. Калининград составленная на основе цифровой модели рельефа SRTM V4.

Условные обозначения: 1 – оси локальных брахиантиклиналей установленных в каледонском структурном ярусе чехла; 2 – контуры локальных поднятий, выраженных в рельефе и молодых отложениях; 3 – разрывы Прегольской зоны, установленные в

каледонском структурном ярусе; 4 – Бакалинская флексура в чехле. Красные кружки – точки наблюдения.

Таким образом, несмотря на положение Калининградской области в пределах относительно стабильной Восточно-Европейской платформы, здесь, так же, как и в подвижных поясах, наблюдаются существенные тектонические деформации новейшего рельефа в виде антиклинальных складок и уступов, нарушающих речные и морские террасы, поверхности выравнивания, водоразделы и долины рек.

Глава 3. Макросейсмические исследования деформаций новейшего рельефа и локализация очагов землетрясений

Исследования эпицентральных зон сильных землетрясений современности показывают, что распределение как современных, так и древних катастрофических оползней, обвалов и других сейсмогравитационных образований обнаруживает тесную связь с активными разломами, в зонах которых происходят сильные землетрясения, свидетельствуя о неоднократном повторении сильных сейсмических толчков в одном и том же месте [Рогожин, 2012]. В главе рассмотрены исследования сейсмических эффектов в природной среде в целях локализации очагов современных и палеоземлетрясений на ярких примерах эпицентральных зон Сковородинского землетрясения 2011 г., Рачинского 1991 г.

3.1. Эпицентральная зона Сковородинского землетрясения 2011 г.

14 октября 2011 г., в 16 часов 10 минут по местному времени, на северо-западе Амурской области произошло землетрясение с магнитудой $M_s=6.1$. Землетрясение оказалось сильнейшим за весь период сейсмологических наблюдений в рассматриваемом регионе. Оно имело серьезные последствия и ощущалось на значительной территории. Исследования были начаты с момента землетрясения, так как во время главного толчка Сеймотектонический отряд ИФЗ РАН находился на расстоянии около 80 км от эпицентра, в районе пос. Джелтулак Тындинского района Амурской области [Овсяченко и др., 2012; 2017в].

В районе землетрясения уже работала временная сейсмическая сеть, развернутая в конце июля 2011 г. сейсмологическим отрядом ИФЗ РАН [Быкова и др., 2015], что сильно упростило поиск эпицентральной зоны. Однако, окончательные решения эпицентров главного толчка и афтершоков появились значительно позже завершения полевых исследований.

Землетрясение 14.10.2011 г. стало сильнейшим за всю историю наблюдений в Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоне. Исследования последствий этого события представляются особенно важными с точки зрения дальнейших работ по оценке сейсмической опасности в данном регионе. Здесь, впервые для рассматриваемой сейсмической зоны, удалось получить детальные сведения о распределении сотрясений в ближней зоне.

Исследования проводились по двум основным направлениям – макросейсмическому и сейсмогеологическому.

Сведения о макросейсмическом эффекте в населённых пунктах собраны путем опроса людей и заполнения опросных листов в соответствии с параметрами шкалы MSK-

64 [Медведев и др., 1965]. При обследовании основное внимание уделялось населённым пунктам, расположенным в непосредственной близости от эпицентра.

Наблюдений в населённых пунктах было явно недостаточно для восстановления картины сотрясений в ближней зоне, в связи с чем, параллельно с макросейсмическими, проводились исследования следов землетрясения в природной среде.

Обнаруженные эффекты землетрясения имеют исключительно вторичный характер и представлены сейсмогравитационными и сеймовибрационными образованиями. К первым относятся обвалы, камнепады, трещины отседания (отпора), наблюдаемые в местах резкого перегиба склона, и редкие оплывины склонового чехла. К сеймовибрационным эффектам землетрясения можно отнести в первую очередь следы выбросов, излияния и выдавливания обводнённого песка из трещин на речных косах (грифоны), а также трещины встряхивания на ровных поверхностях, сложенных рыхлыми грунтами. Максимальные эффекты наблюдались в долине р. Крестовка (рис. 3).

В восточном и западном направлениях от участка в долине р. Крестовка количество и размеры вторичных эффектов уменьшаются при неизменности природных условий. Интенсивность сотрясений здесь уже меньше – $I=7$ баллов.

Общая площадь проявления вторичных эффектов, наилучшим образом согласующаяся с интенсивностью [Michetti et al, 2007], составила примерно 250-270 км², что отвечает $I_0=8$ баллов. Максимальные эффекты, которые можно отнести к интенсивности $I=8$ баллов, наблюдались в долине р. Крестовка на участке длиной около 15 км. По мере продвижения от устья реки на восток, плотность, размеры и разнообразие генетических типов нарушений постепенно увеличиваются при неизменности природных условий, достигая максимума в районе устья р. Валикта, что послужило основанием для выделения 8-балльного участка. Далее на восток они уменьшаются, сходя на нет к востоку от устья р. Янкан.

Сопоставление результатов макросейсмических, сейсмогеологических и сейсмологических исследований представлено на рис. 3. Изосейсты построены по данным полевых наблюдений, на представительном участке. Для рисовки изосейст полевые данные представительны в долине р. Крестовка и к северу от неё, где прослеживаются закономерные изменения плотности, размеров и разнообразия генетических типов вторичных нарушений.

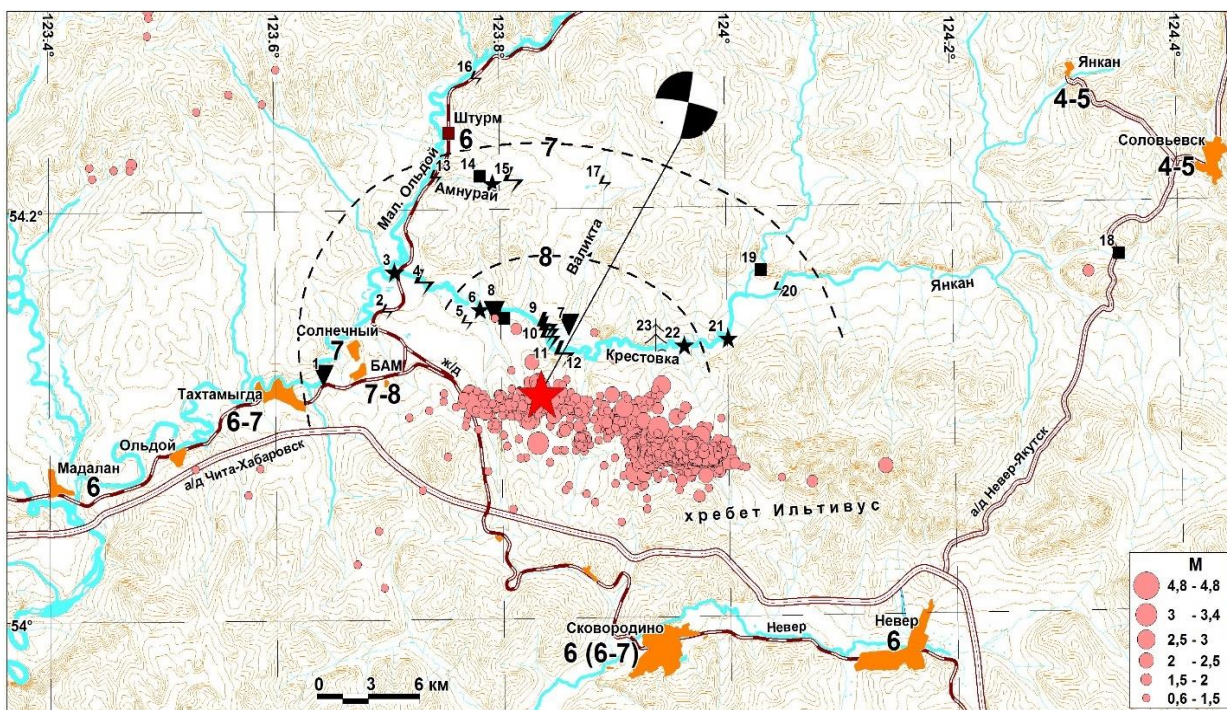


Рисунок 3. Карта изосейст в ближней зоне Сковородинского землетрясения, положения главного толчка и афтершоков [Быкова и др., 2015], с механизмом очага по данным Global CMT.

Инструментальный эпицентр по данным временной сети ИФЗ [Быкова и др., 2015] расположен в 2,7 км южнее середины 8-балльного участка в долине р. Крестовка. Можно полагать, что инструментальный эпицентр в общих чертах соответствует макросейсмическому, и в совокупности позволяют локализовать очага землетрясения с погрешностью, удовлетворительной для детальной оценки сейсмической опасности.

Наблюдаемые незначительные различия между макросейсмическими и инструментальными данными обусловлены геолого-геоморфологическими условиями. В районе инструментального эпицентра благоприятные условия для образования вторичных нарушений отсутствуют. Нет здесь и постоянного населения. В этом таёжном районе широко развиты сглаженные склоны и пологонаклонные поверхности с мощным обводненным суглинистым чехлом, покрытые густым растительно-моховым и торфяным покровом, т.е. формы рельефа, крайне неблагоприятные для образования вторичных нарушений. Максимальные геологические эффекты проявились в ближайшем благоприятном месте – расположенной в нескольких километрах к северу, широкой, заболоченной долине р. Крестовка с широко развитыми обводнёнными песчано-галечными грунтами и отвесными скальными обрывами.

3.2. Эпицентральная зона Рачинского землетрясения 1991 г.

29 апреля 1991 г., на южном склоне Большого Кавказа произошло Рачинское землетрясение ($M=7.0-7.2$, при интенсивности в эпицентре $I_0=8$ баллов), ставшее сильнейшим за весь период инструментальных наблюдений. Землетрясение было очень хорошо изучено с сейсмологической [Арефьев и др., 1993; Арефьев, 2003] и сеймотектонической [Богачкин и др., 1992; Рогожин и др., 1993; Белоусов, 2009] точек зрения, что позволило охарактеризовать строение очага и выявить породившие его

геологические структуры [Рогожин и др., 1993]. Однако, в 1991 г., в эпицентральной области не удалось провести полномасштабных палеосейсмологических исследований. В итоге остался не ясным вопрос – были ли здесь ранее такие же сильные землетрясения, и если да, то как часто они происходили? В то же время, было выяснено, что в пределах эпицентральной зоны все оползни возникли на базе древних оползневых склонов [Рогожин, Богачкин, 1993]. Поэтому одной из целей исследований 2009-2010 гг., проведенных в восточной части эпицентральной зоны Рачинского землетрясения, стало изучение и датирование следов древних сейсмических катастроф [Овсюченко и др., 2014].

Возникшие в 1991 г. сейсмодислокации носили вторичный характер и имели сейсмогравитационное и вибрационное происхождение. Первичные, сеймотектонические дислокации, которые прямо отражали бы подвижку в очаге землетрясения, обнаружены не были. При геологическом обследовании эпицентральной зоны выделены дислокации нескольких типов (в порядке убывания распространенности): горные обвалы и срывы осыпей, отседание склонов, глинистые оползни, каменные и грязекаменные лавины и, наконец, блоковые оползни [Богачкин и др., 1992]. Типы дислокаций на каждом конкретном участке определяются грунтовыми условиями, характером рельефа, литологией коренных пород и геологической структурой данного участка.

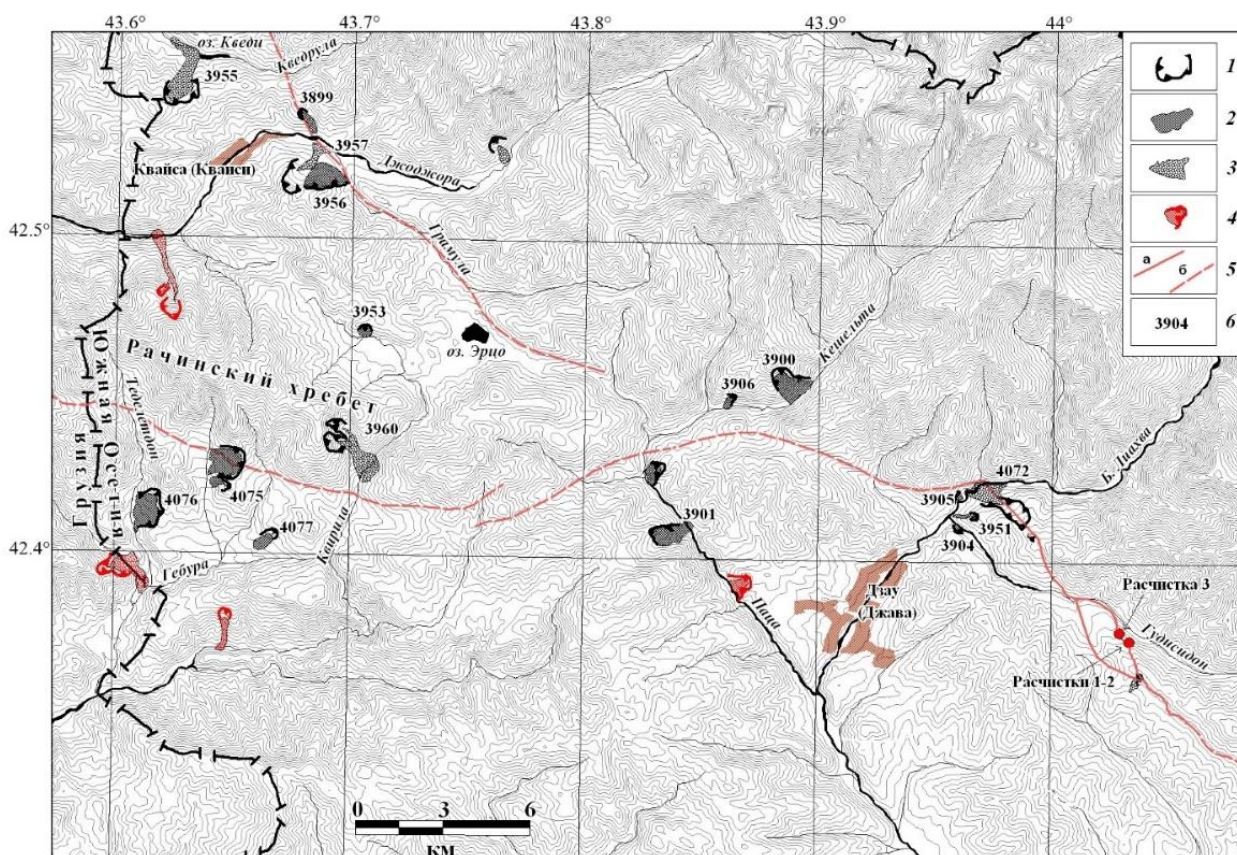


Рисунок 4. Схема расположения изученных палеосейсмодислокаций в юго-осетинской части эпицентральной зоны Рачинского землетрясения.

1 – зоны отрыва гравитационных палеосейсмодислокаций; 2, 3 – тела гравитационных палеосейсмодислокаций (2 – оползни и оползне-обвалы, 3 – обвалы и каменные лавины); 4 – гравитационные сейсмодислокации Рачинского землетрясения 1991 г.; 5 – активные разломы (а – установленные на местности; б – по косвенным, дистанционным и литературным данным); б – номера радиоуглеродных датировок (ИГАН).

В результате палеосейсмологических исследований в восточной части эпицентральной зоны Рачинского землетрясения были выявлены следы древних сейсмических катастроф (см. рис. 4). Изученные следы палеоземлетрясений представлены в основном оползнями, обвалами и каменными лавинами, иногда достигающими грандиозных масштабов. Для отбора образцов в таких местах было пройдено несколько десятков шурфов и расчисток. Существенное внимание уделялось и тектоническим деформациям.

Согласно собранным данным, наиболее вероятный возраст предпоследнего сильного землетрясения в Рача–Джавской сеймотектонической зоне – примерно 1100–1600 лет назад. Выявленные палеосейсмодислокации охватывают ту же область, которая оказалась поражена вторичными нарушениями в 1991 г. Проведенные исследования позволили локализовать очаг и плейстосейстовую зону современного (1991 г.) и палеоземлетрясений в Рача–Джавской сеймотектонической зоне.

В пространственном отношении Рача–Джавская сеймотектоническая зона, породившая Рачинское землетрясение 1991 г. и предыдущие сильные сейсмические события, заканчивается в долине р. Б. Лиахва (см. рис. 4). На восток её продолжает Гудисидонский сегмент с взбросо–левосдвиговой кинематикой смещений. В этом районе произошло Джавское землетрясение 15.06.1991 г. с $M=6.2$. По данным радиоуглеродного датирования около 600 лет назад здесь же произошло еще одно самостоятельное сейсмическое событие. Согласно решению механизма очага, для землетрясения 15.06.1991 г. предлагается левосторонний взбросо–сдвиг по плоскости СЗ простирания [Арефьев и др., 1993]. В соответствии между собой находятся также сведения о кинематике смещений по инструментальным и геолого–геоморфологическим данным. Можно полагать, что здесь расположен обособленный сейсмический очаг. Гудисидонский сегмент имеет сейсмический потенциал $M_{\text{макс}}=6.5$ и, в силу своей сеймотектонической позиции, выполняет роль промежуточного между высокомагнитудными взбросо–надвиговыми сегментами южного склона Большого Кавказа. На юго–востоке он имеет четкое ограничение – зону Цхинвали–Казбекского разлома, ограничивающую также и область максимального сгущения афтершоков Рачинского и Джавского землетрясений.

Проведенные исследования свидетельствуют о тесной связи катастрофических сейсмогравитационных явлений с активными разломами, в зонах которых происходят сильные землетрясения, и о неоднократном повторении сильных сейсмических толчков в одном и том же месте. Такие исследования в условиях малонаселенной и труднодоступной местности позволяют закартировать изосейсты высших баллов сильных современных и палеоземлетрясений путем оконтуривания зон распространения их первичных и вторичных сейсмодислокаций.

Глава 4. Морфоструктуры новейшего рельефа в сейсмоактивных поясах на примере Керченского полуострова

Альпийско-Гималайский подвижный пояс сейсмоактивен на всем своем протяжении. Керченский полуостров представляет собой западное звено обособленного Керченско-Таманского сегмента Альпийско-Гималайского пояса. Сегмент занимает промежуточное положение между горными сооружениями Крыма и Большого Кавказа. От прилегающих горных сооружений и прогибов регион отличается глубинным строением, а

характер тектонических движений в фундаменте сильно искажен мощным осадочным чехлом.

Высокая современная тектоническая активность Керченского полуострова проявлена деформациями молодых отложений и форм рельефа. Им сопутствуют современные движения земной поверхности, грязевой вулканизм, перестройки речной сети и локальные ареалы повышенной активности процессов денудации. Тем не менее, современный уровень сейсмической активности здесь низкий, хотя имеются многочисленные исторические и археологические свидетельства о разрушительных землетрясениях древности. В связи с этим, при оценке сейсмической опасности региона важнейшее значение имеют неотектонические и палеосейсмологические исследования. По результатам исследований 2014-2018 гг. составлена карта активных разломов (рис. 5). Молодые тектонические деформации были изучены в нескольких местах на каждом разломе.



Рисунок 5. Карта активных разломов Керченского полуострова.

1 – активные разломы с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого (Ю-А – Южно-Азовский, П – Парпачский; То – Тобечикский, Ю-К – Южно-Керченский); 2 – прочие активные разломы и флексуры; 3 – места детального изучения разломов в горных выработках.

Геологическое строение региона имеет ряд отличительных особенностей, наложивших сильный отпечаток на оформлении структурного стиля тектонических деформаций. В первую очередь к ним относится наличие мощной (несколько км) олигоцен-раннемиоценовой майкопской серии, сложенной нефтеносными глинистыми осадками. В

майкопской толще широко развиты диапиры, структуры течения, дисгармоничная складчатость, сдвигания разреза и другие внутриформационные деформации. В результате, тектонические подвижки в недрах оказываются в значительной мере преобразованы этой пластичной толщей, а выразительность и морфология молодых смещений оказались сильно изменчивы по простиранию разломов. В таких условиях в реализации тектонических движений значительное участие принимают глиняный диапиризм, грязевой вулканизм и сопутствующие складчатые деформации.

На севере Керченского полуострова выделяется изучавшийся ранее [Геология..., 1992; Никонов, 1994; Трифонов, Караханян, 2004] Южно-Азовский активный разлом, который в морфоструктурном отношении приурочен к границе Приазовского - наиболее приподнятого участка Керченского и Таманского полуостровов с мелководной котловиной Азовского моря. Этот дизъюнктив представляет собой региональную границу Крымско-Кавказской гряды современных орогенических поднятий и погружающегося Индоло-Кубанского предгорного прогиба. Геофизическими методами разлом прослежен вдоль азовских берегов Керченского и Таманского п-вов до г. Темрюк на востоке [Плахотный и др., 1989]. Он следует вдоль берега Азовского моря, выходя на сушу лишь на коротких отрезках [Никонов, 1994; Масленников и др., 2017; Овсяченко и др., 2015; 2017]. В изученных разрезах молодых отложений разлом демонстрирует чрезвычайно изменчивый облик – от надвигов до пологих сбросов и субвертикальных правых сдвигов.

Данный разлом был изучен в нескольких местах методом «тренинга». На мысе Зюк выявлена позднеголоценовая ассиметричная антиклинальная складка, ядро которой сложено сильно деформированными миоценовыми аргиллитами. Структуру можно интерпретировать в качестве присдвигового вала сжатия, возникшего в пределах сеймотектонического разрыва сдвиговой кинематики. В результате обновления вала произошло резкое изменение крутизны склона и обваливание крупных глыб, захоронивших палеопочву.

На северной окраине с. Юркино, в прибрежном обрыве в результате схода крупных оползней оказался вскрыт разрез молодого грабена. На южном ограничении грабена наблюдается сдвиг, обнаруживающий изменчивость направленности видимого вертикального смещения в разных горизонтах разреза. В разных крыльях разрыва резко меняется и фациальный состав покровных лёссов. По всей видимости, такая необычная структура связана с соприкосновением по разлому первично разновысотных участков склона с разным характером залегания коренных пород и разными по составу покровными отложениями, что произошло в результате сдвига в горизонтальной плоскости на несколько метров. Смещение современной почвы указывает на возраст последней подвижки - 200-300 лет назад. Эти данные позволяют увязать очаг сильного землетрясения XVIII в., следы которого обнаружены по историческим и археосейсмологическим данным, с конкретной геологической структурой.

В центральной части (вдоль осевой линии) Керченского полуострова прослежен Парпачский активный разлом. Он вытянут вдоль одноимённого гребня, морфоструктура которого представляется в виде гребневидной антиклинальной складки, с крутым южным крылом и более пологим северным. Вдоль гребня, на протяжении 33 км в позднемиоценовых отложениях прослежена серия молодых разрывов с изменчивой кинематикой смещений.

На юго-востоке полуострова был выявлен Тобечикский разлом. Он прослежен в рельефе и молодых отложениях от мыса Такиль до южного берега озера Тобечик. В морфоструктурном отношении разлом ограничивает приподнятый юго-восток Керченского полуострова от опущенных участков современного осадконакопления оз. Тобечик и Керченского пролива. Голоценовые тектонические смещения были обнаружены в четырех местах на простирации разлома протяженностью около 11 км. На крайнем юго-востоке полуострова (мыс Такиль) был обнаружен сейсмотектонический ров с погребенной палеопочвой. В урочище Печка задокументирован молодой надвиг, проникающий в позднеплейстоцен-голоценовые лёссы и почвенный покров.

На северо-восточном фланге Тобечикский разлом представлен позднеголоценовым сбросом с правосдвиговой компонентой смещений. Приразломный уступ смещает локальные надпойменные террасы долины ручья, а в опущенном крыле залегают пролювиальные осадки конуса нескольких генераций. Участок у оз. Тобечик представляет собой классический случай молодых смещений по разлому, где можно наблюдать все основные признаки активного разлома.

В южной части региона, в акватории Черного моря по геофизическим данным выделен Южно-Керченский (Правдинский) разлом [Геология..., 1992]. На суше он представлен грандиозными гравитационно-сейсмотектоническими нарушениями на горе Опук с признаками правостороннего сдвига [Борисенко и др., 1999; Овсяченко и др., 2017a]. Восточнее горы Опук молодые тектонические деформации были изучены в районе античного городища Китей, где по разрыву СЗ простирации восстанавливается правый сдвиг, затрагивающий культурный слой, датируемый руководителем раскопок городища Китей Е.А. Молевым III в. н.э.

Полученные материалы подтверждают многочисленные археологические данные о сейсмических разрушениях древности. В процессе работ нами, совместно с местными археологами изучались древние памятники Керченского полуострова античного и средневекового возраста. На этих памятниках нами был выявлен и проанализирован широкий спектр сейсмических деформаций: наклоны, выдвигения и обрушения строительных конструкций, а также их развороты вокруг вертикальной и горизонтальной осей, деформации арочных конструкций (например, провисшие замковые камни), сквозные трещины, пробивающие несколько строительных блоков подряд, субвертикальные межблоковые трещины на высоту всей стены и др. В отдельных случаях удалось определить направления прихода максимальных суммарных сейсмических колебаний. В целом, археосейсмологические исследования также показали, что очаги многих сильных землетрясений были расположены в пределах Керченского полуострова.

Результаты исследований показывают, что на Керченском полуострове имеются признаки классических морфоструктур, обнаруживая конформность рельефа геологическим структурам и четкое соответствие динамики современных экзогенных процессов темпам и характеру молодых тектонических движений. Морфология современных очертаний полуострова обусловлена зонами крупных активных разломов. Выяснено, что с зонами этих разломов связаны очаги сильных землетрясений, происходивших на протяжении позднего голоцена. Это обстоятельство показывает надежность морфотектонического подхода при выделении активных тектонических структур в задачах оценки сейсмической опасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассмотрении различных эпицентральных зон сильнейших, сильных и ощутимых землетрясений привлекаемые для анализа деформации новейшего рельефа как в подвижных поясах, так и на платформах по морфологии однотипны.

На примере района Калининградских землетрясений 2004 г. показано, что в пределах относительно стабильной Восточно-Европейской платформы, также как и в подвижных поясах, наблюдаются существенные тектонические деформации новейшего рельефа в виде локальных антиклинальных складок и уступов, нарушающих речные и морские террасы, поверхности выравнивания, водоразделы и долины рек различных этапов позднечетвертичного возраста. В региональном масштабе очаги землетрясений проявляются в виде общего линейного поднятия или опускания над разломной зоной, проявлявшего себя на протяжении позднего плейстоцена и голоцена. Все деформации в пределах системы активных разломов на Самбийском полуострове тяготеют к зонам разломов, проявленных в каледонском ярусе чехла, однако прямые связи между молодыми и древними проявлениями их активности часто затушеваны неоднородностями состава осадочного чехла. Здесь же обнаружены и вторичные проявления палеоземлетрясений.

В подвижных поясах деформации новейшего рельефа обычно проявлены ярко и часто позволяют уверенно ответить на вопрос о конкретной роли тех или иных тектонических структур в процессах сейсмогенеза. Исследования конкретных эпицентральных зон показывают, что очаги землетрясений и в высокоактивных регионах далеко не всегда прямо проявлены в рельефе в виде узкой зоны сеймотектонического разрыва. Так, в Рача-Джавской сеймотектонической зоне на Южном склоне Большого Кавказа, проекция выхода очага Рачинского землетрясения 1991 г. с $M=7.1$ на поверхность маркируется линейным тектоническим перекосом вдоль рассеянного фронта надвига, и площадным поднятием в его верхнем крыле. По результатам проведенных здесь исследований было обнаружено большинство типов палеосейсмодислокаций и характерных сейсмогенных форм рельефа. Палеосейсмодислокации представлены в основном оползнями, обвалами и каменными лавинами, в отдельных случаях преграждавшими долины водотоков, создающими подпруды, меняющие русла. Некоторые из них силами подземных толчков были переброшены через долины рек на соседние водоразделы. Сейсмогенный рельеф характеризуется наличием уступов, связанных с палеосейсморазрывами, нарушающими речные террасы, долины рек, конусы выноса, поверхности выравнивания и водоразделы.

Выявленные палеосейсмодислокации охватывают ту же область, которая оказалась поражена вторичными нарушениями в 1991 г. Проведенные исследования позволили локализовать очаг и плейстосейстовую зону современного (1991 г.) и палеоземлетрясений в Рача-Джавской сеймотектонической зоне. Наиболее вероятный возраст предпоследнего сильного землетрясения – примерно 1100–1600 лет назад.

Пример детального изучения сейсмогенных деформаций малых форм рельефа приводится для эпицентральной зоны Сковородинского землетрясения 2011 г. с $M=6.1$. Сразу после события было обнаружено и зафиксировано большое количество систематически расположенных вторичных палеосейсмодислокаций, позволивших оконтурить очаговую зону. Обнаруженные эффекты землетрясения представлены сейсмогравитационными и сеймовибрационными образованиями. К первым относятся

обвалы, камнепады, трещины отседания (отпора), наблюдаемые в местах резкого перегиба склона, и редкие оплывины склонового чехла. К сейсмовибрационным эффектам землетрясения можно отнести в первую очередь следы выбросов, излияния и выдавливания обводнённого песка из трещин на речных косах (грифоны), а также трещины встряхивания на ровных поверхностях, сложенных рыхлыми грунтами. Наблюдаемые здесь деформации очень хорошо соотносятся по своим проявлениям с деформациями, характерными для активного орогена Большого Кавказа, лишь в меньшем масштабе. Собранные макросейсмические данные путем анализа сейсмодислокаций в эпицентральных зонах дают ясное представление о положении эпицентра землетрясения, сопоставимое с его положением по инструментальным данным. Это делает предлагаемый метод перспективным для использования в труднодоступных и малонаселенных районах, а также в регионах с недостаточным покрытием сетью сейсмостанций.

На примере Керченского полуострова показано, что морфология его современных очертаний обусловлена зонами крупных активных разломов. Выяснено, что с зонами этих разломов связаны очаги сильных землетрясений, происходивших на протяжении позднего голоцена. Это обстоятельство показывает надежность морфотектонического подхода при выделении активных тектонических структур в задачах оценки сейсмической опасности.

Аналогичные проявления сейсмические очаги демонстрируют также и в условиях платформенного режима, где происходят более слабые землетрясения. При наличии мощного осадочного чехла, прямые связи между деформациями чехла и фундамента затушеваны. Изучение деформаций опорных геоморфологических уровней позволяет выявить потенциальные очаги умеренных и сильных землетрясений, а палео- и археосейсмологические исследования позволяют верифицировать эту гипотезу и получить независимые данные.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Для дальнейшей разработки темы наиболее перспективным представляется изучение очаговых зон современных сильных землетрясений, как происходящих в настоящее время, так и произошедших в недалёком прошлом. Повторные исследования эпицентральных зон недавних землетрясений, сейсмодислокации которых были детально задокументированы, позволяют проследить эволюцию сейсмогенного рельефа во времени и получить количественные оценки для датирования следов палеоземлетрясений. Развиваемые методические подходы показывают, что деформации рельефа в эпицентральных зонах современных землетрясений имеют как общие закономерные черты, так и свои уникальные особенности, проявленные и в рельефе, что является одной из основных проблем сейсмического прогноза. Поэтому исследование каждого современного сильного землетрясения будет давать и новые методические разработки для прогнозных целей. Прежде всего, необходимо развитие шкалы ESI-2007 на современных аналогах с учетом всего разнообразия природных условий и эффектов землетрясений. Тем не менее, имеющиеся методы позволяют быстро и надежно получать некоторые конкретные выводы о сейсмической опасности, что особенно важно, для труднодоступных, слабоизученных регионов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Белик Ю.Л., Корженков А.М., Куликов А.В., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.Н., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Сейсмогенные деформации в стенах позднесредневековой крепости Ени-Кале в Восточном Крыму. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т.43, № 2. С. 17-35.
2. Корженков А.М., **Ларьков А.С.**, Овсяченко А.Н., Соколова О.Ю. Следы сильных землетрясений в руинах Боспорского города Нимфея // Боспорские исследования. 2018. № 37. С. 111-138.
3. Корженков А.М., Ломакин Д.А., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В., Рогожин Е.А. О следах сильных позднесредневековых землетрясений в комплексе медресе – мечеть Узбека (г. Старый Крым). // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т. 16, № 3. С. 5-28.
4. Корженков А.М., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.Н., Рогожин Е.А., Эмруллаев Ш.А. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов Салачике. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т.43, № 3. С. 30-47.
5. Корженков А.М., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.** Сейсмические деформации в древнем городе Илурате. // Природа. 2016. № 10. с. 30-38.
6. Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Федосеев Н.Ф., **Ларьков А.С.** Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике «Госпиталь», г. Керчь, Крым // Геология и геофизика Юга России. 2019. Том 9, № 1, с. 135-149
7. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатилов А.В., **Ларьков А.С.**, Рогожин Е.А., Сысолин А.И. Следы сильного землетрясения в средневековом городе Фанагория на Таманском полуострове. // Геология и геофизика юга России. 2017б. № 3. С. 78-94.
8. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В., Рогожин Е.А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова по палеосейсмологическим данным. // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 1. С. 89-92.
9. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Масленников А.А., Вакарчук Р.Н., **Ларьков А.С.**, Сысолин А.И. Следы и хронология сильных исторических землетрясений на мысе Зюк в Восточном Крыму. // Физика Земли. 2019. № 4, с. 1-19.
10. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Вакарчук Р.Н., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С., Рогожин Е.А. Геологические и макросейсмические проявления землетрясения 16 октября 2011 г. в Сквородинском районе Амурской области. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т.39, № 4, с. 5-18.
11. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Вакарчук Р.Н., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С., Рогожин Е.А. Геологические и макросейсмические проявления землетрясения 16 октября 2011 г. в Сквородинском районе Амурской области. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т.39, № 4, с. 5-18.
12. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С. Особенности сеймотектоники и древние землетрясения Южной Осетии (часть 1). // Вестник Владикавказского научного центра. 2011. Т. 11, №3.

13. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С. Особенности сеймотектоники и древние землетрясения Южной Осетии (часть 2). // Вестник Владикавказского научного центра. 2011. Т. 11, №4.
14. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С. Позднечетвертичные дислокации и сеймотектоника очага Рачинского землетрясения (Большой Кавказ). // Геотектоника. 2014. № 6. с. 55-76.
15. Овсяченко А.Н., Шварев С.В., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В. Следы сильных землетрясений Керченско-Таманского региона по геологическим данным. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т.42, № 3, с. 33-54.
16. Рогожин Е.А., **Ларьков А.С.**, Дэмбэрэл С., Баттулга Б. Повторяемость сильных землетрясений в зоне активного разлома Ховд на Монгольском Алтае. // Геотектоника. 2013. №5. С. 36-56.
17. Рогожин Е.А., Овсяченко 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. 2014а. № 12. С. 26-39.
18. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Горбатиков А.В., Лутиков А.И., Новиков С.С., Мараханов А.В., Степнова М.Ю., Андреева Н.В., **Ларьков А.С.** Оценка сейсмической опасности г. Калининграда в детальном масштабе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. №4. с. 19-27.
19. Хапаев В.В., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В. Археосейсмологические исследования в древнем городе Херсонесе (Севастополь, Крым). // Геология и геофизика юга России. 2016. № 3. С. 119-128.

Материалы и тезисы докладов:

1. А.М. Корженков, **А.С. Ларьков**, А.В. Мараханов, Е.А. Молев, А.Н. Овсяченко, Е.А. Рогожин, В.А. Хршановский. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров. // Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного Круглого стола 22-25 ноября 2016 года. СПб, 2016. С. 372-381.
2. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С., Родина С.Н. Результаты палеосейсмогеологических исследований в разных геодинамических обстановках Евразии.// Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы III Всероссийского совещания и II Всероссийской молодежной школы по современной геодинамике. 2016, сс. 184-186.
3. Корженков А.М., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В., Рогожин Е.А. Археосейсмологическое исследование древних исторических и археологических памятников в Феодосии, Крым. // В книге: Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тезисы докладов VII Международного симпозиума. К 80-летию со дня рождения выдающегося ученого, основателя и первого директора ИС РАН Ю.А. Трапезникова (18.10.1936 - 13.04.1999). 2017. С. 26-29.
4. Соколова О.Ю., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.**, Мараханов А.В. Переплетение торгово-экономического и природного факторов в судьбе античного города Нимфей // XVIII Боспорские чтения. Боспор Киммерийский и варварский мир в период

античности и средневековья. Торговля: пути-товары-отношения Материалы международной археологической конференции. Редакторы-составители В.Н. Зинько, Е.А. Зинько. 2017. С. 506-516.

5. **Ларьков А.С.**, Овсяченко А.Н., Корженков А.М. Оценка сейсмической опасности Керченско-Таманского региона палеосейсмологическими и археосейсмологическими методами // В книге: Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН Тезисы докладов и программа Конференции. 2017. С. 43.

6. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Вакарчук Р.Н., **Ларьков А.С.**, Новиков С.С., Рогожин Е.А. Сковородинское землетрясение 14 октября 2011 г. с $M_w=6.0$, $I_0=8$: геологические и макросейсмические проявления в ближней зоне // В сборнике: Землетрясения Северной Евразии, 2011 год Обнинск, 2017. С. 418-429.

7. Сысолин А.И., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., **Ларьков А.С.** Результаты изучения Тобечикского разлома (Керченский полуостров, Крым) // В книге: Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН Тезисы докладов и программа Конференции. 2018. С. 78.

8. Корженков А.М., **Ларьков А.С.**, Овсяченко А.Н., Зинько В.Н. Сейсмические деформации на древнем городище Тиритака. // XX Боспорские чтения. Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Основные итоги и перспективы исследований. Материалы международной научной конференции. 2019. С. 313-323.

9. Корженков А.М., **Ларьков А.С.**, Овсяченко А.Н., Зинько В.Н. Следы сильных землетрясений на древнем городище Тиритака. // Боспорские исследования. Вып. XXXVIII. 2019. С. 137-159.

10. Рогожин Е.А., Родина С.Н., Овсяченко А.Н., **Ларьков А.С.** Использование данных радиоуглеродного датирования палеосейсмодислокаций для реконструкции долговременного сейсмического режима сейсмоактивных регионов. // «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений». 24-26 апреля 2019

Подписано в печать 23.01.2020 г.
Формат 64×84/16. Объем 1,0 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. E-mail: serg@tigra-press.ru