



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН ИЗК СО РАН

Член-корр. РАН, д.г.-м.н.

Д.П. Гладкочуб

«07» 02 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Сегментная активизация разрывов и дискретно-волновая динамика деформаций в сдвиговой зоне (по результатам физического моделирования)» выполнена в лаборатории тектонофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

В период подготовки диссертации Каримова Анастасия Алексеевна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) в должности старшего лаборанта (с 06.2010 по 01.2017 г.), ведущего инженера (с 01.2017 по 12.2021 г.), младшего научного сотрудника (с 12.2021 г. по настоящее время) лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН.

В 2013 г. окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» с присуждением квалификации «Магистр» по направлению «020700.68 Геология».

В 2016 г. окончила очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте 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 2014 г. и Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) по предмету «геотектоника и геодинамика» в 2016 г.

Научный руководитель – кандидат геолого-минералогических наук, Борняков Сергей Александрович, работает в должности ведущего научного сотрудника лаборатории тектонофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

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

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

- члены Секции геофизики и современной геодинамики: *доктора геол.-мин. наук:* В.И. Джурик, О.В. Лунина, В.И. Мельникова, А.В. Поспеев, В.В. Ружич, К.Ж. Семинский; *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; *кандидат физ.-мат. наук* Е.А. Кобелева.

- приглашенные сотрудники ИЗК СО РАН: *доктор геол.-мин. наук* А.В. Аржанникова; *доктор геогр. наук* Ю.В. Рыжов; *кандидаты геол.-мин. наук:* С.В. Ашурков, И.В. Буддо, Ю.П. Бурзунова, И.А. Денисенко; *вед. инженеры:* А.В. Саньков, А.С. Черемных.

Заслушали: доклад А.А. Каримовой «СЕГМЕНТНАЯ АКТИВИЗАЦИЯ РАЗРЫВОВ И ДИСКРЕТНО-ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИЙ В СДВИГОВОЙ ЗОНЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)» по теме диссертации.

Вопросы задавали (всего – 31 вопрос): д.г.-м.н. В.В. Ружич, д.г.-м.н. А.В. Аржанникова, к.г.-м.н. В.А. Саньков, к.г.-м.н. С.Г. Аржанников, д.г.-м.н. О.В. Лунина, к.г.-м.н. А.В. Черемных, д.г.-м.н. В.И. Мельникова, д.г.-м.н. К.Ж. Семинский.

Был заслушан:

- отзыв научного руководителя кандидата геол.-мин. наук С.А. Борнякова.

Были заслушаны следующие сопровождающие документы:

- отзыв ведущего научного сотрудника кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ, кандидата геол.-мин. наук Н.С. Фроловой;

- выписка из протокола семинара лаборатории тектонофизики от 26.11.2021 г.

Выступления специалистов, ознакомившихся с работой до заседания:

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

- д.г.-м.н. В.В. Ружич (ИЗК СО РАН).

В обсуждении приняли участие: д.г.-м.н. О.В. Лунина, к.г.-м.н. В.А. Саньков, д.г.-м.н. К.Ж. Семинский.

Замечания, высказанные при обсуждении, не носят принципиального характера. Они касаются формы представления результатов и не требуют существенной переработки представляемой диссертационной работы.

Объектом исследования в данной работе являлась разрывно-блоковая структура формирующейся крупной сдвиговой зоны в упруговязкопластичной модели литосферы, изучаемая методом физического моделирования. Предметом исследования при этом выступали закономерности деформационной динамики развития разрывно-блоковой структуры сдвиговой зоны: периодичность активизаций деформационного процесса, сегментная структура протяженных разрывов и пространственно-временная динамика деформационных волн.

Актуальность темы исследования

Крупные зоны разломов являются важными структурными элементами литосферы, определяющими её тектоническую эволюцию и контролирующими широкий комплекс генетически связанных с их развитием процессов, в том числе таких важных с прикладной точки зрения, как рудогенез и сейсмичность. Закономерности пространственно-

временного проявления этих процессов в зонах разломов невозможно выявить без знания основных закономерностей структурно-деформационного развития их внутриразломной разрывной структуры.

Целью работы являлось исследование деформационной динамики разрывно-блоковой структуры формирующейся крупной сдвиговой зоны методом физического моделирования.

Основные задачи исследований

- Выполнить с соблюдением условий подобия физическое моделирование процесса формирования крупной сдвиговой зоны в упруговязкопластичной модели литосферы и собрать с моделей необходимый фактический материал, характеризующий деформационную динамику составляющих её внутреннюю структуру разрывов и блоков.

На основе анализа полученного фактического материала:

- Выявить наличие периодичностей в деформационном развитии разрывно-блоковой структуры на разных масштабных уровнях;

- Изучить динамику смещений по разрывам и их связь с деформациями смежных с ними блоков;

- Оценить особенности пространственной миграции неупругих деформаций в разрывно-блоковой структуре сдвиговой зоны.

Методы исследования, фактический материал и личный вклад автора

Основным методом исследования являлся метод физического моделирования [Гзовский, 1975].

За время проведения диссертационного исследования автором выполнено более 100 экспериментов, при разных граничных условиях. Фотографии формирующихся в моделях сдвиговых зон составили исходную основу для сбора необходимого фактического материала. Всего с фотографий собрано более десяти тысяч замеров разных параметров, характеризующих деформационную динамику разрывно-блоковой структуры сдвиговых зон.

Фактический материал, характеризующий деформационную динамику разрывов в сдвиговой зоне, получен при компьютерной обработке нескольких тысяч фотографий программным комплексом «StrainMaster».

Автором выполнено моделирование процессов формирования сдвиговых зон при разных граничных условиях экспериментов, собран, проанализирован и обобщен фактический материал, сформулированы основные выводы в виде защищаемых положений.

Личный вклад автора

Работа представляет собой итог и обобщение результатов исследований, проведенных автором в лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН. Автором выполнено физическое моделирование процессов формирования сдвиговых зон при разных граничных условиях экспериментов. Проведен сбор фактического материала с фотографий экспериментов, а также его анализ и обобщение полученных результатов.

Научная новизна исследования

На основе результатов физического моделирования процессов формирования крупных сдвиговых зон в упруговязкопластичных моделях литосферы впервые установлено, что:

При постоянной скорости деформирования модели развитие разрывно-блоковой структуры формирующейся в ней сдвиговой зоны происходит неравномерно в виде

повторяющихся последовательностей разномасштабных активизаций. В масштабе всего процесса формирования сдвиговой зоны выделены три таких активизации, определяемые как стадии. В пределах стадий выделяются активизации более мелкого масштабного ранга, определяемые как этапы, подразделяющиеся в свою очередь на периоды, в рамках которых реализуются единичные активизации низшего ранга. Таким образом, расширены ранее выявленные представления о периодичности развития сдвиговых зон в виде стадий.

Все активные разрывы в сдвиговой зоне имеют изменяющуюся по простиранию сегментную структуру. Активные сегменты имеют разную деформационную активность, а нередко и кинематику. Показано, что причиной сегментации разрывов является разная деформационная динамика деформаций в смежных с разрывом блоках.

Деформации в упруговязкопластичной среде могут распространяться в виде уединенных локализованных линейных фронтов. В частности, показано, что деформационный процесс в сдвиговой зоне, формирующейся в модели с такой реологией имеет дискретно-волновой характер.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что полученные новые результаты вносят вклад в дальнейшее развитие теории разломообразования. В частности, существенно расширены представления о ранее выявленной неравномерности в деформационной эволюции внутренней структуры зон разломов. Показаны избирательная, сегментная активность протяженных разломов по их простиранию и её физическая природа. Получено дополнительное подтверждение возможности передачи неупругих деформаций в литосфере в виде локализованных фронтов деформаций.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что выявленная сегментная динамика разрывов в сдвиговой зоне создает предпосылки для разработки тектонофизической модели подготовки очага землетрясения. Кроме того, факт возможности реализации смещений разного знака на разных активных сегментах в пределах даже одного разрыва, в условиях равномерного нагружения модели с постоянной скоростью, следует учитывать при реконструкции полей напряжений геологическими методами.

Степень достоверности и апробация результатов

Положенный в основу диссертационного исследования фактический материал получен автором методом физического моделирования в период с 2010 по 2020 гг. Степень достоверности фактического материала обеспечивается проведением экспериментов с соблюдением условий подобия и многократным их повторением при одинаковых граничных условиях для получения статистически значимых количественных данных по исследуемым параметрам.

Количество опубликованных автором или при его участии научных работ - 25, из них 6 в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Представленные в диссертации научные результаты докладывались на семинарах и конференциях различного уровня: молодёжная тектонофизическая школа-семинар (Москва, 2013, 2017); IX международная школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород» (Иркутск, 2013); VII Сибирская научно-практическая конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2014); Всероссийская молодёжная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2015, 2017, 2021); III Всероссийское совещание «Современная геодинамика

Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» (Иркутск, 2016); четвертая тектонофизическая конференция (Москва, 2016); 3-ья международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике, географии» (Севастополь, 2018); Молодежная научная конференция-школа «Геология на окраине континента» (Владивосток, 2019); Всероссийское совещание «Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ» (Иркутск, 2021).

Основные публикации по теме диссертации:

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

1. Тарасова А.А., Борняков С.А. Экспериментальное исследование закономерностей пространственно-временной активизации разломов в деструктивных зонах литосферы // Известия ИГУ. Серия «Науки о Земле». 2014. Т. 9. С. 118–131.

2. Борняков С.А., Семинский К.Ж., Буддо В.Ю., Мирошниченко А.И., Черемных А.В., Черемных А.С., Тарасова А.А. Основные закономерности разломообразования в литосфере и их прикладные следствия (по результатам физического моделирования) // Геодинамика и тектонофизика. Иркутск. 2014. Т. 5 (4). С. 823-861.

3. Борняков С.А., Пантелеев И.А., Тарасова А.А. Дискретно – волновая динамика деформаций в сдвиговой зоне: результаты физического моделирования // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7 (2). С. 289-302.

4. Борняков С.А., Пантелеев И.А., Тарасова А.А. Динамика внутриразломных деформационных волн (по результатам физического моделирования) // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 6. С. 722-724.

5. Борняков С.А., Пантелеев И.А., Черемных А.В., Каримова А.А. Экспериментальное исследование периодической активизации разлома в сейсмической зоне // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9 (3). С. 653–670. doi:10.5800/GT-2018-9-3-0366.

6. Каримова А. А., Борняков С. А. Эволюция разрывной структуры сдвиговой зоны как периодический процесс (по результатам физического моделирования) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 44–52. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.44>

Статьи в периодических изданиях:

1. Борняков С.А., Пантелеев И.А., Салко Д.В., Тарасова А.А. Экспериментальная проверка волнового характера реализации деформаций при пассивном механизме Байкальского рифтогенеза // Вопросы естествознания. 2016. 4(12). С. 41 – 47.

2. Борняков С.А., Каримова А.А. Динамика смещений по разрывам в структурах растяжения: по результатам физического моделирования // Евразийский союз ученых. 2018. № 10 (55). Ч. 3. С. 4–9.

Тезисы докладов научных конференций:

1. Тарасова А. А. Сегментная активизация разломов (по результатам физического моделирования) // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы третьей молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2013. Т.1. С. 310-320.

2. Тарасова А.А. Изучение избирательной активизации разломов методом физического моделирования // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов). Новосибирск, 2014. С. 191 – 193.

3. Тарасова А.А., Борняков С.А., Пантелеев И.А. Экспериментальное изучение сегментной активизации разломов // *Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции*. Иркутск, 2015. С. 188 – 189.

4. Тарасова А.А., Пантелеев И.А., Черемных А.С. Развитие структуры сдвиговой зоны на разных масштабных уровнях // *Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы пятой молодежной тектонофизической школы-семинара*. – М.: ИФЗ, 2017. С. 354-356.

5. Каримова А.А., Борняков С.А. Метод Физического моделирования при изучении закономерностей развития деструктивных зон литосферы // *Инновации в геологии, геофизике, географии. Материалы 3-ей Международной научно-практической конференции*. – Москва: Изд-во «Перо», 2018. С. 58-59.

6. Каримова А.А., Борняков С.А. Физическое моделирование как метод изучения сегментной активизации разломов // *Материалы I молодежной научной конференции-школы, приуроченной к 60-летию юбилею ДВГИ ДВО РАН*. – Владивосток : Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2019. С. 15-18.

7. Каримова А. А. Сравнение результатов физического моделирования деструктивных зон сдвига и данных натуральных наблюдений // *Инновации в геологии, геофизике, географии. Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции*. – Москва: Изд-во «Перо», 2020. С. 69-70.

8. Каримова А. А., Борняков С. А., Пантелеев И. А. Основные закономерности развития разрывной структуры сдвиговых зон: по результатам физического моделирования // *Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: тезисы докладов Всероссийского совещания, посвященного памяти профессора С. И. Шермана*. – Иркутск: Изд-во ИГУ. 2021. С. 118.

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

Согласно паспорту научной специальности **25.00.03 «Геотектоника и геодинамика»** работа соответствует пункту №8.

Пункт №8: Экспериментальная тектоника (тектонофизика), включающая физическое и компьютерное моделирование условий формирования тектонических структур и их сочетаний.

При экспертизе текста диссертации, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» установлено, что оригинальных блоков в диссертации – 75,69%, заимствованных источников в диссертации – 24,31% (при этом 8,61% 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 13.01.2022 г., протокол № 1.

Работа КАРИМОВОЙ Анастасии Алексеевны «СЕГМЕНТНАЯ АКТИВИЗАЦИЯ РАЗРЫВОВ И ДИСКРЕТНО-ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИЙ В СДВИГОВОЙ ЗОНЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)» является законченным исследованием, имеет научную и прикладную значимость, отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, и рекомендуется к представлению в диссертационный совет ИЗК СО РАН Д 003.022.03 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.

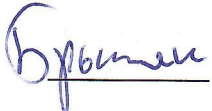
Результаты открытого голосования Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН по вопросу о принятии заключения по диссертации А.А. Каримовой: за – 15, против – нет, воздержалось – нет.

Протокол №10 от 7 февраля 2022 г.

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

 К.Ж. Семинский

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

 Е.В. Брыжак