

На правах рукописи



АНДРЕЕВ Артём Владимирович

**ВТОРИЧНЫЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ
В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
(НА ПРИМЕРЕ ЮГА СИБИРИ)**

Специальность 25.00.03 – геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Москва – 2014

Работа выполнена в лаборатории тектонофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИЗК СО РАН).

Научный руководитель:

Оксана Викторовна Лунина, кандидат геолого-минералогических наук (ФГБУН ИЗК СО РАН, г. Иркутск).

Официальные оппоненты:

Андрей Михайлович Корженков, доктор геолого-минералогических наук (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва);

Александр Леонидович Стром, кандидат геолого-минералогических наук (ОАО «Институт Гидропроект», г. Москва).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск).

Защита состоится: 28 февраля 2014 г. в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.39 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, ауд. 415.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Научной библиотеки Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, в Отделе диссертаций Фундаментальной библиотеки по адресу: Ломоносовский проспект, 27

Автореферат разослан «_____» декабря 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических
наук, профессор



А.Г. Рябухин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

В настоящее время в мировой практике изучаются не только первичные разрывы, образовавшиеся во время землетрясения, но и вторичные косейсмические деформации, к которым относят сейсмогравитационные трещины, обвалы и оползни, а также инициированные сейсмическими процессами структуры разжижения и флюидизации в рыхлых водонасыщенных четвертичных отложениях, за которыми закрепился термин А. Сейлахера «сейсмиды» [Seilacher, 1969]. В пределах территории юга Сибири рыхлыми осадками перекрыты значительные площади, причем отложения часто водонасыщены и подвержены косейсмическому разжижению.

Возможность неуплотненного осадка под действием вибрации разжижаться и образовывать подобные сейсмидам структуры была доказана экспериментально П. Куененом еще в 1958 г. [Kuennen, 1958]. С тех пор немало зарубежных ученых занималось данной проблемой, о чем свидетельствуют многочисленные публикации [Sims, 1975; Hempton, Dewey, 1983; Vittori et al., 1991; Rodriguez-Pascua et al., 2001; Obermeier et al., 2005; Brustur, Jira, 2007; и мн. др.]. С конца 90-х гг. XX века подобные работы стали появляться и в отечественных изданиях [Бауман, Корженков, 1998; Корженков и др., 1999; Корженков, 2006; Поволоцкая и др., 2004, 2006; Корженков и др., 2007; Деев и др., 2005; 2009, 2012; Николаева, 2009; и др.]. Стоит отметить, что для многих районов нашей страны, в том числе и для юга Сибири, выявление сейсмидов затрудняется наличием подобных по форме структур криогенного происхождения. Таким образом, необходимы анализ накопленного материала по данной тематике и разработка приемов и методов исследования сейсмогенных деформационных структур с апробацией в специфических региональных условиях.

Сейсмическая летопись территории исследований, в целом, характеризуется как неполная. Первые известные сведения о землетрясениях датируются XVII в. Предшествующие палеосейсмогеологические работы, в основном, были направлены на изучение сейсмогенных разрывов, образующихся в результате сильных подземных толчков. Согласно известным статистическим соотношениям, например П. Галли [Galli, 2000], магнитудный порог образования структур разжижения сравнительно ниже, что значительно расширяет возможности наполнения хроники землетрясений.

Комплекс работ, включающий современные тектонофизические подходы, основанные на применении меры и числа, в сочетании с методами структурной геологии и палеосейсмогеологии, видится весьма перспективным с точки зрения оценки распространения и локализации вторичных косейсмических эффектов в геологической среде.

Цель исследований.

Целью диссертационной работы является установление закономерностей проявления и распределения вторичных эффектов от землетрясений в геологической среде, а также их связи с сейсмогенерирующими разломами в пределах юга Сибири и прилегающих территорий.

Задачи и методы исследований.

1. Изучить формы проявления, условия и особенности образования сейсмогенных деформаций в позднекайнозойских отложениях на выделенных эталонных участках Прибайкалья с использованием комплекса геолого-структурных и тектонофизических

методов.

2. Усовершенствовать структуру базы данных по вторичным косейсмическим эффектам с применением реляционной модели введения и отображения их параметров.

3. Осуществить наполнение базы данных опубликованным материалом макросейсмических обследований последствий инструментально зарегистрированных землетрясений, а также информацией собранной во время полевых работ для территории в рамках координат 42° – 62° с.ш. и 80° – 124° в.д.

4. Установить статистические зависимости, связывающие параметры землетрясений и вторичных косейсмических эффектов в геологической среде для территорий юга Сибири (РФ) и Монголии.

5. Выявить связь разрывной тектоники и структур разжижения от землетрясений в сейсмоактивных зонах.

Для решения поставленных в работе задач использовался комплекс геологоструктурных и тектонофизических методов применительно к сейсмогеологическим траншейным исследованиям. Статистический анализ данных выполнен путем построения граничных кривых и установления предельных эмпирических соотношений при помощи современных статистических программных пакетов.

Фактический материал и личный вклад автора.

В основу диссертационной работы положены данные, собранные во время проведения полевых работ в составе структурно-геологического отряда ИЗК СО РАН с 2009 г. по 2013 г. на территории Прибайкалья, обработанные и проинтерпретированные при непосредственном участии автора. Это, прежде всего, материалы документации зачисток и канав, в которых была получена обширная информация о количественных характеристиках сейсмогенных структур. Для установления статистических зависимостей между параметрами инструментальных землетрясений (магнитудой по поверхностным волнам M_S , эпицентральной интенсивностью I_0 по шкале MSK-64, с учетом типа подвижки в очаге) и вызванных ими вторичных косейсмических эффектов (разжижения и флюидизации в грунтах, гидрогеологических аномалий, воронок-провалов, трещин, сейсмогравитационных движений материала, волнообразных колебаний дневной поверхности, нарушений в техногенных сооружениях) самостоятельно отобраны, систематизированы и проанализированы данные, опубликованные в литературе и интерактивных ресурсах, а также хранящиеся в архивных источниках.

Защищаемые положения.

1. На юге Сибири и сопредельной территории более половины вторичных косейсмических эффектов в геологической среде расположены в пределах 20 км от разлома, инициирующего землетрясение. При сравнении случаев разжижения грунта и остальных, изученных в совокупности, вторичных эффектов, первые выявляются на расстоянии, в среднем в 10 раз ближе к сейсмогенерирующему разлому.

2. Образование эффектов разжижения на юге Сибири и сопредельной территории происходит при землетрясениях с магнитудой $M_S \geq 5.2$ и глубиной гипоцентра от 10 до 40 км. Формирующиеся при косейсмическом разжижении кластические дайки пространственно тесно связаны с разрывной тектоникой и являются надежными индикаторами для определения эпицентральных зон доинструментальных землетрясений.

3. При приближении к источнику сейсмических колебаний частота встречаемости и размеры проявления вторичных деформационных структур увеличиваются неравно-

мерно, а местоположение макросейсмического эпицентра доинструментального землетрясения обоснованно определяется на основании анализа совокупности количественных параметров сейсмогенных деформаций с учетом геометрии ассоциируемого разлома.

Научная новизна.

В настоящей диссертационной работе предложены региональные зависимости между параметрами землетрясений и пространственным распределением вызванных ими эффектов в геологической среде. Они основываются на собранном и обобщенном автором обширном материале по последствиям от инструментальных землетрясений, произошедших на территориях южной Сибири (РФ), Монголии и северо-востока Казахстана. Данный материал составляет также наполнение новой реляционной базы данных по вторичным косейсмическим эффектам в геологической среде, которая может быть реализована в интерактивной среде.

Впервые выявлены региональные закономерности в локализации структур косейсмического разжижения грунта относительно всех других сейсмодетформаций и инициирующего разлома с учетом преобладающего типа подвижки вдоль него. В отличие от существующих подобных соотношений для разных районов мира, в работе показано влияние на пространственное распределение эффектов разжижения от сейсмоисточника местных гидрогеологических факторов.

Новыми данными являются детально изученные геолого-структурными и тектонофизическими методами вторичные сейсмогенные дислокации в осадочных отложениях эпицентральных областей Цаганского 12.01.1862 г. и Мондинского 4.04.1950 г. землетрясений. Дана численная характеристика структур разжижения, а также введены новые параметры для оценки интенсивности проявления хрупко-пластических типов сейсмиков.

В диссертационном исследовании обосновано положение эпицентра Цаганского сейсмособытия в точке с наибольшим количеством совпадений максимальных значений параметров всех косейсмических дислокаций. На основании этого предложен новый подход, позволяющий определять макросейсмический эпицентр доинструментального землетрясения.

Практическая значимость.

Предложенные в работе статистические соотношения и подход для реконструкции эпицентра землетрясения могут служить важными инструментами при палеосейсмогеологических исследованиях для оценки параметров сейсмособытий прошлого. Соотношения также будут полезны при инженерно-геологических изысканиях (например, при проектировании сооружений разного рода на определенных расстояниях (R_c) от известных сейсмогенных источников).

Содержащаяся в базе данных по косейсмическим эффектам информация позволяет оценивать пункты, потенциально восприимчивые к разнообразным нарушениям в геологической среде при будущих землетрясениях. Сама база данных является удобным аппаратом для различных сеймотектонических построений.

Практическим следствием комплекса работ, проведенных в эпицентральной области Цаганского землетрясения 12.01.1862 г., служит параметрическая характеристика модели его сейсмогенного источника. В дальнейшем подобные исследования могут быть полезны при обосновании выделения зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ).

Апробация работы и публикации.

Результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на Всероссийском научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 11–14 октября 2009 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» (г. Иркутск, ИрГТУ, 12–14 апреля 2010 г.), Всероссийском симпозиуме с международным участием «Кайнозойский континентальный рифтогенез», посвященном 80-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Логачева (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 7–11 июня 2010 г.), XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 19–24 апреля 2011 г.), XVII Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы сейсмотектоники» (г. Москва, им. О.Ю. Шмидта ИФЗ РАН, 20–22 сентября 2011 г.), European Seismological Commission 33-rd General Assembly (YSTC, Obninsk, 2012, 25–30 August), Всероссийской молодежной школе по современной геодинамике (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 23–29 сентября 2012 г.), Третьей тектонофизической конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле» (г. Москва, им. О.Ю. Шмидта ИФЗ РАН, 8–12 октября 2012 г.), X юбилейном научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 17–20 октября 2012 г.).

Автором самостоятельно и в соавторстве опубликовано 19 научных работ, из них по теме диссертации 18, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных перечнем ВАК Минобрнауки РФ.

Связь работы с научными проектами.

Диссертационная работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты №№ 10-05-00072_a и 12-05-91161-ГФЕН) и Министерства образования и науки РФ (соглашения №№ 8316 и 8357).

Объем и структура работы.

Общий объем диссертации 199 страниц машинописного текста. Работа состоит из введения, 5 глав и заключения, а также 5 приложений на 29 страницах, иллюстрирована 57 рисунками и 6 таблицами. Список литературы (20 страниц) содержит 205 наименований, 70 из которых — публикации в зарубежных изданиях.

Благодарности.

Автор выражает особую признательность своему научному руководителю, кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику ИЗК СО РАН Оксане Викторовне Луниной за постановку темы, за решающую помощь в проведении полевых исследований, за непрерывное внимание к процессу написания работы и обсуждение полученных результатов. Также он искренне благодарен к. г.-м. н. А.С. Гладкову за интересные дискуссии и важные рекомендации при подготовке данной диссертационной работы, а также аспиранту А.А. Гладкову за обзорное знакомство с удивительным миром программирования баз данных. Автор признателен всем сотрудникам лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН за помощь в исследовании и всестороннюю поддержку. За оказанное содействие в сборе макросейсмического материала благодарность адресуется к.г.-м.н. Я.Б. Радзиминовичу. Также за обсуждения и ценные советы автор благодарит д. г.-м.н. В.С. Имаева, к.г.-м.н. В.А. Санькова, д.г.-м.н. К.Г. Леви, д.г.-м.н. А.В. Ключевского, к.г.-м.н. С.Г. Аржанникова.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современное состояние проблемы изучения вторичных косейсмических деформаций в геологической среде

В данной главе приведены общие сведения о тектонических землетрясениях, их основных параметрах, об истории их изучения в пределах юга Сибири. Отмечено, что сейсмическую летопись территории исследований можно охарактеризовать как слабо информативную [Демин, Татьков, 1996], а в ее восполнении широко применяется палеосейсмогеологический метод, разработанный в середине прошлого века сибирскими учеными В.П. Солоненко и Н.А. Флоренсовым. Метод направлен на исследование косейсмических (то есть образованных во время землетрясения) эффектов, упрощенно подразделяющихся на первичные, порожденные тектоническими деформациями, и вторичные, возникшие в результате иных процессов, инициированных подземным толчком [Paleoseismology..., 2009]. Последним в диссертационной работе уделяется особое внимание. Приводится литературный обзор накопленного материала по различным видам сейсмогенных гравитационных деформаций, воронкообразных провалов (просадок) грунта, вторичных разрывных нарушений, а также их использованию в палеосейсмогеологических построениях [Paleoseismology..., 1996; Keefer, 2002; Henon, Агатова, 2008; Henon, Агатова, 2011; Adams, 1981; Хилько и др., 1985; Zellmer et al., 1985; McGill, Rockwell, 1998; Clark, 1972; и мн. др.].

Подробно рассматриваются дислокации, сформированные в результате сейсмически-вызванных процессов разжижения и флюидизации осадочных слоев, или «сейсмиты» (по [Seilacher, 1969]). Обзор и анализ накопленного мирового опыта по данной проблеме [Андреев, 2010] позволяет обобщить ряд наиболее важных выводов: 1) по сравнению с другими вторичными деформациями от землетрясения сейсмиты отличаются хорошей сохранностью и встречены во многих фациальных обстановках [Rodriguez-Pascua et al., 2001; Brustur, Jipa, 2007; Mazumder et al., 2006; Montenat et al., 2007; и др.]; 2) для достоверной идентификации сейсмитов возможно использование критериев, предложенных Дж. Симсом [Sims, 1979], но с учетом особенностей мерзлотных деформаций грунтов, 3) приоритетно выявление в деформированных интервалах структур-индикаторов сейсмического происхождения (инъекционных даек, разрывов со смещениями); 4) наиболее проявленные структуры сейсмически-инициированного разжижения и/или флюидизации следует ожидать вблизи эпицентра [Obermeier et al., 2005]. Многочисленные находки сейсмитов в осадочных отложениях юга Сибири сотрудниками лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН Гладковым А.С. и Луниной О.В. являются основанием для постановки дальнейших исследований в пределах данной территории. [Гладков и др., 2005; Лунина и др., 2009а; Гладков, Лунина, 2009; Гладков, Лунина, 2010]. На начальной стадии полевых работ необходимо изучение голоценовых разрезов на эталонных участках – в эпицентральных зонах землетрясений с известными параметрами, и здесь весьма перспективным является применение тектонофизического подхода. С этой позиции сейсмоактивные разломы рассматриваются как объемные геологические тела с широкой зоной развития разрывов разного масштаба, что, по сути, представляет собой другой взгляд на проблему образования и распределения сейсмитов.

Глава 2. Методы исследований

В главе содержится подробное описание методики исследований, от поэтапного проведения полевых работ до особенностей обработки полученной информации. На этапе предварительной подготовки к полевым работам выделено две стадии: 1) детальная работа с литературными источниками; и 2) работа с картографическими данными. В итоге были намечены места рекогносцировочных маршрутов с целью подтверждения выявленных ранее или отдешифрованных поверхностных сейсмогенных деформаций, а также участки основных исследований.

Этап непосредственно полевых работ включал в себя наземное обследование плейстоценовой зоны землетрясения и изучение в ее пределах разрезов четвертичных отложений в зачистках, шурфах и канавах. В зависимости от характера расчлененности и обнаженности района, подбирались оптимальная сеть исследований. В одном случае это были нерегулярные наблюдения на участках с выраженными в рельефе дислокациями, в другом – выстраиваемые в условно прямые в плане линии-профили, состоящие из нескольких пунктов (точек) геолого-структурных наблюдений, выполнявшихся по схеме, выработанной многолетними тектонофизическими исследованиями [Семинский, 2003; Семинский и др., 2005; и др.]. Определение пространственного положения точки наблюдения, а также трассирование сейсмогенных разрывов выполнялись при помощи GPS-навигатора. Там, где это представлялось возможным, в точках наблюдения делался массовый замер элементов залегания трещин, происхождение которых было проинтерпретировано как тектоническое. Такие трещины отличаются, главным образом, непрерывностью вдоль всего обнажения (разреза), системностью, прямолинейным и закономерным друг относительно друга расположением в пространстве [Рац, Чернышев, 1970; Чернышев, 1984].

Для исследования взаимоотношений деформаций под дневной поверхностью в точках наблюдения применялся ручной метод проходки шурфов, канав и зачисток. Методика и результаты сейсмогеологических траншейных исследований не редко описываются в отечественных и зарубежных публикациях [Имаев и др., 2000; 2013; Смекалин и др., 2007; Смекалин, 2008; Чипизубов и др., 2007; Рогожин, 2012; Кожурин, 2013; Clark, 1972; *Paleoseismology...*, 1996; 2009; и мн.др.]. В ходе документирования выработок особое внимание уделялось литологическим и структурным особенностям. Для различных типов дислокаций разжижения и флюидизации грунтов измерялись элементы залегания, мощности, амплитуды проявления как вверх по разрезу, так и в его ширину. Исследовалась их связь с разрывными нарушениями, с участками лимонитизации, с мерзлотными структурами и между собой. Для установления абсолютного возраста отложений и последующей его корреляции с деформационным событием использовался метод радиоуглеродного датирования. Определение остаточной активности углерода было выполнено в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) к.г.-м.н. Л.А. Орловой. Калибровка возраста ^{14}C производилась с использованием программы «Calib» (версия 6.1.0) [Stuiver, Reimer, 1993], по набору данных для калибровки «IntCal09» [Reimer et al., 2009].

Собранная в ходе полевых работ информация дублировалась в электронном виде, что позволило существенно автоматизировать процессы обработки и визуализации с помощью современных программ. Инструментами анализа статистических данных являлось графическое отображение с построением граничных кривых и установление пре-

дельных эмпирических соотношений при использовании современных программных продуктов. Общие представления об упомянутых статистических методах изложены в ряде учебных пособий [Боярский и др., 1977; Кафаров, 1980; Львовский, 1982; Шестаков, 1988; и др.].

Глава 3. Статистические соотношения между параметрами землетрясений и вторичных косейсмических эффектов в геологической среде

В настоящей главе описана структура базы данных по косейсмическим эффектам (БД КЭ), а также приводятся результаты сейсмостатистических построений, выполненных на основе хранящейся в ней информации. БД КЭ работает в виде приложения картографического программного продукта MapInfo, являясь вторым модулем информационной системы «ActiveTectonics» [Лунина и др., 2012в], интегрирует информацию о последствиях современных, исторических и палеоземлетрясений, и позволяет решать широкий спектр специализированных задач. Было осуществлено наполнение БД КЭ информацией о последствиях инструментально зарегистрированных землетрясений, а также собранной во время полевых работ для территории в рамках координат 42° – 62° с.ш. и 80° – 124° в.д., что охватывает северо-восток Казахстана, Монголию и практически всю южную Сибирь на территории России. Косейсмические эффекты кодированы в БД КЭ согласно разработанной автором классификации по морфолого-генетическим признакам, которая является практичной при работе с большим информационным массивом.

На основании информации БД КЭ сделана выборка по сейсмичности инструментального периода наблюдений, которая состоит из 276 пунктов с вторичными косейсмическими эффектами в геологической среде, вызванными 53 землетрясениями с 1950 г. по 2008 г. 45 пунктов из общего количества представлены случаями разжижения грунта, условием возникновения которых на территории исследования являются магнитуда $M_S \geq 5.2$ и эпицентральная интенсивность $I_0 \geq 6$ –7 баллов (шкала MSK-64), а глубины гипоцентров ассоциируемых сейсмособытий варьируют от 10 до 40 км. На основании выборки данных получены 32 соотношения [Андреев и др., 2012], связывающие параметры землетрясений (магнитуду по поверхностным волнам (M_S) и эпицентральную интенсивность (I_0) в баллах шкалы MSK-64) с предельными расстояниями от эпицентра ($R_{e\max}$), гипоцентра ($R_{h\max}$) и сейсмогенерирующего разлома ($R_{f\max}$) для всей совокупности косейсмических эффектов и отдельно – для эффектов разжижения.

Установлено, что в большинстве случаев вторичные деформации от землетрясения распространяются в пространстве дальше от эпицентра, чем от разлома. Судя по поведению граничных кривых на полученных графиках, эффекты разжижения грунта локализуются в несколько раз ближе к сейсмогенному источнику, чем все остальные эффекты без разделения. В среднем, максимальное расстояние от эпицентра в 2 раза, а от сейсмогенерирующего разлома в 10 раз меньше для проявления процессов косейсмического разжижения, чем для всех эффектов. Более половины всей совокупности эффектов (52 %) и случаев разжижения грунта (71 %) сосредоточены в пределах 20 км от инициирующего разлома, а в пределах 40 км — 78 % и 90 %, соответственно (рис. 1). Такая тесная связь не может быть интерпретирована лишь с позиции значительной протяженности сместителей сейсмогенерирующих дизъюнктивных нарушений в плане, от которых производились измерения расстояния до пунктов с косейсмическими эффектами. Согласно тектонофизическим представлениям, крупные разломы имеют широкие облас-

ти динамического влияния, отличающиеся повышенной нарушенностью горных пород (по [Шерман и др., 1983; Шерман и др., 1985]). В пределах таких областей, очевидно, преобладают участки с высокой проницаемостью геологической среды, что тем самым создает благоприятные условия для образования и локализации косейсмических эффектов разжижения грунта.

Подвижки в очагах землетрясений на территории исследования представлены практически всеми известными типами. Общее количество пунктов с косейсмическими эффектами в выборке по известному фокальному механизму землетрясения составило 239 случаев, 18 % из которых – случаи разжижения грунта. За исследованный временной интервал преобладающие сдвиговые смещения в очагах землетрясений вызвали более половины (60 %) всех косейсмических эффектов и 93 % случаев разжижения, сбросовые – 36 % и 7 % соответственно, а взбросовые – 4 % от всех эффектов и ни одного случая разжижения грунта. Отмечено, что эффекты разжижения пространственно тяготеют, в среднем, в 3,7 раза ближе к сейсмогенерирующему разлому при доминировании вдоль него сдвиговых подвижек, чем все остальные косейсмические эффекты. Кроме того, по имеющейся выборке данных не отмечено существенного влияния глубины гипоцентра и фокального механизма очага землетрясения в совокупности на образование эффектов разжижения.

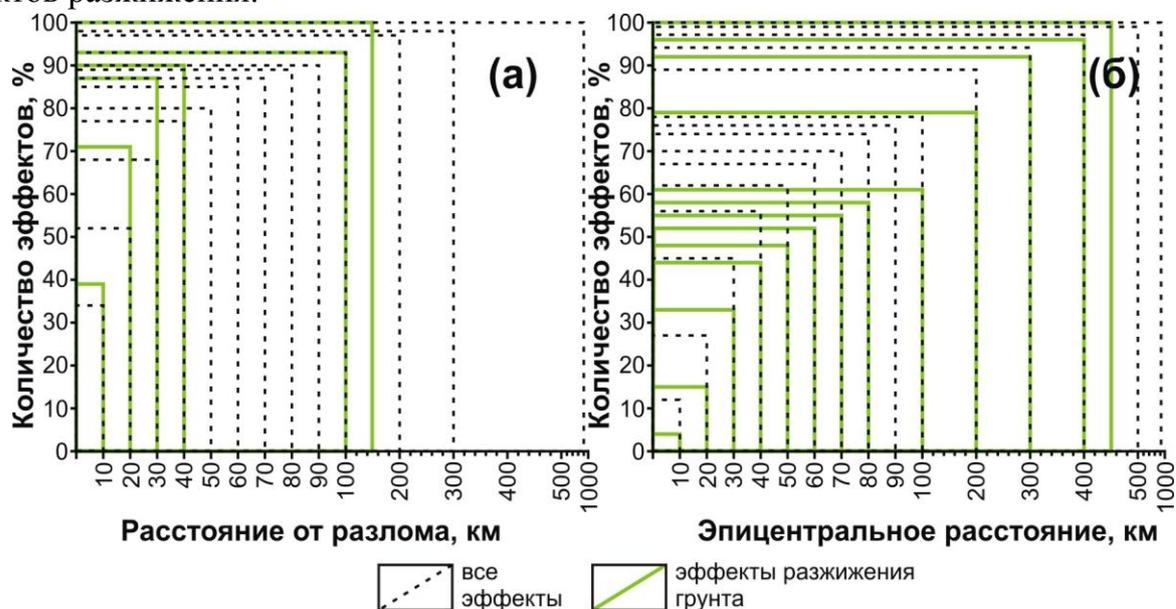


Рис. 1. Пространственное распределение вторичных косейсмических эффектов в процентном соотношении на удалении от сейсмогенерирующего разлома (а) и от эпицентра землетрясения (б)

Установлено, что два предложенных соотношения (рис. 2, кривые под № 1) увеличивают предельные эпицентральные (гипоцентральные) расстояния для проявления косейсмических процессов разжижения при $5.2 (5.3) \leq M_S \leq 8.1 (7.8)$, в сравнении с соответствующими зависимостями для других регионов мира. Основанием этому является пространственное распределение эффектов во время Олекминского землетрясения 14.09.1958 г. ($M_S = 6.5$). Тогда в 180 км от его эпицентра образовался грифон высотой до 25 м [Живая тектоника..., 1966]. Предполагается, что это связано с гидрогеологическими особенностями района. Так, при отсутствии вышеописанного пункта в выборке параметров, получаемые кривые (под № 2 на рис. 2, а, б) уже не являются лимитирующими

ми для распространения рассматриваемого косейсмического процесса. Напротив, соотношение M_S и максимального расстояния от сейсмогенерирующего разлома (см. рис. 2, в) демонстрирует наибольшую приуроченность к инициирующему дизъюнктивному нарушению.

Таким образом, в главе подтверждается закономерность в распространении в пределах областей динамического влияния сейсмогенерирующих разломов большинства косейсмических эффектов, в том числе и эффектов разжижения грунта. Для последних прочность такой пространственной связи выше, чем для других территорий мира, что обусловлено, очевидно, влиянием региональных геологических особенностей юга Сибири и Монголии.

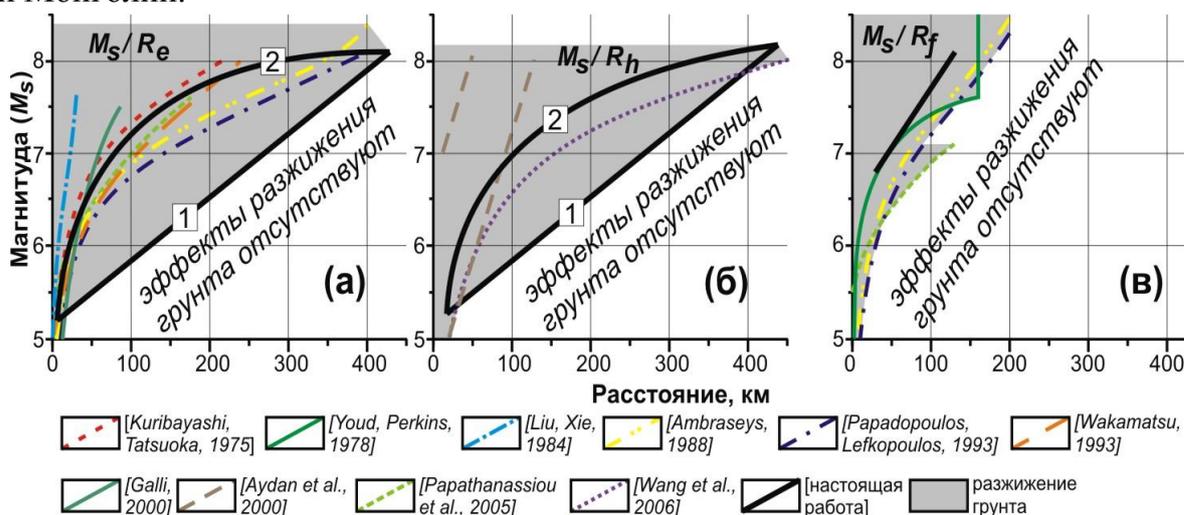


Рис. 2. Сопоставление предложенных граничных кривых соотношений магнитуды землетрясения M_S и максимальных расстояний от эпицентра R_e , км (а), от гипоцентра R_h , км (б) и от сейсмогенерирующего разлома R_f , км (в) для разных регионов мира.

Остальные пояснения см. в тексте

Глава 4. Результаты исследований вторичных сейсмогенных деформаций в эпицентральных областях сильных землетрясений Прибайкалья

В качестве эталонных полигонов для отработки региональных геолого-структурных критериев выделения сейсмогенных структур в рыхлых и слабосцементированных четвертичных отложениях были выбраны плейстосейстовые области сильных землетрясений Прибайкальского региона — исторического Цаганского 12.01.1862 г. ($M \sim 7,5$) и инструментально зарегистрированного Мондинского 4.04.1950 г. ($M = 7,0$).

Сейсмогенные структуры в рыхлых отложениях эпицентральной зоны Цаганского землетрясения 1862 г. В результате полевых исследований в данном районе на сегментах с. Красный Яр – с. Заречье и с. Кудара – с. Шергино были созданы два геолого-структурных профиля (рис. 3), в пределах которых канавами и зачистками изучены 32 разреза четвертичных отложений. Большинство задокументированных в них деформаций разжижения проинтерпретированы как сейсмита, поскольку подобны структурам, описанным в работе [Montenat et al., 2007], распространены в сейсмоактивном районе на значительной территории и в осадках разного литологического состава, тяготеют к разноранговым дизъюнктивным нарушениям, что, в общем, соответствует критериям Д. Симса [1975].

Преобладающая часть сейсмита уверенно ассоциируются с Цаганским землетря-

сением [Андреев, Лунина, 2010]. Они локализируются в позднеголоценовых отложениях (калиброванный ^{14}C возраст нарушенных сейсмитами гумусированных слоев составляет от 1543–1925 лет cal BP до 529–655 лет cal BP), в местах, где были описаны поверхностные эффекты разжижения и флюидизации, образовавшиеся во время подземного толчка 1862 г. [Фитингоф, 1865; Демин, 2005]. Также установлено, что сейсмогенерирующей структурой являлся Дельтовый разлом. Во время Цаганского землетрясения смещение вдоль него реализовалось в условиях СЗ–ЮВ растяжения путем формирования ступенчатой системы сбросов с преимущественным падением $300\text{--}350^\circ \angle 45\text{--}75^\circ$ [Лунина и др., 2012a]. Суммарная вертикальная амплитуда по полевым данным составила 2,83 м. Стоит отметить, что в пределах некоторых изученных разрезов структуры разжижения грунта отчетливо «обособляются» в деформационные интервалы, «разделяемые» недеформированными участками, что еще раз доказывает сейсмогенное происхождение таких структур (согласно [Sims, 1975]).

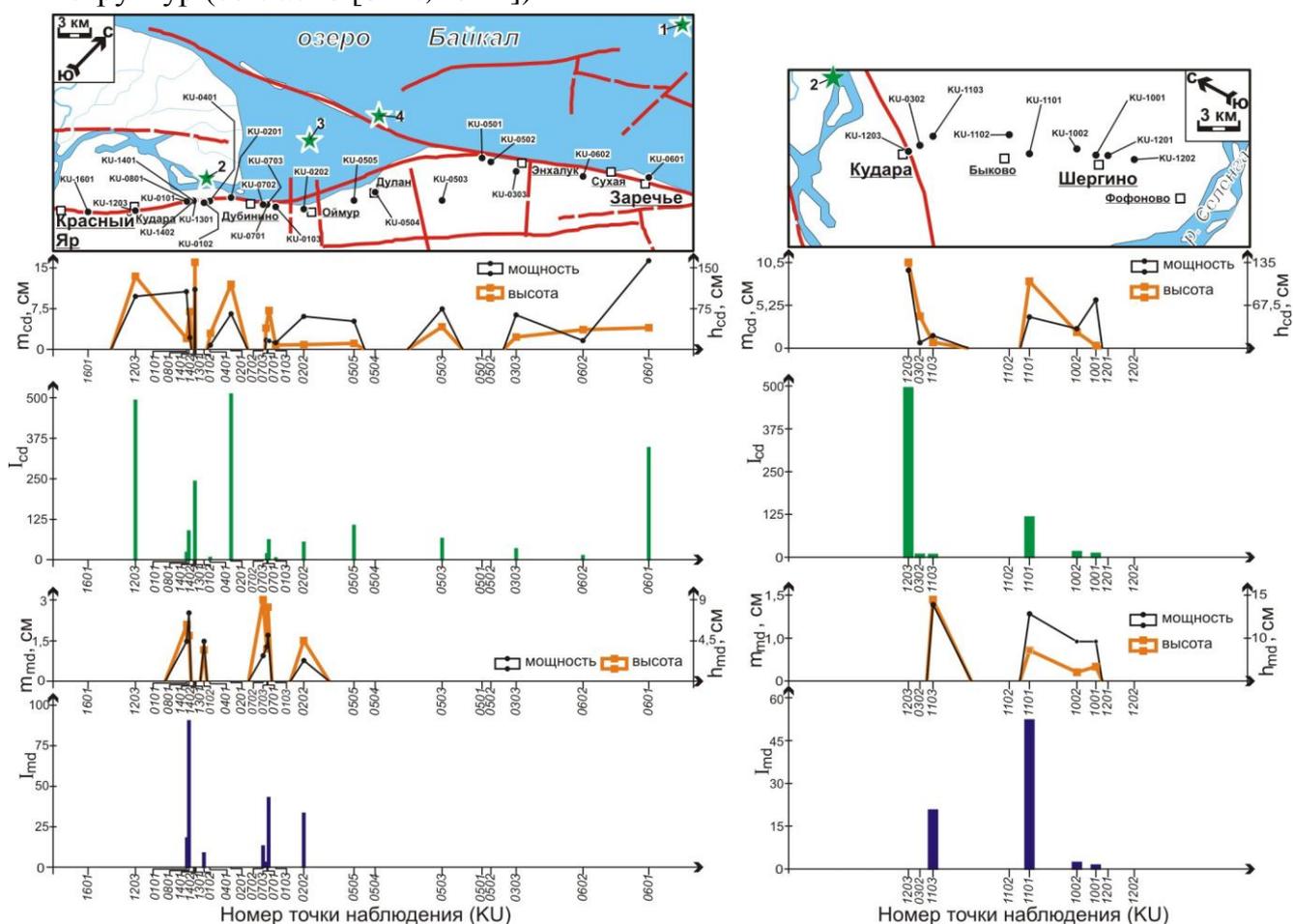


Рис. 3. Распределение параметров хрупко-пластических деформаций сейсмогенного генезиса вдоль профилей «Красный Яр – Заречье» (слева) и «Кудара – Шергино» (справа).

m_{cd} , см — средняя мощность кластических даек; h_{cd} , см — средняя высота кластических даек; I_{cd} — средний индекс интенсивности проявления кластических даек; m_{md} — средняя мощность микродаек; h_{md} , см — средняя высота микродаек; I_{md} — средний индекс интенсивности проявления микродаек. Условные обозначения см. на рис. 6.

Были предложены средние индексы (I) интенсивности проявления сейсмиков хрупко-пластического типа. Они позволяют учитывать количество, мощность и высоту (глубину) проникновения микро- и кластических даек в детально изученных разрезах оса-

дочных отложений и адекватно оценивать масштабы развития данных структур разжижения на большой площади. Кроме того, было установлено, что сейсмогенные кластические дайки распределяются в пространстве неравномерно, а на приближении к ассоциируемому источнику сейсмических колебаний увеличивается их интенсивность проявления (см. рис. 3).

Вторичные косейсмические дислокации в эпицентральной области Мондинского землетрясения 4.04.1950 г. В ходе полевых исследований на дневной поверхности и канавами были детально изучены участки развития Булухтинской (Горхонской) и Мондинской (Главной) систем деформаций, описанные в [Тресков, Флоренсов, 2006; Сейсмогеология..., 1981], а также участок между ними, названный Промежуточным. Дешифрирование спутникового снимка в интерактивной среде Google Earth позволило выделить разрывные нарушения разного иерархического уровня на еще большей территории. На основании проведенных исследований, а также при использовании представленных ранее материалов, была составлена структурная схема эпицентральной зоны Мондинского землетрясения (рис. 4).

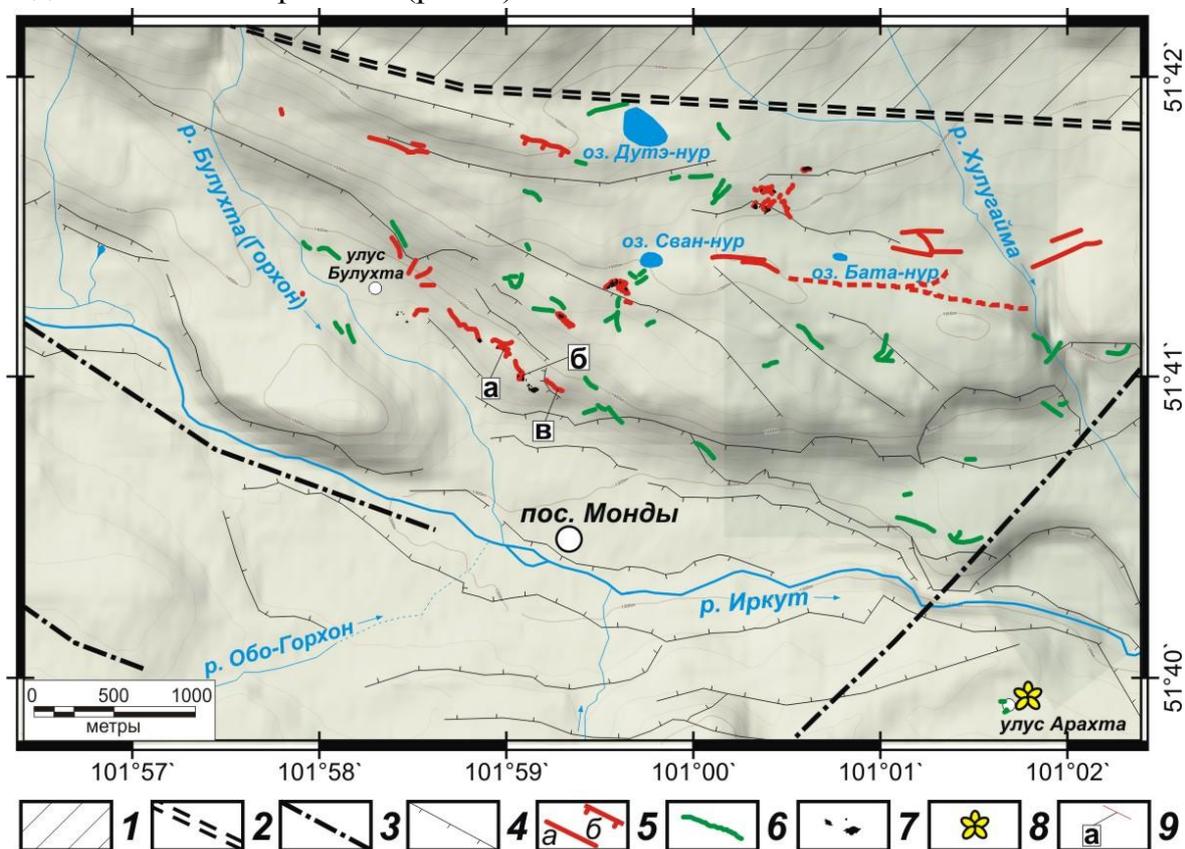


Рис. 4. Структурная схема эпицентральной области Мондинского землетрясения 4.04.1950 г. ($M = 7,0$) на объемной модели рельефа.

При составлении схемы использованы материалы работ: [Тресков, Флоренсов, 2006; Сейсмогеология..., 1981; Arjannikova et al., 2004; Лунина и др., 2010]. Условные обозначения. 1 – область поднятия докайнозойского фундамента (по [Сейсмогеология..., 1981]); 2 – Мондинский разлом (по [Лунина и др., 2010]); 3 – кайнозойские разломы (по [Сейсмогеология..., 1981; Лунина и др., 2010]); 4 – уступы террасовидных возвышенностей (по [Сейсмогеология..., 1981; Arjannikova et al., 2004]); 5 – сейсмогенные разрывы (а) и сбросовый уступ (б), достоверно установленные; 6 – сейсмогенные разрывы предполагаемые, выявленные при дешифрировании спутниковых снимков; 7 – провальные воронки; 8 – место возникновения трех источников во время землетрясения (по [Тресков, Флоренсов, 2006]); 9 – места проведения траншейных исследований в точках наблюдения: М-0601 (а), М-0502 (б) и М-0301 (в). Изолинии рельефа проведены через 20 м

По результатам анализа полученного материала были сформулированы следующие основные выводы:

1) Во время Мондинского землетрясения 4.04.1950 г. на северных склонах одноименной впадины образовалась система сеймотектонических дислокаций, секущая террасированный рельеф. Прерывистые разноранговые сейсморазрывы вытянулись на не менее чем 5,4 км в ЗСЗ–ВЮВ направлении согласно простиранию Мондинского разлома, и, в целом, отражая внутреннюю структуру его южного крыла (см. рис. 4).

2) В ходе изучения разрезов рыхлых и слабосцементированных отложений в пройденных канавах установлено, что вдоль разрывов реализовались сдвиговые (преимущественно левосторонние), сбросовые, а также взбросовые подвижки, инициировавшие формирование вторичных сейсмогенных структур [Лунина и др., 2012б].

3) В валунно-галечных сезонно-мерзлых отложениях района образовалось широкое многообразие сейсмита, что было связано, в том числе, и с вариациями уровня грунтовых вод во время землетрясения. Из них формирование большинства кластических даек было сопряжено с возникновением сейсмогенных разрывов разных масштабных уровней.

4) Воронки-провалы в эпицентральной зоне Мондинского землетрясения инициированы сейсмическими колебаниями. Интенсивность и густота их проявления в целом постепенно и неравномерно уменьшается на удалении от ассоциируемого источника сейсмических колебаний (рис. 5). Влияние на дальнейшее развитие провальных структур оказывают характер рельефа территории и экзогенные процессы.

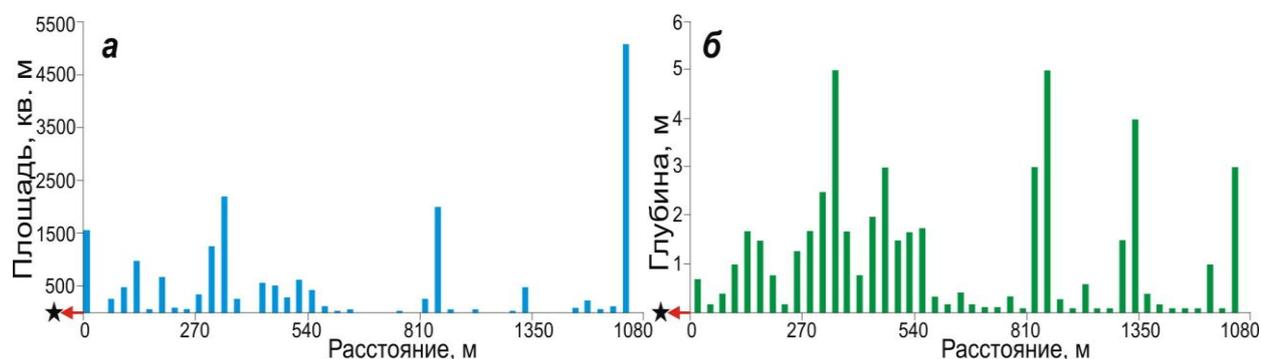


Рис. 5. Гистограммы распределения воронок-провалов на удалении от эпицентра Мондинского землетрясения 1950 г.: *а* — по максимальной площади (m^2); *б* — по максимальной глубине (м).

Измерения расстояний производились от условно центральной точки ближайшей к инструментальному эпицентру (по данным БФ ГС СО РАН) воронки-провала. На графиках эпицентр землетрясения отмечен звездочкой.

Глава 5. Возможности практического применения количественных данных по вторичным косейсмическим эффектам в геологической среде

В данной главе изложены методические подходы к восстановлению эпицентра (здесь и далее речь идет о макросейсмическом эпицентре) и параметризации индивидуального геолого-геофизического сейсмогенного источника (далее – ИГГСИ) для Цаганского землетрясения 1862 г. Возможность таких вычислений обусловлена проведенным анализом и интерпретацией фактического материала, базирующимся на комплексе наших детальнейших сейсмогеологических, геолого-структурных и тектонофизических работ

по картированию сейсмогенных деформаций.

С целью реконструкции местоположения эпицентра Цаганского землетрясения были использованы 13 параметров вторичных деформационных сейсмоструктур (дизъюнктивных нарушений и сейсмогенных осадочных даек), в том числе предложенных индексов интенсивности проявления сейсмиков хрупко-пластического типа [Андреев, Лунина, 2011]. Для сопоставления указанных характеристик между собой использовалась величина «SUM_{spp}» [Лунина и др., 2011], представляющая собой сумму значимых пиков всех проанализированных параметров (введено сокращение от англ. «The sum of significant parameter peaks»). Пиками или максимумами каждого параметра считались значения, большие их среднеарифметических значений в пределах изученной площади (см. рис. 3). Далее на плане с шагом через единицу были построены изолинии величины SUM_{spp} (рис. 6), один из выделившихся максимумов которой обоснованно ассоциируется с Цаганским землетрясением.

Уточнение положения эпицентра основывалось на его связи с сейсмогенерирующим Дельтовым разломом. Согласно замерам трещиноватости в разрезе сейсмогенного уступа средний угол падения Дельтового разлома составляет 60°. Поскольку глубина гипоцентра Цаганского землетрясения не известна, она принята равной 15 км, то есть средней глубине возникновения землетрясений для Байкальской рифтовой зоны (по [Гилева и др., 2000]). Путем несложных построений в едином масштабе определена ширина по среднему падению разлома до принятого гипоцентра — 17,3 км. Проекция точки с отмеченной глубины на дневную поверхность будет располагаться в 8,7 км от основного сместителя. Наконец, полученное расстояние было вынесено на план от центральной части области с максимальной интенсивностью проявлений косейсмических деформаций на линии Дельтового разлома по среднему азимуту его падения. Тогда, на удалении 8,7 км от его магистрального сместителя точка, являющаяся эпицентром, будет иметь следующие координаты в десятичных градусах: 52,35° с.ш. и 106,67° в.д. (см. рис. 6).

Совокупность данных, полученных нами [Андреев и др., 2011] и опубликованных другими исследователями, позволила охарактеризовать параметры модели ИГГСИ, генерирующего землетрясения, подобные Цаганскому 12.01.1862 г. Так, длина первичной (истинной) сейсмодислокации от рассматриваемого сейсмособытия оценена в 30 км, что эквивалентно отрезку Дельтового разлома от мыса Облом до с. Кудара, а вертикальная амплитуда сброса — в 8 м [New catalog..., 1982], что является максимальным значением единичной подвижки для модели. Магнитуда сейсмособытия была рассчитана по уравнениям регрессий для сбросов, развивающихся в условиях растяжения [Лунина, 2002], и была принята равной 7.4. Близкие значения магнитуд получены и по другим подобным соотношениям для сбросов, представленным в работах [Wells, Coppersmith, 1994; Стром, Никонов, 1997; Чипизубов, 1998] Остальные параметры ИГГСИ, указанные в табл. 1, были рассмотрены выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения настоящего исследования автором собраны и систематизированы макросейсмические сведения о последствиях инструментальных землетрясений, зарегистрированных на территориях южной Сибири в России, Монголии и северо-восточной части Казахстана. В результате сейсмостатистических построений, базирующихся на этих данных, были предложены региональные соотношения между некоторыми параметрами сейсмособытий и вызванных ими вторичных косейсмических эффектов

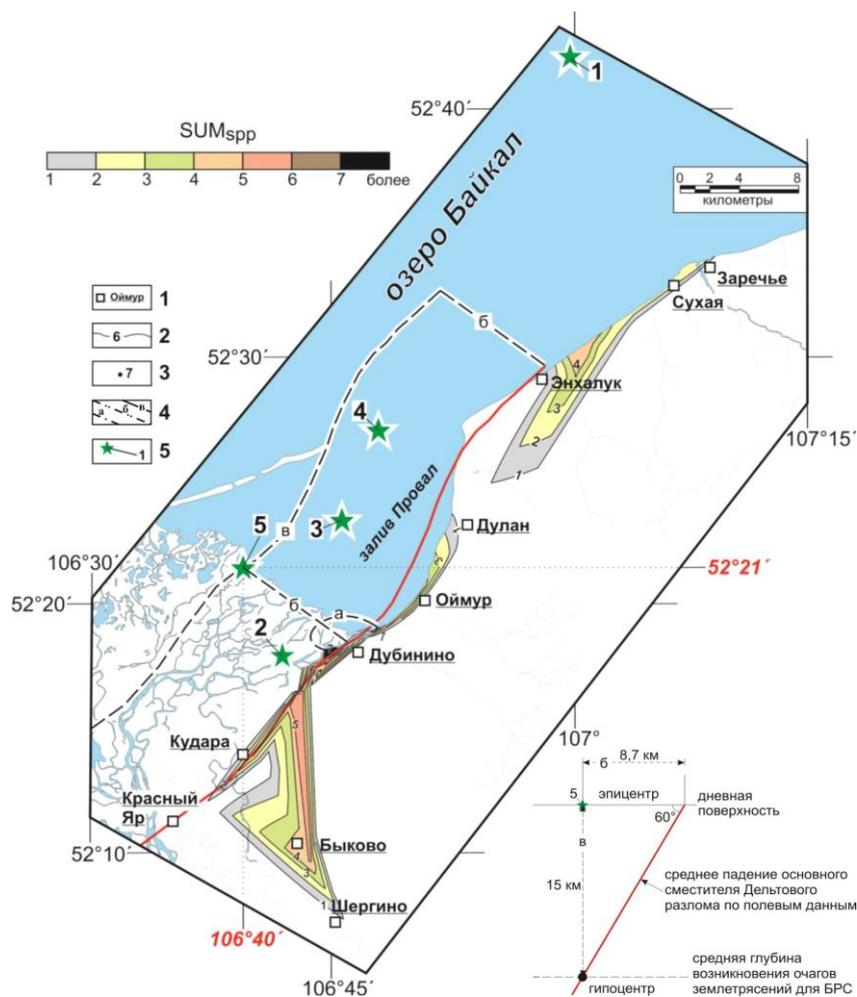


Рис. 6. Восстановление местоположения макросейсмического эпицентра Цаганского землетрясения 1862 г. на основе распределения параметра SUM_{spp} для косейсмических эффектов в рыхлых отложениях с учетом угла падения плоскости сейсмогенерирующего разлома и средней глубины землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.

В правом нижнем углу продемонстрирована реконструкция местоположения гипоцентра. Условные обозначения: 1 — населенный пункт; 2 — изолинии параметра SUM_{spp} ; 3 — точки наблюдения с максимумами SUM_{spp} ; 4 — область с максимальной интенсивностью проявления косейсмических деформаций в грунтах (а), направление среднего азимута падения Дельтового разлома (б) и проекция Дельтового разлома с глубины 15 км при среднем угле падения 60° ; 5 — инструментальный эпицентр Среднебайкальского землетрясения 29.08.1959 г. по данным БФ ГС СО РАН (1) и макросейсмический эпицентр Цаганского землетрясения 12.01.1862 г. по данным: БФ ГС СО РАН (2), [New Catalog., 1982] (3), [Голенецкий, 1996] (4), представленным в настоящей работе (5)

в геологической среде. В работе демонстрируется, что на пространственное распределение структур сейсмогенного разжижения грунта, главным образом, влияет магнитуда землетрясения, начиная с $M_S = 5.2$ и выше, и гидрогеологические особенности территории исследования.

В региональном плане прослежена тесная пространственная связь вторичных косейсмических эффектов с ассоциируемыми дизъюнктивными нарушениями, и, следовательно, областями динамического влияния последних. Причем для структур разжижения такая связь в среднем в 10 раз выше, и уже 71 % из них локализируются в пределах 20

км от сейсмогенерирующего разлома. Кроме того, важно, что в ходе анализа данных не отмечено существенного влияния глубины гипоцентров коровых землетрясений на образование косейсмических эффектов разжижения.

Таблица 1. Параметры модели индивидуального геолого-геофизического сейсмогенного источника на сегменте Дельтового разлома «с. Кудара – мыс Облом»

Параметр	Значение
Длина (м)	30000
Ширина по падению (м)	17300
Максимальная глубина (м)	15000
Минимальная глубина (м)	0
Средний азимут простирания (градусы)	55
Средний азимут падения (градусы)	325
Средний угол падения (градусы)	60
Кинематический тип	сброс
Максимальная амплитуда единичной подвижки (м)	8
Максимальная магнитуда единичного сейсмического события M_S	7,4

Необходимо подчеркнуть, что в настоящей работе продемонстрированы возможности адаптации стандартных геолого-структурных и тектонофизических наблюдений к палеосейсмогеологическим траншейным исследованиям. На основании такого комплексного подхода детально изучены и охарактеризованы деформационные структуры в эпицентральных областях Цаганского 12.01.1862 г. и Мондинского 4.04.1950 г. землетрясений, с обоснованием их сейсмогенного происхождения. Особое внимание было уделено разрывным нарушениям, сейсмитам и воронкам-провалам грунта. В ходе совокупного анализа данных установлено, что хрупко-пластические разновидности структур разжижения и провальные воронки распределяются в пространстве неравномерно, а с приближением к ассоциируемому источнику сейсмических колебаний постепенно увеличивается их плотность и интенсивность проявления.

Важными практическими следствиями проведенного исследования можно считать представленные методику реконструкции местоположения макросейсмического эпицентра землетрясения доинструментального периода наблюдений и вычисление параметров модели сейсмогенного источника. В целом, они основываются на выявленных закономерностях распределения деформационных структур, как в осадочных разрезах, так и в плане и, вместе с тем, на геометрии инициирующего разлома. Реализация методики в диссертационной работе продемонстрирована на примере катастрофического Цаганского землетрясения.

Таким образом, в настоящей работе прослежены некоторые закономерности формирования и пространственного распределения косейсмических эффектов на разных масштабных уровнях. В будущем автор предусматривает продолжение исследований в изучении вторичных деформационных сейсмоструктур в осадочных отложениях разных регионов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, включенных в «Перечень...» ВАК Минобрнауки РФ

1. Лунина О.В., **Андреев А.В.**, Гладков А.С. Локализация эпицентра землетрясения доинструментального периода на основе количественного анализа косейсмических деформаций в рыхлых отложениях // Доклады Академии Наук, 2011, т. 438, № 4, с. 543–549.
2. Лунина О.В., **Андреев А.В.**, Гладков А.С. По следам Цаганского землетрясения 1862 г. на Байкале: результаты исследования вторичных косейсмических деформаций в рыхлых осадках // Геология и геофизика, 2012а, т. 53, № 6, с. 775–790.
3. **Андреев А.В.**, Лунина О.В. Параметры землетрясений и пространственное распределение косейсмических эффектов на юге Сибири и Монголии // Вопросы инженерной сейсмологии, 2012, т. 39, № 2, с. 37–68.

Статьи и тезисы в других изданиях

4. Лунина О.В., Гладков А.С., **Андреев А.В.** Вторичные косейсмические деформации в четвертичных отложениях района дельты р. Селенги (Байкальская рифтовая зона) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 7. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – В 2-х томах. – Т. 1, с. 179–181.
5. **Андреев А.В.** Сейсмогенные деформации в осадочных отложениях плейстоценовых областей прошлого: обзор представлений и методов изучения // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: Материалы Всерос. науч.-техн. конференции «Геонауки», посвященной 80-летию факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии. Вып. 10. – Иркутск: ИрГТУ, 2010, с. 97–101.
6. **Андреев А.В.**, Лунина О.В. Доказательства сейсмогенной природы деформационных структур в голоценовых отложениях Селенгинской и Оймур-Энхалукской впадин Байкальской рифтовой зоны // Кайнозойский континентальный рифтогенез: Материалы Всерос. симпозиума с международным участием, посвященного памяти Н.А. Логачева в связи с 80-летием со дня рождения / Под редакцией Е.В. Складорова, С.В. Рассказова. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. – В 2-х томах. – Т. 1. – С. 43-46.
7. Гладков А.С., Лунина О.В., **Андреев А.В.** Разрывные нарушения и сейсмичность в центральной части Тункинской рифтовой впадины // Кайнозойский континентальный рифтогенез: Материалы Всерос. симпозиума с международным участием, посвященного памяти Н.А. Логачева в связи с 80-летием со дня рождения / Под редакцией Е.В. Складорова, С.В. Рассказова. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. – В 2-х томах. – Т. 1. – С. 95–97.
8. **Андреев А.В.** Разрывные деформации, поля напряжений и сейсмичность в плейстоценовой области Цаганского землетрясения 1862 г. (Прибайкалье) // Электронный сборник тезисов Пятой Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск, 2010. – 1 CD-ROM. – Загл. с диска. – Системные требования: Adobe Acrobat Reader [сайт]. URL: http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik_2010/05_regional/575.pdf
9. **Андреев А.В.**, Лунина О.В. Анализ параметров косейсмических деформаций в эпицентральной зоне катастрофического Цаганского землетрясения 1862 г. // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции (Иркутск, 19-24 апреля 2011 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2011, с. 20–22.
10. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Гладков А.С., Лунина О.В., Кононов А.М., **Ан-**

дреев А.В. Криогенные и сейсмогенные деформации в позднекайнозойских отложениях Тункинской впадины Байкальской рифтовой зоны // Материалы IV конф. геокриологов России (МГУ, 7-9 июня 2011 г). – М.: Университетская книга, 2011, т. 2, с. 272–278.

11. **Андреев А.В.**, Лунина О.В., Гладков А.С. Оценка параметров сейсмогенного источника Цаганского землетрясения 1862 г. по результатам изучения косейсмических деформаций в рыхлых отложениях (Байкальская рифтовая зона) // Проблемы сейсмогеотектоники: Материалы XVII Международной конференции 20-24 сентября 2011 года / Под ред. акад. А.О. Глико, д.г.-м.н. Е.А. Рогожина, д.г.-м.н. Ю.К. Щукина, к.г.-м.н. Л.И. Надежка. – Москва, 2011, с. 91–94 (на CD-диске).

12. Лунина О.В., **Андреев А.В.**, Гладков А.С. Оценка интенсивности проявления косейсмических деформаций в рыхлых осадках для локализации эпицентра землетрясения доинструментального периода // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции, 12–15 сентября 2011, г. Хабаровск / отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2011, с. 391–393.

13. **Andreev A.V.**, Lunina O.V. Relationships between earthquake parameters and spatial distribution of associated liquefactions in the South of Siberia and Mongolia // Book of abstract 33-rd General Assembly of the European Seismological Commission (YSTC 2012), 25 – 30 August 2012, Obninsk. – М., РН “Poligrafikwik”, 2012, p. 429.

14. **Андреев А.В.**, Лунина О.В. Закономерности распределения вторичных косейсмических эффектов относительно сейсмогенерирующего разлома (для Монголии и юга Сибири) // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике (г. Иркутск, 23–29 сентября 2012 г.). – В 2-х т. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012, т. 1, с. 76–79.

15. Лунина О.В., **Андреев А.В.**, Гладков А.А. Косейсмические эффекты в природной среде: новый подход к организации данных для их анализа и визуализации // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике (г. Иркутск, 23–29 сентября 2012 г.). – В 2-х т. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012, т. 2, с. 42–44.

16. Лунина О.В., Гладков А.С., **Андреев А.В.**, Гладков А.А. Тектонофизическое изучение косейсмических эффектов в природной среде // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Тезисы докладов Всероссийской конференции. – В 2-х томах. Т. 2. — М.: ИФЗ, 2012, с. 130–133.

17. **Андреев А.В.**, Лунина О.В. Соотношения между параметрами землетрясений и максимальными расстояниями от эпицентра, гипоцентра и разлома до места локализации косейсмических эффектов для юга Сибири и Монголии // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Тезисы докладов Всероссийской конференции – в 2-х томах. Т. 2. – М.: ИФЗ, 2012, с. 85–88.

18. Лунина О.В., **Андреев А.В.**, Гладков А.С., Кузьмин И.В. Характеристика сейсмогенных деформаций Мондинского землетрясения 4.04.1950 г. (юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны): новые данные // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 10. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012б. – В 2-х томах. – Т. 1, с. 162–164.

Андреев Артём Владимирович
Вторичные косейсмические деформации в геологической среде:
тектонифизический анализ (на примере юга Сибири).
Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата геол.-мин. наук.
Подписано в печать 13.12.2013. Заказ № 1020
Формат 60×90/16. Объем 1,2 усл. печ. л. Тираж 150 экз.

Отпечатано в типографии: ИЗК СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128