

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИЗК СО РАН

доктор геол.-мин. наук,

профессор РАН

/ Д.П. Гладкочуб /



7 июня 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Остапчука Алексея Андреевича «Режимы межблокового скольжения: условия формирования и трансформации», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Общие положения

Диссертационная работа А.А. Остапчука выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте динамики геосфер Российской академии наук (ИДН РАН). Полный объем диссертации составляет 135 с, 70 рисунков, 6 таблиц, 1 приложение и список литературы из 171 наименования.

Актуальность диссертационной работы связана с важностью поисков приемлемых решений для изучения условий возникновения многообразных режимов подготовки опасных динамических процессов разрушения массивов горных пород в различных участках зон разломов. Эта задача является частью проблемы мирового уровня, ориентированной на изучение законов трения в разломах. Сложность решаемой соискателем задачи заключается в

том, что при внешней схожести напряженно-деформационного состояния и строения участков зон разломов возможны различные последствия – от медленного безопасного скольжения берегов разломов до катастрофической деструкции блоков горного массива. Выявление механизмов возникновения негативных последствий связанных с разломами весьма актуально в горнопромышленной отрасли или при подготовке опасных сейсмических актов вблизи, например, мегаполисов, атомных станций или гидроузлов. Техногенное воздействие на геологическую среду также может приводить к возбуждению сейсмической активности. Поэтому поиск взаимосвязи между параметрами техногенного воздействия и откликом разломов в геологической среде на это воздействие также представляет научный и прикладной интерес. И сказанного следует, что данная диссертация *соответствует специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых*, по которой она представлена к защите.

Структура и содержание диссертации. Диссертация А.А. Остапчука содержит 135 с, 70 рисунков, 6 таблиц, 1 приложение. и список литературы из 171 наименования. Согласно содержанию диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, включающего 171 ссылку.

Во введении дана четкая формулировка цели диссертации, которая определена как экспериментальное исследование закономерностей реализации различных режимов межблокового скольжения, а также разработка модели их возникновения и трансформации. Сделан обстоятельный обзор представлений о механизмах возникновения очагов землетрясений за более чем вековой период исследований отечественных и зарубежных ученых. Актуальность работы соискатель увязывает с выявлением новых закономерностей законов трения, определяющих возникновение различных режимов деформаций в межблоковых

пространствах. Отмечено, что последствия трансформаций режимов скольжения влияют на решения прикладных задач сейсмологии, геомеханики разломообразования, сеймотектоники, тектонофизики, горнопромышленной деятельности. Представлены 4 темы исследований, касающиеся параметров разломных зон, изучения режимов межблоковых смещений с помощью экспериментов в лабораторных условиях и в природной обстановке, и разработки геомеханической модели режимов межблокового скольжения. Приведены четкие формулировки пяти защищаемых положений, а также сведения о 24 публикациях автора по теме диссертации в серьезных изданиях, достойной апробации результатов исследований автора на научных конференциях, о собранных научных данных при активном участии автора в проведении мониторинга и экспериментов.

Первая глава, весьма интересная по содержанию особенно для отечественных специалистов, посвящена результатам изучения строения зон сейсмогенерирующих зон разломов. Много внимания автором диссертации уделено корреляционным соотношениям параметров разломов: длиной амплитудой, шириной зоны влияния. Особый акцент сделан на обсуждении и анализе данных по разлому Сан-Андреас, детализации сейсмологических данных, их сопоставлению с геологическим строением. В заключительной части главы представлены наиболее важные выводы, касающиеся в основном оценок соотношений параметров разломов и сейсмического режима с учетом режимов скольжения в зонах разломов. На взгляд рецензента в главе сосредоточено очень много важного материала, представляющего значительный интерес для российских специалистов: геологов, сейсмологов, физиков и механиков. Автором для дальнейшего рассмотрения сформулирован важный вопрос о том, как соотносятся режимы динамического и квазистатического смещения с позиций единого физического процесса.

Есть несколько небольших замечаний или рекомендаций к выводам о параметрах разломов, изложенным в первой главе. При рассмотрении параметров разломов следовало бы расширить список предшественников, занимавшихся этими исследованиями в 60-70 годы, сделав акцент как на первоисточники. Например, целесообразно было бы учесть работы Herve J.C., Cailleux A., 1962; Nowroozi A.A., 1971; а также работы Ружича В.В., 1972, 1977; и др., в которых, в частности, введено понятие зоны динамического влияния, отличающейся от узко локализованной внутренней зоны скольжения. Там же есть информация о весьма существенном изменении соотношений амплитуды и ширины зоны разломов с их протяженностью при удалении от земной поверхности в сейсмофокальные горизонты земной коры. Полученные автором соотношения данных параметров, связанных с зоной разлома Сан-Андреас и сейсмическим параметрами, основаны на коротком каталоге землетрясений 1984-2003 гг. и их представительность будет лишь относительной, поскольку сейсмический режим разлома заметно менялся во времени, а его индивидуальное строение и смещения не могут отражать широкую палитру параметров других зон разломов, особенно после их эксгумации. Но данные замечания не снижают ценности результатов, изложенных в первой главе и выводов сделанных автором.

Вторая глава, является по своей сути весьма важной в работе. Она посвящена изложению и анализу результатов проведения лабораторных и натуральных экспериментов по моделированию режимов скольжения в межблочных пространствах (т.е. разломах), а также режимов диссипации упругих волновых колебаний. Соискатель, в своем эпиграфе к диссертации в виде высказывания Леонардо да Винчи, не случайно отобразил важнейшую роль эксперимента, как спасение исследователей от заблуждений. Цель экспериментов - выяснение условий и причин перехода одного режима в другой. Важно также и то, что проводились эксперименты на слайдер-

моделях не только в лабораторных условиях, но и в натуральных, то есть на реальном сегменте плоскости тектонического разлома на полигоне в. п. Листвянка, что улучшало условия подобия, особенно на масштабном уровне. Акцент в проведении исследований был сделан на выяснении закономерностей формирования и эволюции режимов скольжения по межблочным пространствам при разных условиях нагружения, свойств заполнителя, состава и количества флюидных примесей, размеров и геометрии шероховатости в плоскостях сместителей. В этом заключалась уникальность условий проведения экспериментов, в результате которых были получены нетривиальные результаты. Один из важных выводов гласит о том, что режим межблочного скольжения во многом зависит от соотношения жесткости трещины и жесткости самих блочных массивов. Изучались также механизмы проявления триггерных эффектов при разнообразных воздействиях на области контактирования. Важно, что было показано: внешними воздействиями можно регулировать режимы скорости скольжения и режимы излучения упругих колебаний, а, следовательно, управлять динамическими процессами отклика среды в высоконапряженных участках разломов в сторону снижения опасности или ее возрастания. Дано экспериментально обоснованное объяснение условий возникновения краткосрочного предвестника перед наступлением завершающего акта динамического срыва из-за нарастающего снижения сдвиговой жесткости на контактах в области разрыва. С помощью натуральных испытаний со всей очевидностью показано: в зонах крупных разломов со сложной геометрией и разными размерами неровностей уровень опасности возникновения крупных срывов и волнового излучения зависит от локальных свойств контактного взаимодействия этих неровностей.

Содержание этой главы и выводов вызывает самое благоприятное впечатление, соответствующее высокому научному уровню диссертанта. Тем

не менее, следует отметить, что данный уровень экспериментов – это лишь первый шаг в направлении к изучению процессов подготовки разрушительных горно-тектонических ударов в реальной геологической среде, а тем более при формировании очагов землетрясений в сложнейших трибофизических условиях контактного скольжения: при высоких температурах, давлениях, флюидном насыщении, петрохимических преобразованиях минералов горных пород, влияющих на трение.

Третья глава. Она посвящена анализу результатов инструментальных измерений, проведенных на природных геоструктурных объектах, в дополнение к лабораторным физическим экспериментам. Такой подход выбранный соискателем, направленный на решение поставленных вопросов в интерфейсных средах, существенным образом расширяет возможности получения новой важной информации. Были выбраны объекты для многолетнего мониторинга движений в тектонических разломах: зона Ангарского надвига, Приморского сброса и фрагмента зоны Главного Саянского разлома, изученных при соучастии с геологами в подземной горной выработке на полигоне “Талая”, которые значительно расширили представления о реальном устройстве разломов и разнообразных режимах смещений в них. Отсюда автору с его коллегами пришлось самостоятельно конструировать новые измерительные устройства, разрабатывать методику деформационного мониторинга, анализа и интерпретации собранных сведений, проводить их сопоставление с данными лабораторных экспериментов. Важно, что при этом для имитации антропогенных факторов влияния также использовался метод внешних динамических воздействий на режим смещений в трещинах и разломах с применением мощных домкратов и тестовых кумулятивных взрывов со слабыми зарядами. Один из важных полученных выводов от реализации такого подхода гласит о весьма многоплановом разнообразии режимов смещений в природных

интерфейсных средах, обусловленных избирательностью откликов на различные типы воздействий природного и антропогенного происхождения. Выделены присущие природным движения в разломах фазы проявления крипа, относительного покоя и срывов, связанных с вариациями естественной жесткости разломов в локальных сегментах, обусловленные особенностями их устройства в разных участках и влиянием фонового напряженного состояния вмещающих породных массивов. Однако было установлено и естественное ограничение в получении оценок скоростного режима смещений тектонического происхождения из-за относительно кратковременных рядах наблюдений, что было компенсировано изучением данных по многолетним мониторинговым деформационным наблюдениям, взятым из литературных источников. По мнению рецензента, проведение подземных деформометрических исследований следовало бы проводить в комплексе с сейсмометрическими измерениями. Материал этой главы и полученные выводы свидетельствуют о широком кругозоре соискателя, нацеленного на обобщение сведений и решение поставленных задач.

Четвертая глава. Данная глава является наиболее значимой, поскольку в ней сконцентрированы и анализируются материалы проведенного многопланового изучения режимов межблокового скольжения в геологической среде, представленные в виде геомеханической модели, что является несомненной ценностью результатов исследований А.А. Остапчука как молодого исследователя в столь сложной области геофизических наук. Представленная модель основывается на обобщении собранных сведений, их анализе и интерпретации, касающейся процессов самоорганизации вещества непосредственно в зоне контактного взаимодействия в пятнах скольжения в условиях, имитирующих природные процессы в тектонических сейсмогенерирующих разломах с их естественной шероховатостью. Предварительно автором проведен анализ классической модели

прерывистого скольжения очагов землетрясений стик-слип, предложенной еще полвека назад в работе W.F. Brace и J.D. Byerlee (1966). К настоящему времени эта наиболее признанная модель очага землетрясения представляется достаточно упрощенной и уже исчерпавшей заложенные в ней ресурсы, поскольку реальные геологические аспекты глубинных процессов в то время в ней практически не учитывались. В основу представленной геомеханической модели соискателем положены экспериментально изученные особенности самоорганизации гранулированного вещества в тонком слое контактного скольжения. При этом наряду с собственными результатами экспериментов анализировались и использовались наработки зарубежных специалистов, например, в (Sammis et al, 1987; Turcotte et, al., 2003). Таким образом, при изучении трибофизических процессов в слое скольжения учитывалось взаимодействие частиц вещества заполнителя, например, в виде стеклянных шариков или частиц кварцевого песка с выстраиванием силовых цепочек и учетом углов их наклонов относительно плоскости скольжения. Было установлена связь упорядоченности силового скелета с возникновением динамических событий в межблоковом контакте. Рассмотрена эволюция формирования пятен скольжения в межблоковых зонах разломов, представленных как совокупность силовых мезоструктур, определяющих режимы излучения сейсмических сигналов. Большое внимание уделено эволюции контактных взаимодействий неровностей, влияющих на параметры сдвиговой жесткости межблочных пространствах и соответственно на излучательную эффективность возникающих источников генерации сейсмических колебаний.

В завершающей части четвертой главы соискателем обсуждаются важные вопросы, касающиеся возможности изменения жесткости разлома и скоростного режима смещений посредством применения техногенных

управляющих воздействий с целью достижения безопасной разрядки избыточных напряжений. Представлен важный вывод, согласно которому для достижения необходимого результата эффективно применение закачки в разломную зону вязких жидкостей или дилатантных глиносодержащих суспензий. Высказано также и предупреждение о том, что закачки жидкости могут вызвать неконтролируемое снижение жесткости разлома и привести к обратному негативному результату, так же как и не рассчитанная выработка горного массива в зоне разлома при проведении горнотехнических работ. В изложенных выводах к главе 4, согласно представленной механической модели, соискателем подводятся главный итог исследований, свидетельствующий о том, что главной причиной наблюдаемых в природе изменений режимов скольжения в межблочных средах является изменения их сдвиговой жесткости, контролирующей, в конечном счете, режим сейсмической активности.

Основные научные результаты

В сжатом виде основные результаты, полученные Алексеем Андреевичем Остапчуком содержатся в пяти хорошо обоснованных защищаемых положениях, которые сводятся к следующим пунктам:

- Активные деформационные процессы в разломных зонах, сопровождающиеся сейсмичностью, локализуются в узких областях, ширина которых в диапазоне длин разломов км $L=10-100$ км составляет величину порядка $(10^{-3} - 10^{-2}) \cdot L$. Для зон ветвления разломов степень локализации деформаций существенно ниже. Как правило, меньшая сейсмогенная ширина разломной зоны свидетельствует о более высокой интенсивности деформационных процессов.
- В условиях скоростного разупрочнения контакта бортов разлома, режим скольжения определяется соотношением двух параметров, которые могут

быть определены из результатов сейсмологических наблюдений – сдвиговой жесткости разлома и жесткости вмещающего массива. Сдвиговая жесткость разлома является макроскопическим параметром, интегрально учитывающим структуру и деформационные свойства нарушения сплошности, и весьма чувствительна к изменению этих свойств.

- Эпизоды деформации нарушений сплошности массива горных пород, имеющие продолжительность от нескольких секунд до многих суток и обладающие фазами нарастания скорости, торможения и покоя, являются типичным явлением в широком диапазоне структурных параметров.

- Вариация сдвиговой жесткости отдельных участков разломной зоны является одним из наиболее вероятных механизмов, регулирующих долю энергии, излучаемой при землетрясении.

- Разработанная геомеханическая модель формирования и трансформации различных режимов межблокового скольжения, основана на представлениях о том, что режим деформирования определяется мезоструктурой центральной части разлома и особенностями контактного взаимодействия геоматериала в областях концентрации напряжений.

Значимость полученных результатов

Представленная на рассмотрение оригинальная и добротная работа А.А.Остапчука вносит серьезный вклад в развитие фундаментальных и прикладных аспектов геофизики и геофизических методов изучения геологической природы и механизмов скольжения в зонах тектонических разломов.

Вклад работы соискателя в фундаментальные науки заключается в получении новых важных сведений, расширяющих существующие представления о процессах фрикционного трения в разномасштабных нарушениях геологической среды. Выявлены важные закономерности,

связанные с изменениями режимов скольжения в зонах разломов в зависимости от вариаций параметров сдвиговой жесткости. Представленную геомеханическую модель скольжения в режимах от медленного крипа до скачкообразных ускорений можно рассматривать как значительное продвижение по пути к разработкам новых моделей очагов землетрясений, что имеет важное значение не только при дальнейшем проведении фундаментальных научных исследований, но и для прикладных применений.

Практическая значимость полученных соискателем результатов может быть реализована в горнопромышленной сфере для снижения инженерно-сейсмического риска от горно-тектонических ударов за счет применения рекомендованных мероприятий по управлению режимами смещений в опасных сегментах разломов, горными выработками, а также для более обоснованной интерпретации сейсмологических данных при прогнозировании землетрясений. Работу А.А.Остапчука можно воспринимать и как важное связующее звено между экспериментаторами, геофизиками, геомеханиками и представителями классической геологии, что весьма важно для планирования и проведения дальнейших работ.

Рекомендации по работе

По мнению рецензента, соискателю в дальнейшем целесообразно продолжать начатые исследования в кооперации с другими специалистами, включая геологов, имеющих соответствующую специализацию и необходимый опыт по изучению глубинного строения сейсмоопасных разломов и трибохимических процессов в контактных сегментах. Вместе с этим необходимо в дальнейшем целесообразно усложнять проведение физических экспериментов с учетом повышенных температур, давлений и притока флюидов разного химического состава, влияющих на жесткость разломов.

Замечания

В процессе знакомства с содержанием диссертационной работы А.А. Остапчука можно сделать следующие замечания:

1. В первом защищаемом положении при рассмотрении соотношения различных линейных параметров разломов следует учитывать ранее выявленные сведения, например в работах (Ружич, 1972, 1977), где показано, что отношение ширины узкой внутренней зоны скольжения в разломах к протяженности разлома может изменяться более чем на порядок при удалении от поверхности в глубокие горизонты земной коры. Об этом также свидетельствует и опыт полевого изучения зон эксгумированных палеосейсмодислокаций, например, в глубоко денудированной зоне Приморского разлома в районе устья р. Бугульдейки.

2. Судя по результатам изучения зеркал скольжения, в глубинных участках зон сейсмогенерирующих разломов, параметры трения при контактных взаимодействиях неровностей, влияющие на режимы скольжения и энергию излучателей сейсмических колебаний, регулируются трибохимическими процессами. В результате контактного трения при повышенных РТ-условиях и флюидном насыщении вещества происходят процессы стресс-метаморфического преобразования горных пород разного состава, возникают продукты скольжения, играющие роль твердой термоустойчивой смазки или продукты пленочного плавления в виде псевдотахилитов. Подобные процессы уже сейчас необходимо иметь в виду для оценок влияния факторов, регулирующих переходы режимов скольжения из одной фазы в другую.

3. Представленная соискателем геомеханическая модель достаточно аргументирована и полезна для дальнейшего продвижения в области изучения трибофизических процессов в очагах землетрясений и для прикладного использования. Однако автору следовало бы учесть работы некоторых предшественников, например, (Флиппов, Попов, Псахье, Ружич и др., 2006; Пат.2273035 РФ, 2006), имеющие некоторые сходные заделы по

рассматриваемым в модели направлениям, хотя и не столь обоснованные физическими экспериментами.

Все указанные замечания не ставят под сомнение научную ценность представленной диссертационной работы А.А. Остапчука.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа А.А. Остапчука “Режимы межблокового скольжения: условия формирования и трансформации”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности, полностью соответствует всем требованиям 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат в полной мере воспроизводит содержание диссертационной работы А.А. Остапчука, поскольку основные материалы диссертации, аргументация защищаемых положений и выводы полностью отражены в автореферате.

Заключение

Рассмотренная диссертация А.А. Остапчука “Режимы межблокового скольжения: условия формирования и трансформации”, представляет законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, важную как в научном, так и прикладном аспектах.

Все защищаемые положения в необходимой мере обоснованы представленными материалами и подтверждены результатами экспериментов, расчетами и научными выкладками. Работа аккуратно оформлена, написана понятным литературным и научным языком. Текст автореферата соответствует содержанию текста диссертации.

Диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим сотрудникам ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор А.А.Остапчук заслуживает присуждения кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10. - “геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых”.

Отзыв на диссертацию составлен доктором геолого-минералогических наук Ружичем Валерием Васильевичем и обсужден на заседании Ученого совета ИЗК СО РАН 7 июня 2016 года, протокол №7.

Главный научный сотрудник ИЗК СО РАН

д. г.- м. н.

В.В. Ружич

Секретарь Ученого совета ИЗК СО РАН

к. г.- м. н.

Р.П. Дорофеева

Почтовый адрес: 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128. Телефон: 8 (3952) 427000. Факс: 8 (3952) 426900, 427000. Email: log@crust.irk.ru, сайт : <http://www.crust.irk.ru>. Адрес электронной почты: drf@crust.irk.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук.