

УТВЕРЖДАЮ



Директор ФГБУН ИЗК СО РАН

Член-корр., д.г.-м.н.

Д.П. Гладкочуб

«20» сентября 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН)

Диссертация «СТРОЕНИЕ ЗОН СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И ИХ ПАРАМЕТРЫ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ» выполнена в лаборатории тектонофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

В период подготовки диссертации Денисенко Иван Александрович работал в Федеральном государственном учреждении науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) в должности старшего лаборанта (с 2014 по 2020 г.), младшего научного сотрудника (с 2020 г. по настоящее время) лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН.

В 2017 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» с присуждением квалификации «Горный инженер» по специальности «130302 Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания».

В 2020 г. окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном учреждении науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) по специальности 25.00.03 – «геодинамика и геотектоника».

Документы о сдаче кандидатских экзаменов выданы Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Иркутским научным центром Сибирского отделения Российской академии наук (ИНЦ СО РАН) по предметам «история и философия науки», «английский язык» в 2018 г. и

Федеральным государственным учреждением науки Институтом земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) по предмету «геотектоника и геодинамика» в 2020 г.

Научный руководитель – доктор геол.-мин. наук Лунина Оксана Викторовна, работает в должности ведущего научного сотрудника лаборатории тектонофизики Федерального государственного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН.

ПРИСУТСТВОВАЛИ (в очной и дистанционной форме):

- члены Секции геофизики и современной геодинамики: *доктора геол.-мин. наук:* О.В. Лунина, В.И. Мельникова, В.В. Ружич, К.Ж. Семинский, А.В. Поспеев, В.И. Джурик; *кандидаты геол.-мин. наук:* С.Г. Аржанников, С.А. Борняков, Е.В. Брыжак, А.А. Гладков, А.В. Лухнев, В.А. Саньков, А.В. Черемных, В.В. Чечельницкий; *кандидаты физ.-мат. наук:* А.А. Добрынина;
- приглашенные сотрудники ИЗК СО РАН: *кандидаты геол.-мин. наук* А.А. Бобров, Ю.П. Бурзунова, С.В. Ашурков, А.В. Аржанникова, А.К. Семинский; *вед. инженеры* Л.М. Бызов, А.А. Каримова, А.В. Саньков.

Заслушали: доклад И.А. Денисенко «СТРОЕНИЕ ЗОН СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И ИХ ПАРАМЕТРЫ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ» по теме диссертации.

Вопросы задавали (всего – 27 вопросов): к.г.-м.н. А.В. Аржанникова, к.г.-м.н. В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н. С.Г. Аржанников, к.г.-м.н. С.А. Борняков, д.г.-м.н. В.В. Ружич, к.г.-м.н. В.А. Саньков, к.г.-м.н. А.В. Черемных, д.г.-м.н. К.Ж. Семинский.

Был заслушан:

- отзыв научного руководителя доктора геол.-мин. наук О.В. Луниной.

Были заслушаны следующие сопровождающие документы:

- выписка из протокола семинара лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН от 12.02.2021 г.;

- протокол №158 дистанционного заседания научного семинара «Современные проблемы геофизики» Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова от 13.04.2021 г.;

- краткая рецензия кандидата геол.-мин. наук, доцента кафедры сейсмологии и геоакустики геологического факультета МГУ А.В. Старовойтова.

Выступления специалистов, ознакомившихся с работой до заседания:

- д.г.-м.н. В.В. Ружич (ИЗК СО РАН);

- к.г.-м.н. В.А. Саньков (ИЗК СО РАН).

В обсуждении приняли участие: к.г.-м.н. С.А. Борняков, к.г.-м.н. В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н. С.Г. Аржанников, д.г.-м.н. К.Ж. Семинский.

Замечания, высказанные при обсуждении, не носят принципиального характера. Они касаются серии дискуссионных моментов и не требуют существенной переработки представляемой диссертационной работы.

Объектом исследования в данной работе являлись сейсмогенные разрывы в зонах активных разломов Байкальского рифта. Предметом исследования при этом выступали геометрические и кинематические параметры нарушений (мощность зон отдельных разломных сместителей, их азимуты и углы падения, амплитуды и типы вертикальных смещений), используемые для оценки магнитуды возможных землетрясений.

Актуальность темы исследования.

Сейсмогенный разрыв является одним из наиболее изучаемых проявлений землетрясений на поверхности земли. Как правило, он приурочен к длительно развивающемуся сейсмоактивному разлому и рассматривается как поверхностное проявление разрывообразования в сейсмическом очаге, представляя собой, по сути, выход очагового дизъюнктива на дневную поверхность. Изучение сейсмогенных разрывов лежит в основе работ по обеспечению безопасности территорий, находящихся в сейсмически активных районах.

Байкальский рифт - одно из мест, в котором за год происходит более 3000 землетрясений различной силы. Только за последний полувековой период (по данным БФ ФИН ЕГС РАН) здесь произошло несколько мощных ($I_0 = 9-10$ баллов, $M_s = 7.0 - 7.8$) и целый ряд сильных землетрясений (I_0 до 8 баллов, $M_s = 5.5 - 6.8$). События последних лет также подтверждают высокий уровень сейсмической активности территории. Их периодичность и силу в течение последних сотен и тысяч лет можно узнать, изучив сейсмогенные деформации, произошедшие ранее в области того или иного активного разлома.

Ранее на территории Байкальского рифта и сопредельных территориях было выявлено около 70 сейсмодислокаций. После проведения ревизии в

современном каталоге осталось лишь 52. Многие структуры остались малоизученными, так как находятся в труднодоступных для изучения районах. Палеосейсмогеологические исследования, используемые при изучении сейсмогенных структур, в основном включали в себя аэровизуальные, морфологические наблюдения и реже тренчинг для вскрытия разрывов и отбора проб на датирование деформаций. Проследить зону разрывов на глубину и вкrest простирания удавалось крайне редко из-за небольших размеров горных выработок. Это явилось причиной разногласий и неточностей в параметрах многих сейсмодислокаций Байкальского рифта. Благодаря развитию современных технологий, в настоящее время появилась возможность применять альтернативные методы получения информации о внутреннем строении разрывов в приповерхностной части земной коры. Одним из них является метод георадиолокации, позволяющий в благоприятных условиях получать данные о внутреннем строении разрывных структур до глубин 16 м, в зависимости от технических характеристик антенных блоков. Он является одним из лучших геофизических методов неразрушающего контроля, благодаря которому стало возможно проводить палеосейсмологические исследования в труднодоступных для изучения районах. Его комбинирование с морфоструктурными и структурно-геологическими методами может позволить получить новые и более полные данные о сейсмическом потенциале активных разломов.

Цель работы: на основе данных георадиолокации с привлечением геоморфологических и структурно-геологических данных изучить закономерности проявления сейсмогенных разрывов в различных геологических условиях Байкальского рифта с определением их главных геометрических и кинематических параметров.

Задачи исследования:

1. Методом георадиолокации на эталонных полигонах изучить сегменты разломов, связанные с сильными землетрясениями юго-восточного и северо-западного побережий озера Байкал, и установить признаки разрывов на радарограммах.

2. Определить основные параметры (мощность зон отдельных разломных сместителей, их азимуты и углы падения, амплитуды и типы вертикальных смещений) и особенности их распределения вдоль активизированных разломных сегментов.

3. Провести сравнительный анализ георадиолокационных и других сопутствующих данных для установления общих и частных закономерностей строения зон сейсмогенных разрывов в рыхлых и слабосцементированных отложениях различного типа на глубинах до 16 м.

Фактический материал и методы исследования. В основу представляемой диссертационной работы положены морфоструктурные, георадиолокационные и геолого-структурные данные, собранные в составе структурно-геологического отряда ИЗК СО РАН с 2014 г. по 2020 г. на территории Байкальского рифта в пределах Приморского, Зундукского, Северобайкальского, Дельтового разломов. В анализе участвовали данные георадиолокационных исследований (более 150 профилей), буровых, тренчинговых работ, а также данные массовых замеров элементов залегания трещин горных пород. В работе использовались материалы предыдущих исследователей по горным выработкам, а также фотоматериалы Луниной О.В. и Денисенко И.А.

Научная новизна. В настоящей диссертационной работе впервые на основе метода георадиолокации с привлечением морфоструктурного анализа уступов и геологических данных параметризованы сейсмогенные разрывы Байкальского региона. Получены закономерности проявления сейсмогенных разрывов в приповерхностной части земной коры до глубин 16 м. Определены и обобщены признаки проявления разрывных нарушений на радарограммах в различных по составу четвертичных отложениях. Изучен вклад пластической составляющей в полную величину вертикальной подвижки по разлому, произошедшей за одно событие.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах исследований, при постановке задач, проведении полевых работ, лично выполнял интерпретацию и анализ полевых георадиолокационных, морфоструктурных и структурно-геологических данных.

Степень достоверности и апробация результатов.

Работа выполнена на основе фактического материала, полученного автором в результате экспедиционных и камеральных работ в период с 2014 по 2020 гг. Автором самостоятельно и в соавторстве опубликовано 14 научных работ по теме диссертации, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных перечнем ВАК.

Результаты проведённых исследований докладывались и обсуждались на VI Сахалинской молодежной научной школе «Природные катастрофы, изучение, мониторинг, прогноз» (г. Южно-Сахалинск, 2016 г.), Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» г. Иркутск, (XXVII, 2017 г., XXVIII, 2019 г.), XII Российско-монгольской международной конференции (г. Иркутск, 2018 г.), международном семинаре INQUA по палеосейсмологии, активной тектонике и археологии (Греция, 2018 г.), научно-практической конференции «Георадар-2019, Георадар-2020», (г. Москва, 2019, 2020 г.), всероссийском

научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2020 г.), генеральной ассамблее Европейского союза геонаук (EGUGeneralAssembly, 2020 г.), всероссийской с международным участием конференции «Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов» (г. Воронеж, 2020 г.).

Теоретическая и практическая значимость. Использование полученных данных для уточнения оценки сейсмической опасности Байкальского региона. В работе показано, что метод георадиолокации в комплексе с геологическими и морфоструктурными данными позволяет получать детальный и достоверный материал о сейсмогенных разрывах и, следовательно, может быть рекомендован для включения в перечень работ по детальному сейсмическому районированию, что будет положительно сказываться на экономических и экологических показателях проведения работ. Описанные в работе признаки выявления разрывных нарушений по георадиолокационным данным будут полезны исследователям при изучении разломов в других регионах России и мира.

Основные публикации по теме диссертации:

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

1. Денисенко И.А., Лунина О.В. Прогнозные модели локализации разжижения грунта при землетрясениях на Главном Саянском разломе (юг Восточной Сибири) // Геология и Геофизика. 2017. Т. 58, № 11. С.1777-1783.

2. Лунина О.В., Гладков А.С., Гладков А.А., Денисенко И.А. Среднекедровая палеосейсмодислокация в Байкальском хребте: структура и оценка смещений по данным георадиолокации // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, №2. С. 531-555.

3. Денисенко И.А., Лунина О.В., Гладков А.С., Казаков А.В., Серебряков Е.В., Гладков А.А. Структура Дельтового разлома и сейсмогенные смещения на участке «Шерашево–Инкино» по данным георадиолокации (Байкальский регион) // Геология и геофизика. 2020, Т. 61, №7. С. 879-888.

4. Денисенко И.А., Лунина О.В. Позднечетвертичные смещения вдоль Сарминского участка Приморского разлома по данным георадиолокации (Байкальский рифт) // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т 11, №3. С. 548-565.

5. Lunina O., Li D., Lyu Y., Wand M., Li M., Gao Y., Gladkov A., Denisenko I., Gladkov A., Wang K., Zhang S., Perevoznikov D. Using in situ-produced ^{10}Be to constrain the age of the latest surface-rupturing earthquake along the Middle Kedrovaya fault (Baikal rift) // Quaternary Geochronology 2020. V. 55, 101036

6. Lunina O., Denisenko I. Single-event throws along the Delta Fault (Baikal rift) reconstructed from ground penetrating radar, geological and geomorphological data // *Journal of Structural Geology*. 2020. V. 141, 104209

7. Bricheva S.S., Dubrovin I.O., Lunina O.V., Denisenko I.A., Matasov V.V., Turova I.V., Entin A.L., Panin A.V., Deev E.V. Numerical simulation of ground-penetrating radar data for studying the geometry of fault zone // *Near Surface Geophysics*. 2021. 19, p. 261-277.

8. Денисенко И.А., Лунина О.В. Позднечетвертичные смещения вдоль Зундукского разлома по данным георадиолокации и морфоструктурного анализа (северо-западное побережье оз. Байкал) // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2021. Т. 66. Вып. 2.

Тезисы докладов научных конференций

1. Денисенко И.А., Лунина О.В., Гладков А.С., Гладков А.А., Серебряков Е.В., Афонькин А.М. Георадиолокационное изучение разрывных структур эпицентральной зоны Цаганского землетрясения // *Тезисы докладов XII Российско-монгольской международной конференции*. Иркутск: ИГУ 2018. – С. 65-66.

2. Лунина О.В., Гладков А.С., Гладков А.А., Денисенко И.А. Среднекедровая палеосейсмодислокация в Байкальском хребте: структура и оценка смещений по данным георадиолокации // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9 (2). С. 531-555.

3. Lunina O., Gladkov A., Denisenko I., Gladkov A. Sub-bottom surveying in seismogenic Proval Bay (Lake Baikal) with ground – penetrating radar: application to study of Delta fault. In: *Proceedings of the 9th International INQUA Workshop on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology, 25-27 June 2018*. Possidi, Greece. Eds. O. Koukousipura and A. Chatzipetros. 2018. 150–162

4. Лунина О.В., Гладков А.С., Денисенко И.А., Гладков А.А., Серебряков Е.В., Проявления опасных природных процессов в зонах активных разломов Байкальского региона по данным георадиолокации. В кн.: *Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ): Тез. докл. XII Рос.-монг. междунар. конф., РАН, Сиб. отд-ние, Иркут. науч. центр, Ин-т земной коры, Ин-т солн.-зем. физики*. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018. – С. 66.

5. Денисенко И.А., Серебряков Е.В., Гладков А.А. Оценка смещений при Цаганском землетрясении 1862 г. на св окраине с. Дубинино (по структурно-геологическим и георадиолокационным данным) // *Строение литосферы и*

геодинамика: Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 8 – 14 апреля 2019 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2019. – С. 63-65.

6. Денисенко И.А., Лунина О.В. Применение метода георадиолокации при изучении активных разломов Байкальского региона // Сборник тезисов научно-практической конференции «Георадар-2019» (г. Москва, 13-15 марта 2019г.) Евроазиатская научно-промышленная палата, 2019. – С. 59 – 64.

7. Лунина О.В., Гладков А.А., Денисенко И.А. Сейсмогенные разрывы западного побережья озера Байкал: проблемы и перспективы изучения // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Том 2. Материалы ЛII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. – С. 51–56.

8. Лунина О.В., Гладков А.А., Денисенко И.А. Сеймотектоника прибрежных территорий Северобайкальской впадины: проблемы и новые пути их решения // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып. 3. / отв. ред. И.В. Бычков, А.Л. Казаков. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2020. – С. 137–142.

9. Lunina O., Denisenko I. Single-event throw distribution along the Delta fault (Baikal rift) from geomorphological and ground-penetrating radar investigations // EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-92, 2020.

10. Денисенко И.А., Лунина О.В., Серебряков Е.А. Особенности проявления сейсмогенных разрывов в четвертичных отложениях Байкальского региона по данным георадиолокации // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту. Материалы совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. – Вып. 18 . С. 98 – 100.

11. Денисенко И.А., Лунина О.В. Сейсмогенные смещения в зоне Зундукского разлома по данным георадиолокации (Байкальский регион). Материалы XXII всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. Воронеж: Издательство дом ВГУ, 2020. – С. 120-124.

12. Денисенко И.А., Лунина О.В. Изучение параметров структуры палеосейсмодислокации Сарма методом георадиолокации (северо-западное побережье озера Байкал). «Инженерная сейсморазведка и сейсмология - 2020» и «Георадар - 2020». Теперь вместе»; под ред. М.С. Судаковой, М.Р. Садуртдинова. – М.: Издательский дом «Академия Естествознания», 2020. – 191 с.

Все вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа И.А. Денисенко **соответствует паспорту специальности:**

Согласно паспорту научной специальности **25.00.03 «Геотектоника и геодинамика»** работа соответствует пунктам № 1, № 4, №5 и №9.

Пункт №1: Структурный анализ (включая микроструктурный и петроструктурный) – изучение форм залегания горных пород, обусловленных их пластичными или разрывными деформациями.

Пункт №4: Сейсмотектоника – изучение тектонических закономерностей проявления землетрясений в пространстве и во времени, составление карт сейсмического районирования.

Пункт №5: Неотектоника, изучающая тектонические явления новейшего этапа развития литосферы и использующая для этого свои специфические методы исследования.

Пункт №9: Региональная геотектоника, основанная на выделении и изучении тектонических объектов того или иного региона, страны, континента, океанического или морского бассейна.

При экспертизе текста диссертации, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» установлено, что оригинальных блоков в диссертации – 76.5%, заимствованных источников в диссертации – 23.5% (при этом 20,22% приходится на статьи, опубликованные соискателем лично, или в соавторстве);

- соискателем сделаны ссылки на все источники заимствования материалов, фактов некорректного цитирования или заимствования без ссылки на соавторов в тексте диссертации и автореферате не обнаружено;

- сведения, представленные соискателем, об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны;

- в тексте диссертации соискателем отмечено, какие результаты получены им лично, а какие – в соавторстве.

Тема диссертации утверждена на заседании ученого совета ИЗК СО РАН 12 октября 2017 г., протокол № 8.

Работа ДЕНИСЕНКО Ивана Александровича «СТРОЕНИЕ ЗОН СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И ИХ ПАРАМЕТРЫ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ» является законченным исследованием, имеет научную и прикладную значимость и рекомендуется после внесения исправлений, касающихся формы изложения материалов, к представлению в диссертационный совет при ИЗК СО РАН для защиты на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика.

Заключение принято на заседании Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН.

Присутствовало на заседании 23 человека, из них 15 членов Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН, председатель – д.г.-м.н. Семинский К.Ж., секретарь – к.г.-м.н. Брыжак Е.В.

Результаты открытого голосования Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН по вопросу о принятии заключения по диссертации И.А. Денисенко: за – 15, против – нет, воздержалось – нет.

Протокол №5 от 20 апреля 2021 г.

Председатель Секции геофизики и современной геодинамики
Ученого совета ИЗК СО РАН,
д.г.-м.н.


К.Ж. Семинский

Ученый секретарь Секции геофизики и современной геодинамики
Ученого совета ИЗК СО РАН,
к.г.-м.н.


Е.В. Брыжак