

Отзыв

на диссертационную работу Артёма Владимирович Андреева
«Вторичные косейсмические деформации в геологической среде:
тектонифизический анализ (на примере юга Сибири)», представленную на
соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

Представленная диссертационная работа посвящена актуальнейшей теме в геотектонике и геодинамике, а также в инженерной и палеосейсмологии: исследованию вторичных косейсмических деформаций, так называемых сейсмитов, которые наряду с «истинными» - сейсмотектоническими деформациями во множестве возникают во время сильных землетрясений и представляют серьезнейшую угрозу любым строительным конструкциям. Для территории юга Сибири, где рыхлыми и водонасыщенными осадками перекрыты значительные площади, подобное исследование было актуально всегда и назрело давно. Важно отметить, что для указанного региона выявление сейсмитов крайне затрудняется наличием подобных по форме структур криогенного происхождения. Ценность представленной диссертационной работы заключается еще и в том, что региональные данные о сильных землетрясениях начинают поступать лишь с XVII века. Такой короткий ряд наблюдений совершенно недостаточен для достоверной оценки сейсмической опасности территории, известной своими разрушительными историческими и инструментальными сейсмическими событиями. Так как выявление сейсмогенных разрывов часто затруднено из-за значительного растительного покрова на исследованной территории, то исследования распространения и локализации вторичных косейсмических эффектов позволят более полно изучить сейсмический режим вглубь веков и даже тысячелетий.

Важной особенностью представленной диссертационной работы является ее комплексность. В ней применены и современные численные тектонофизические подходы в сочетании с методами структурной геологии и палеосейсмологии. Количественная основа диссертационной работы выгодно отличает ее от многочисленных качественных диссертаций, все еще защищаемых в последнее время.

Общий объем диссертационной работы составляет 199 страниц машинописного текста. Структурно работа состоит из введения, пяти глав и заключения, она иллюстрирована 57 рисунками и 6 таблицами. Имеются также 5 приложений на 29 страницах. Список литературы содержит 205 наименований.

Во Введении соискатель приводит обычный набор секций, в которых очерчивается актуальность темы диссертации, указана цель исследований, приводятся задачи и методы исследований. Автор описывает личный вклад в исследование проблемы и полученный им лично при экспедиционных исследованиях фактический материал. Приведены три защищаемых положения, указана научная новизна диссертационной работы и ее практическая значимость. Описывается апробация работы и ее опубликованность, перечислены научные проекты, при выполнении которых собирался и анализировался материал диссертации. Указаны объем и структура работы, приведены благодарности научным коллегам, которые помогали диссертанту при написании диссертации.

Первая глава диссертации посвящена освещению современного состояния проблемы изучения вторичных косейсмических деформаций в геологической среде. Здесь автор приводит довольно полную сводку опубликованной в мире литературы по так называемым вторичным сейсмическим деформациям, таким как различные виды сейсмогенных гравитационных образований, провалов (просадок) грунта, вторичных разрывных нарушений, а также их использования в палеосейсмологических построениях. Диссертантом подробно рассматриваются дислокации,

сформированные в результате сейсмически наведенных процессов разжижения и флюидизации осадочных слоев – сейсмиты.

Во второй главе описываются использовавшиеся диссертантом методы исследований. Это, прежде всего, полевые исследования современных или исторических землетрясений. Хотелось бы отметить, что эти исследования проводились в труднейших условиях почти полного отсутствия естественных обнажений. Редкие подмывы берегов реками и еще более редкие искусственные горные выработки – карьеры существенно осложняли работу автора, поэтому ему пришлось изучать и описывать лишь стенки траншей и шурфов, пройденных чаще всего вручную. Эта малая обнаженность не всегда позволяет отличить сейсмически наведенные деформации, вызванные процессами разжижения при сильных землетрясениях, от деформаций, сформированных криогенными процессами. Важным завершением полевых работ являлся перевод всей полученной информации в электронный вид, что позволило диссертанту автоматизировать процессы обработки и визуализации с помощью современных компьютерных программ.

Третья глава диссертации посвящена анализу статистических соотношений между параметрами землетрясений и вторичных косейсмических эффектов в геологической среде. При этом значительная часть главы представляет собой описание базы данных вторичных косейсмических эффектов. Хотелось бы особенно подчеркнуть, что работа диссертанта по сбору и систематизации данных по сейсмодислокациям большого числа сильных землетрясений и сведение их в единую компьютерную базу данных представляет значительное достижение в палеосейсмологии, которое явно выше обычного уровня кандидатской диссертации.

Результаты исследований вторичных сейсмогенных деформаций в эпицентральных областях сильных землетрясений Прибайкалья приводятся в четвертой главе. Диссертантом в качестве тестовых полигонов для выработки региональных геолого-структурных критериев выделения сейсмогенных

структур были выбраны и тщательно им изучены плейстосейстовые зоны сильных землетрясений Прибайкальского региона: Цаганского (1862 г., $M=7,5$) и Мондинского (1950 г., $M=7,0$). Соискателем были детально проанализированы результаты, полученные предыдущими исследователями региона, а также с помощью шурфов и траншей изучены как первичные (разрывные) так и вторичные (разжижение, трещины в грунтах) дислокации этих крупнейших сейсмических событий Прибайкалья. В результате диссертантом были получены новые, ранее неизвестные данные о проявлениях вторичных дислокаций в рыхлых грунтах в плейстосейстовых зонах обоих землетрясений, причем они не только тщательно описаны, но и охарактеризованы количественно. Соискателю удалось получить данные о возрасте вероятного палеоземлетрясения, предшествовавшего Цаганскому землетрясению 1862 г. Все эти материалы крайне важны для их дальнейшего использования при новой оценке сейсмической опасности региона.

Практическому применению полученных автором количественных данных по вторичным косейсмическим эффектам в геологической среде посвящена заключительная – пятая глава. В данной главе изложены методические подходы к определению макросейсмического эпицентра и параметризации сейсмогенного источника для Цаганского землетрясения 1862 г. Для этого автор использует различные корреляционные соотношения, связывающие магнитуду землетрясения с различными параметрами сейсмодислокаций.

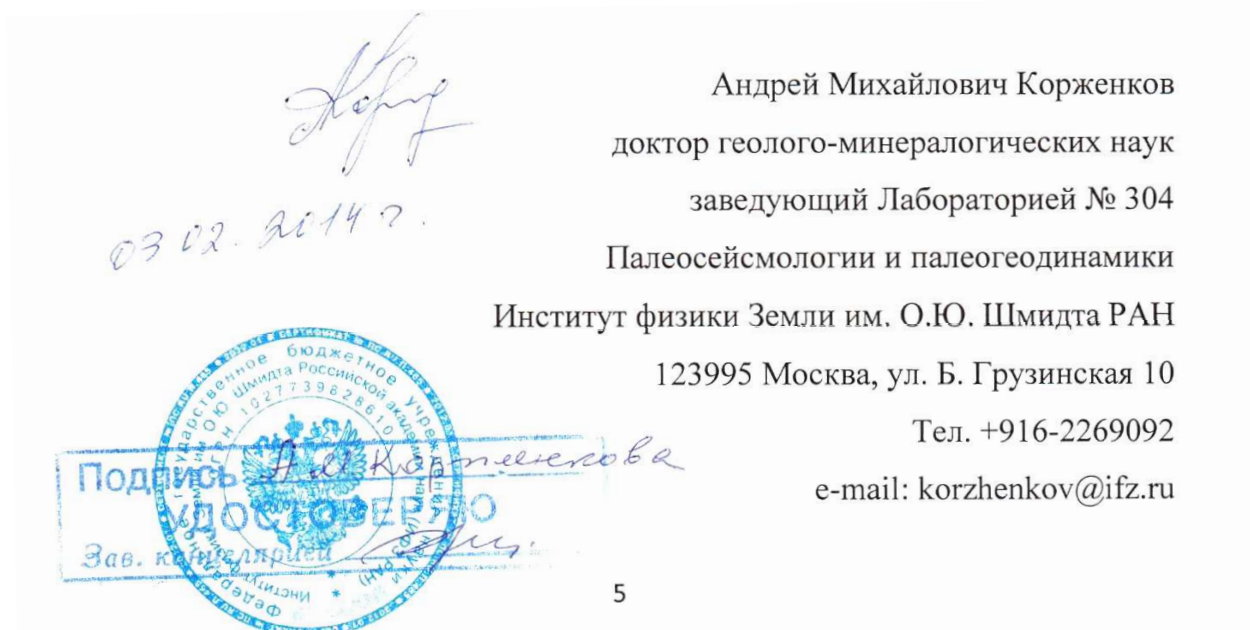
База данных по землетрясениям инструментального периода наблюдений и вызванным ими вторичным косейсмическим эффектам в геологической среде, приложенная к работе представляет, как уже указывалось выше, самостоятельную научную ценность для региональной геотектоники и геодинамики, а также палеосейсмологической науки в целом.

Как и все большие и детальные работы, диссертационная работа А.В. Андреева не лишена недочетов. Так, например, при описании автором сейсмодислокаций у меня не всегда была уверенность, что описаны

деформации сейсмогенные, а не криогенные. Имеется путаница в терминах: вместо использования общепринятых в русскоязычной научной литературе обозначений, автор привносит какие-то свои определения и при этом недостаточно четко их характеризует. Приведенные описания траншей и естественных обнажений могут быть проинтерпретированы иначе. Очень странно приведение абсолютных радиоуглеродных датировок в диссертации в некалиброванном виде. Общим недостатком проведенного в работе анализа является отсутствие оценок точности, как исходных параметров, так и полученных соотношений. Тем не менее, указанные недочеты не снижают моего очень высокого впечатления от работы.

Я внимательно прочитал и первый вариант диссертационной работы А.В. Андреева. У меня был ряд замечаний, значительную часть из которых соискатель исправил в окончательном варианте диссертации.

Таким образом, все вышеизложенное позволило мне прийти к однозначному заключению, что Артёмом Владимировичем Андреевым была представлена высококачественная научная работа, которая по своему уровню вполне соответствует всем необходимым требованиям ВАКа Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Артём Владимирович по своей высокой научной квалификации, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика.



ОТЗЫВ

На диссертацию

АНДРЕЕВА АРТЁМА ВЛАДИМИРОВИЧА
"ВТОРИЧНЫЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
(НА ПРИМЕРЕ ЮГА СИБИРИ)"

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

Диссертационная работа Артема Владимировича Андреева "Вторичные косейсмические деформации в геологической среде: тектонофизический анализ (на примере юга Сибири)" посвящена изучению интересной и важной в научном и практическом отношении группы остаточных сейсмодетформаций – следов разжижения водонасыщенных грунтов. При палеосейсмологических исследованиях основное внимание традиционно уделяется изучению сеймотектонических дислокаций, представляющих собой выход на поверхность очаговых разрывов и позволяющих оценивать магнитуду землетрясений на основании корреляционных соотношений между магнитудой с одной стороны и протяженностью сейсмогенных разрывов и амплитудой смещения по ним с другой. Вторичные эффекты сильных землетрясений изучаются, но реже используются для количественной оценки их параметров. Поэтому попытка автора рассматриваемой работы не просто описать остаточные деформации в грунтах при некоторых сильных землетрясениях юга Сибири, но и разработать методику их количественного анализа представляет несомненный научный интерес.

Работа объемом 200 страниц (с приложениями), состоит из 5 глав, введения, заключения, обширного (на 20 страницах) списка литературы и 4 приложений.

Во введении сформулированы задачи, решению которых посвящена диссертационная работа, кратко описаны применяемые методы исследований, отмечена практическая значимость полученных результатов.

Автор выносит на защиту следующие 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 $MS \geq 5.2$ 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 неравномерно, а местоположение макросейсмического эпицентра доинструментального землетрясения обоснованно определяется на основании анализа совокупности количественных параметров сейсмогенных деформаций с учетом геометрии ассоциируемого разлома.

Несмотря на то, что эти положения не являются принципиально новыми и, в целом, согласуются с результатами, полученными в различных районах мира (в частности, в центральной части Североамериканской платформы, в зоне Венчуанского землетрясения 2008 г.), автор впервые установил количественные закономерности распространения вторичных сейсмодформаций для рассматриваемого района, что является несомненным вкладом в познание сейсмогеологии Прибайкалья.

В первой главе диссертации, на основании анализа обширной отечественной и зарубежной литературы, автор рассмотрел современное состояние проблемы изучения вторичных косейсмических деформаций в геологической среде.

Проведенный анализ показывает хорошее знакомство соискателя с литературой, что послужило основой для выполнения собственных исследований. Тем не менее, некоторые положения, упомянутые в этой главе, требуют, на мой взгляд, более критического подхода.

Так, автор не очень корректно выделяет причины изменения устойчивости горных масс при землетрясениях, среди которых он, ссылаясь на работу "Сейсмическое районирование Восточной Сибири ..." 1977 г., выделяет сейсмические ускорения, изменение угла наклона метастабильных плоскостей из-за колебательных движений, и тиксотропное разжижение грунтов. Но ускорение – лишь одна из характеристик сейсмических колебаний, которые можно описывать и в терминах скорости или смещения. Большое значение имеет также продолжительность колебаний и их спектральный состав. Непонятно, что понимается под "изменением угла наклона метастабильных плоскостей из-за колебательных движений".

Учитывая характерные для землетрясений периоды колебаний и размеры неоднородностей в грунтах или скальных массивах трудно представить, как это может повлиять на устойчивость склона. Отмечу также сугубую неопределенность термина "метастабильная плоскость".

В работе широко используется понятие "зона / область динамического влияния разлома", предложенное и широко применяемое в работах Иркутских сейсмогеологов. Схожее понятие – "зона влияния разлома" применяется и в инженерной геологии, но в этой области знаний разработаны понятные и логичные методы выделения и оконтуривания таких зон. Приуроченность же деформированных разрезов рыхлых отложений к областям "динамического влияния" разломов просто постулируется. На мой взгляд, использование этого понятия в данном случае ничего не прибавляет ни к пониманию природы разжижения водонасыщенных грунтов, ни к установлению количественных закономерностей их распространения. Автор априори связывает явления разжижения грунтов с зонами влияния разломов, не приводя объективных доказательств в пользу такого предположения. Близость проявлений разжижения грунтов к линиям сейсмогенерирующих разломов, которые являются поверхностным выражением очагов землетрясений, еще не означает их приуроченности именно к зонам "динамического влияния" разломов, строгие критерии выделения которых отсутствуют.

Во второй главе автор подробно рассматривает использованные им методы исследований. Следует отметить, что условия, в которых выполнялись полевые работы, далеки от идеальных. В отличие от "классических" районов изучения явлений сейсмогенного разжижения грунтов при доисторических землетрясениях, таких как центральная часть США или побережье Иссик-Куля, где наличествуют многокилометровые естественные или искусственные обнажения, автор был вынужден сосредоточиться на изучении стенок канав и шурфов, пройденных, преимущественно, вручную. Это, безусловно, сказалось на обоснованности ряда выводов, но, тем не менее, Артем Владимирович существенно продвинулся в вопросе изучения рассматриваемых явлений в Прибайкалье,

Третья глава диссертации посвящена анализу статистических соотношений между параметрами землетрясений и вторичных косейсмических эффектов в геологической среде. Значительная часть главы посвящена описанию базы данных

вторичных косейсмических эффектов. На мой взгляд, сбор и систематизация данных по сейсмодислокациям большого числа землетрясений и сведение их в единую базу данных само по себе представляет значительный вклад в науку, так как создает основу для будущих исследований не только самого Артема Владимировича, но и его коллег. В качестве замечания отмечу использование неудачного, на мой взгляд, термина "осадочный вулкан" для описания песчаных выбросов на поверхность земли. Здесь возможна, в частности, путаница с грязевыми вулканами, имеющими совершенно иную природу. Непонятно, какое отношение к территории, показанной на рис. 3.5, имеет Артыкское землетрясение 1971 г., которое произошло на границе Якутии и Магаданской области и никак не могло проявиться в Прибайкалье.

Как уже отмечено выше, выдвинутое при анализе эмпирических соотношений между параметрами землетрясений и косейсмическими эффектами (раздел 3.3) предположение о приуроченности явлений разжижения к "областям динамического влияния разломов" с повышенной проницаемостью геологической среды ничем не обосновано, так как отсутствует независимое определение размеров последних. Если в разрезе нет потенциально разжижаемых водонасыщенных грунтов, никакая априори предполагаемая "проницаемость" не приведет к разжижению. И наоборот, если есть условия для разжижения, то наличие, к примеру, водонепроницаемых перекрывающего и подстилающего слоев только усилит проявления разжижения, так как будет препятствовать оттоку воды.. На мой взгляд, автор просто ставит знак равенства между областью распространения вторичных эффектов и "областью динамического влияния разломов", что некорректно.

Общим недостатком проведенного анализа является отсутствие оценок точности, как исходных параметров, так и полученных соотношений. Так, например, на графиках на рис. 3.11, показана зависимость эффектов разжижения от глубины гипоцентров и гипоцентрального расстояния. Схожие зависимости показаны и на рис. 4.2.14. Но реальная точность определения и глубин гипоцентров и координат эпицентров далеко не всегда позволяет построить такие графики с точностью, показанной на этих рисунках. Это надо иметь в виду и учитывать при установлении эмпирических соотношений, а также тесноты пространственной связи рассматриваемых вторичных эффектов с разломами. Утверждать, что такая связь для юга

Сибири и Монголии теснее, чем в других районах мира, на мой взгляд, преждевременно. Это может быть связано, в частности, с ограниченностью выборки по исследуемому району. На мой взгляд, указанные недостатки – типичная ошибка, связанная с некритическим применением аналитических возможностей современных ГИС, не учитывающим объективную точность исходных данных.

В конце главы указано, что разработана классификация косейсмических эффектов в геологической среде. Однако подобные классификации многократно опубликованы и непонятно, что нового внес здесь автор. Вывод о том, что вторичные деформации от землетрясения распространяются в пространстве дальше от эпицентра, чем от разлома, в принципе очевиден, так как разлом в большей степени соответствует очагу землетрясения, нежели эпицентр.

В четвертой главе описаны результаты исследований вторичных сейсмогенных деформаций в эпицентральных областях Цаганского и Мондинского землетрясений. Автором проанализированы результаты предыдущих исследований, а также вскрыты выработки и изучены как первичные (разрывные) так и вторичные (разжижение, трещины в грунтах) дислокации этих крупнейших сейсмических событий Прибайкалья. Получены действительно новые, ранее неизвестные данные о проявлениях вторичных дислокаций в рыхлых грунтах в плейстосейстовых зонах обоих землетрясений, причем они не только описаны качественно, феноменологически, но и охарактеризованы количественно, что открыло новые возможности для их дальнейшего анализа. Автору удалось определить получить данные о возрасте вероятного палеоземлетрясения, предшествовавшего Цаганскому землетрясению 1962 г., что также является несомненным достижением.

К сожалению, приходится отметить, что разрезы траншей, пройденных через уступы сейсмогенных разрывов Цаганского (рис. 4.1.7) и Мондинского (рис. 4.2.8) землетрясений оставляют больше вопросов, нежели дают ответов. На обоих рисунках непонятно, где находятся основные разрывы, которые, собственно, и сформировали эти уступы. Не выделены коллювиальные клинья, которые должны были образоваться при разрушении сбросовых уступов. Не обозначены горизонты событий. Возможно, имело бы смысл привести результаты фотодокументации траншей, чтобы читатель мог сделать собственные заключения об особенностях строения разрезов.

Не вполне удачно приведены результаты радиоуглеродного датирования. Обычно некалиброванные даты приводятся в формате $XXX \pm XX$ ВР, а возраста, определенные после калибровки – в годах до и после нашей эры (XXXX – XXXX н.э. или до н.э.).

Не очень понятно, как при Мондинском землетрясении могло произойти разжижение в водно-ледниковых отложениях, находившихся в сезонно-мерзлом состоянии (стр. 131). Разжижение предусматривает наличие жидкой воды, которая в мерзлых грунтах отсутствует. Возможно, что разжижились грунты, залегавшие ниже уровня сезонного промерзания, а вышележащие мерзлые грунты потеряли устойчивость и деформировались, как это наблюдалось, к примеру, при Кеминском землетрясении 1911 г., описанном Богдановичем с соавторами. Мне также представляется ошибочным рассматривать разжижение, как следствие изменения уровня грунтовых вод при землетрясении. Связь здесь, скорее, обратная – вода, обособившаяся вследствие разжижения, может подниматься, вплоть до фонтанирования, под давлением вышележащих водонепроницаемых грунтов.

Последняя, **пятая глава** диссертации посвящена практическому применению количественных данных по вторичным дислокациям. В частности, Артем Владимирович попытался уточнить положение макросейсмического эпицентра Цаганского землетрясения (раздел 5.1). Учитывая точность оценки его положения в Новом Каталоге (условная точка помещена в середине залива Провал), а также то, что, в отличие от "эталонного" примера долины р. Уобаш в США, здесь доступны сведения о дислокациях только со стороны юго-восточного побережья Байкала (с одной стороны от очага), надежность уточненных данных, на мой взгляд, невелика. Тем не менее, приведенный пример представляет определенный методический интерес.

Следующий раздел этой главы (5.2) посвящен уточнению параметров сейсмогенного источника Цаганского землетрясения. Для этого автор использует различные корреляционные соотношения, связывающие магнитуду землетрясения с различными параметрами сейсмодислокаций. Как и в некоторых предыдущих разделах, проведенный анализ грешит излишним формализмом, так как не учитывает разброса в оценках исходных параметров. Мне также представляется совершенно излишним использование термина "индивидуальный геолого-геофизический сейс-

могенный источник". По сути – это очаг землетрясения и введение новых терминов и понятий лишь запутывает и без того непростую ситуацию с терминологией.

В последнем разделе этой главы (5.3) автор не вполне корректно указывает, со ссылкой на работу Р.Б. Крапивнера (1986) на возможность разжижения даже плотных глин. В упоминаемой книге рассмотрены явления другого порядка, не имеющие прямого отношения к обсуждаемой теме,

Приложенная к работе база данных по землетрясениям инструментального периода наблюдений и вызванным ими вторичным косейсмическим эффектам в геологической среде представляет, как я уже отметил, самостоятельную научную ценность и желательно, чтобы она была опубликована в общедоступном издании.

Несмотря на сделанные многочисленные замечания, я, в целом, положительно оцениваю диссертационную работу Артема Владимировича Андреева и считаю, что она отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. В основу работы положен большой фактический материал, собранный автором в ходе многолетних полевых работ и систематизированный с применением современных ГИС-технологий. Проведенные исследования позволили получить новые, ранее неизвестные данные о сейсмогеологии Прибайкалья. Я уверен, что Артем Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, и хочу пожелать ему и дальше развивать и совершенствовать избранное им направление сейсмогеологических исследований. Автореферат отвечает содержанию диссертации.

Начальник отдела оценки сейсмической
опасности ЦСГНЭО – филиала ОАО
"Институт Гидропроект", кандидат геол.-мин. наук

А.Л. Стром

27.01. 2014

Подпись А.Л. Строма удостоверяю:
Начальник отдела кадров ЦСГНЭО



Т.С. Козловская