

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Денисенко Ивана Александровича**

«Строение зон сейсмогенных разрывов Байкальского рифта и их параметры по данным георадиолокации»,

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

**Актуальность темы исследований.** Одной из важнейших проблем в областях интенсивных землетрясений, к которым относится район Байкальского рифта, является изучение зон сейсмогенных разрывов и прогнозирование их активности, что особенно актуально для обеспечения безопасности инфраструктуры региона, промышленных и жилищных объектов. Изучение поверхностных проявлений длительно развивающихся активных разломов крайне затруднено вследствие многих факторов, среди которых необходимо отметить прежде всего довольно ограниченный инструментарий, используемый для их локализации, и часто их расположение в труднодоступных районах. Палеосейсмогеологические исследования, которые используются при изучении сейсмогенных структур, включают в себя, как правило, аэровизуальные наблюдения, структурно-геологический и морфоструктурный анализы и тренчинг. Последний метод зачастую дает мало информации о глубине зоны разрывов и строении зон разрывов в поперечном сечении. В значительной степени это обусловлено небольшими размерами траншей и шурфов.

В последние 15-20 лет интенсивно развивается метод подповерхностной георадиолокации (GPR), который при благоприятном для георадиолокации строении разреза и использовании низкочастотных модификаций георадаров, позволяет эффективно изучать строение верхней части разреза до глубин более 20 метров, т.е. существенно расширить арсенал методов палеосейсмологических исследований. Совместное применение перечисленных выше методов и георадиолокации имеет большие перспективы для получения новых данных в этой области исследований, т. е., на наш взгляд, является весьма актуальным и выбор георадиолокации является оправданным.

**Цель и задачи исследований.** Работ по применению георадиолокации в области палеосейсмологии довольно мало, в частности, в районе Байкальского рифта, поэтому автору для решения поставленной цели исследований необходимо было сосредоточить усилия на решении нескольких основных задач.

Во-первых, рассмотреть возможности использования георадиолокации в различных типах четвертичных разрезов. Несмотря на то, что этот метод уже

более 20 лет используется при изучении геологического строения, его возможности при исследовании геологии рыхлой верхней части разреза пока недостаточно ясны. Одним из сложных вопросов является оценка глубинности исследований. Критерии выделения разрывов (или картировочные признаки), также требуют доработки, особенно при их изучении в рыхлых отложениях. В данном случае Денисенко И.А. имел возможность сравнивать данные тренчинга и георадиолокации, что не так часто встречается в практике любых геофизических исследований. Имеются работы, в которых прямое сопоставление геологических и георадиолокационных данных показывает их полное несоответствие. Во-вторых, выявить основные параметры (мощность зон сместителей, их азимуты и углы падения, амплитуды смещения) и проследить изменение этих особенностей строения по площади. В-третьих, основываясь на всех полученных данных, установить основные закономерности строения зон разрывов в верхней части разреза.

Перечень задач, которые, по мнению автора необходимо было решить, на наш взгляд, является правильным и позволит достичь поставленной цели.

**Основная часть диссертации и научная новизна результатов.** Работа состоит из 5 глав, в которых последовательно рассматриваются полученные результаты. Построение работы выглядит логичным и это способствовало в дальнейшем лучшему пониманию материала.

В **Главе 1** дан обзор представлений о сейсмогенных разрывах, их структурно-геологических и морфоструктурных признаках и генезисе. Обсуждаются представления об активных разломах и связанных с ними сейсмодислокациях. В этой же главе дается обзор литературы по истории изученности сейсмогенных нарушений Байкальского рифта. Эти разделы в главе написаны на основе анализа обширной литературы по данной тематике и показывают хорошее знание Денисенко И.А. мало изученных особенностей строения сейсмогенных разрывов, что позволяет правильно поставить дальнейшую работу. Отметим, что автор работы обосновывает выбор метода георадиолокации как неразрушающего метода, что весьма актуально в особо охраняемых районах.

**Глава 2** посвящена в основном истории развития метода георадиолокации и изучения разрывных нарушений в рыхлых четвертичных отложениях различного состава. Эти разделы написаны на основе опубликованных данных из разных регионов. Объем раздела об истории развития подповерхностной георадиолокации небольшой, в нем коротко, но четко, в необходимом объеме для дальнейшего изложения материала описаны основные этапы развития метода.

В разделе о возможностях георадиолокации при изучении разрывных дислокаций в рыхлых отложениях, написанном по материалам опубликованных как отечественных, так и иностранных работ, показано, что, несмотря на сложные для георадиолокации разрезы, опыт их применения в

разнообразных обстановках положительный. Денисенко И.А. справедливо указывает, что четких признаков выделения разрывов в верхней части разреза в настоящее время не разработано. Также на основании обзора литературы сделан правильный вывод о благоприятном для георадиолокации строении разреза в районе Байкальского рифта, что позволяет надеяться на эффективное использование этого метода.

**Глава 3** состоит из нескольких разделов. Перед началом анализа данных по району исследований, автор рассмотрел основы метода георадиолокации – дал определение основных физических понятий, рассмотрел вопрос о вертикальной разрешающей способности метода и способах определения диэлектрической проницаемости и скорости. Эти сведения важны, так как на их основе автор сознательно выбрал георадиолокационную аппаратуру, чтобы наиболее эффективно решать поставленные задачи.

В этом же разделе кратко описана последовательность приемов при интерпретации полученных георадарограмм, даны основные понятия. Денисенко И.А. для определения количественных характеристик зон разрывов рассмотрел вопрос определения в изученных районах диэлектрической проницаемости и таким образом обосновал выбор значений скоростей электромагнитных волн. Завершает главу небольшой раздел о выделении разрывных нарушений, в котором даются определения хрупкой и пластической деформации, дальней и ближней зоны разрывов, которыми автор будет пользоваться в дальнейшем.

Кроме данных георадиолокации для анализа строения зон палеосейсмогеологических разрывов автор применил также другие методы исследований, которые он назвал вспомогательными (дополнительными). К ним отнесены дешифрирование космоснимков, данные бурения и тренчинга и массовые замеры трещин в выходах коренных пород, где они имелись. Как будет показано в дальнейшем, привлечение этих материалов придало большую весомость сделанным выводам.

**Глава 4** посвящена собственно результатам проведенных исследований сейсмогенных разрывов. Она основана на большом объеме полученных натуральных данных, в первую очередь на очень качественных материалах георадиолокации. В ней приводится детальное описание всех имеющихся данных по всем изученным районам. Глава прекрасно проиллюстрирована. По каждому разрыву приводятся геоморфологические данные, описания шурфов и канав, но особенно привлекают материалы георадиолокационного профилирования. Здесь необходимо отметить, что для демонстрации георадарограмм автор выбрал практически одинаковый вертикальный и горизонтальный масштабы, что позволило ему проводить измерения углов наклона плоскостей сместителей разрывов непосредственно на георадиолокационных профилях, что помогло избежать ошибок при количественных измерениях. В работах с использованием георадарных

материалов, как показывает обзор опубликованных работ, это встречается не так часто. Интерпретация показала, что выбор аппаратуры оказался правильным и прогнозируемая глубинность исследований была достигнута. Разделы по каждому разрыву построены логично – сначала даются геолого-структурная и морфоструктурная характеристики, затем приводится анализ особенностей строения и количественные параметры разрывов. Особо следует отметить высокое качество интерпретации георадарограмм. Зачастую разные авторы приводят для иллюстрации уже проинтерпретированные профили, что обычно затрудняет, а иногда и делает невозможным оценку качества проведенной интерпретации и ее достоверность. Денисенко И.А. для каждого профиля дает исходную георадарограмму и проинтерпретированную, т.е. можно оценить качество интерпретации, которое, на наш взгляд весьма высокое, несмотря на сложность волновых картин. Это позволяет сделать вывод о достоверности сделанных выводов о строении разрывов и их количественных оценках (амплитуд смещения, протяженности, вкладе пластической составляющей и т. д.). Применение георадиолокации позволило получить новые данные по строению сейсмогенных разрывов. Очевидно, что выделение разрывов не всегда однозначно, но в целом интерпретация проведена на высоком уровне. Этот раздел можно использовать и в качестве учебных материалов.

В итоговой **Главе 5** приведены основные признаки разрывов с анализом волновых картин, детально рассмотрены их количественные характеристики. Проявление разрывов рассмотрено также с привлечением литологических данных верхней части разреза по каждому району. Для подтверждения правильности интерпретации на некоторых участках было проведено моделирование, которое убедительно доказало ее обоснованность и хорошее совпадение с разрезом горной выработки, например, для Дельтового разлома. Отметим также, что сама система доказательств наличия разрывных нарушений построена очень логично – от интерпретации георадиолокационных данных, к сопоставлению с разрезами горных выработок и далее привлечению геолого-структурных и морфоструктурных данных. Это методика интерпретации выглядит вполне естественной, но с такой полнотой используется не так часто, в первую очередь из-за отсутствия у исследователей такого разнообразия данных. Денисенко И.А. использовал все имеющиеся в его распоряжении материалы.

Полученные данные и сделанные выводы дадут возможность прогнозировать распространение и проявление различных косейсмических эффектов в исследуемой среде.

**Практическая значимость диссертации.** Полученные Денисенко И.А. собственные данные, их анализ и обобщение имеют важное практическое значение и могут использоваться для разработки новых подходов к оценке тектонической активности района Байкальского рифта. В методическом отношении в работе показано эффективное применение метода

георадиолокации в исследовании сейсмогенных разрывов и даны признаки таких разрывов, что позволяет эту часть работы использовать в том числе и в учебных целях.

**Основные замечания по диссертации.** Существенных замечаний по работе нет, укажем только на некоторые, которые не влияют на общую оценку диссертации.

1. В разделе «Фактический материал» нужно указывать виды, объемы и материалы исследований, которые легли в основу диссертации.
2. На стр. 13 приведена карта, но автор не указан.
3. В главе 3 на стр. 38 указано 3 способа определения диэлектрической проницаемости (эпсилон). Однако в 1 и 3 способах, которые применялись в работе, определяется сначала скорость распространения электромагнитных волн, а не эпсилон, а затем по известной формуле рассчитывается эпсилон. И лучше писать не определяется, а оценивается, так как эти способы не совсем точные.
4. На стр. 41 указаны средняя глубинность и разрешающая способность по вертикали для различных антенн, но для специалистов еще важен шаг наблюдений по профилю, т. е. как часто расположены точки физнаблюдений.
5. Не на всех рисунках в главе 4 указана антенна, которая использовалась. Для оценки эффективности антенн хорошо бы знать какая из них дала наилучшие результаты и в каких условиях.
6. Для наглядности при определении основных признаков разрывов можно было дать волновые картины крупным планом для каждого выделенного типа.
7. В диссертации детально описано строение конкретных сейсмогенных разрывов, но практически не рассмотрены хотя бы в основных чертах причины изменения их параметров в региональном плане.

Перечисленные замечания никак не влияют на высокую оценку как самой работы, так квалификации автора.

**Общая оценка диссертации.** Диссертация Денисенко Ивана Александровича является законченной научно-исследовательской работой. Она выполнена на актуальную тему, результаты характеризуются несомненной новизной. Работа построена логично, написана хорошим языком, а библиография показывает, что автор свободно ориентируется в этой области. Полученные новые данные высокого качества достаточны для обоснования сделанных выводов.

Основные результаты и выводы диссертации опубликованы в 8 статьях в изданиях, включенных в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России, причем 3 работы опубликованы на английском языке. Также результаты по теме

диссертации доложены на 12 конференциях и совещаниях разного уровня и опубликованы в виде тезисов.

Защищаемые положения, заявленные автором, раскрыты и хорошо обоснованы.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание и основные результаты проведенного исследования.

По своему содержанию, научной новизне, актуальности и практической ценности полученных результатов диссертация «Строение зон сейсмогенных разрывов Байкальского рифта и их параметры по данным георадиолокации» полностью соответствует требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Денисенко Иван Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика.

Старовойтов Анатолий Васильевич, доцент кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», канд. геол.-мин. наук

(119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М.В. Ломоносова. [starovoytov\\_msu@mail.ru](mailto:starovoytov_msu@mail.ru), 8(495) 384-17-34; моб. 8(916) 567-39-84).

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Совета и их дальнейшую обработку.

А.В. Старовойтов

Подпись доцента кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова заверяю

Декан геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова академик



Пушаровский Д.Ю.