



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИФЗ РАН

В.А. Камзолкин

свгуст 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
на диссертационную работу

Каримовой Анастасии Алексеевны

«СЕГМЕНТНАЯ АКТИВИЗАЦИЯ РАЗРЫВОВ И ДИСКРЕТНО-ВОЛНОВАЯ
ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИЙ В СДВИГОВОЙ ЗОНЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук по специальности

25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика»

Диссертационная работа А.А. Каримовой посвящена изучению методом физического моделирования закономерности эволюции поля деформаций разрывно-блоковой структуры, формирующейся крупной сдвиговой зоны (геол.).

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, содержащего основные результаты диссертации, а также списка литературы. Рукопись содержит 122 страниц текста, 2 таблицы и 64 рисунка. Список литературы насчитывает 196 наименований (список пронумерован).

Введение диссертации состоит из 7 стр., и в нем представлены рубрики, в которых согласно требованиям ВАК обсуждаются вопросы актуальности работы, цели и задачи, новизна, вклад автора и другие важные показатели научной работы. Здесь представлено три защищаемых положения.

Актуальность темы исследования обосновывается тем фактом, что крупные разломные зоны являются областями, к которым проявляет интерес как рудная поисковая геология, так и сейсмология опасных проявлений сейсмического процесса. В этой связи такие зоны давно являются областью большого интереса тектонофизиков в части моделирования закономерностей их структурно-деформационного развития, а также в части разработки методов прогноза землетрясений. Получаемые с помощью тектонофизических и геомеханических методов изучения крупных разломных зон результаты позволяют расширить наши представления на физику очага землетрясения.

Исследования, выполненные в работе, опирались на уникальную установку по тектонофизическому моделированию, созданную в лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН, и комплекс методов изучения динамики развития быстро протекающих деформаций в моделях, разработанной в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Цель диссертационной работы состоит в установлении основных закономерностей деформационной динамики разрывно-блоковой структуры формирующейся крупной сдвиговой зоны методом физического моделирования.

Научная новизна работы сформулирована достаточно четко. По результатам тектонофизического лабораторного моделирования развития крупных сдвиговых зон на вязко-пластичных глинах было установлено, что в сдвиговой зоне деформации происходят неравномерно во времени, в виде повторяющихся последовательностей разномасштабных активизаций. В масштабе всего процесса формирования сдвиговой зоны выделены три таких активизации, определяемые как стадии. При этом в пределах стадий выделяются менее продолжительные активизации, определяемые как этапы, в рамках которых реализуются единичные активизации низшего ранга. Это расширяет представления о периодичности развития сдвиговых зон в виде стадий, ранее выявленные в работах С.И. Шермана и К.Ж. Семинского. Установлено, что все крупные активные разрывы сдвиговой зоны по

простирацию изменяют свою сегментную структуру. При этом активные сегменты имеют разную деформационную интенсивность с большим представительством инверсионной кинематики относительно общей кинематики всей сдвиговой зоны. Показано, что деформации в вязко-пластичной глине распространяются в виде уединенных локализованных линейных фронтов.

Содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы. Приведён обзор работ по тематике диссертации. Сформулированы основные результаты диссертационной работы, защищаемые положения и научная новизна работы.

В первой главе «ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О РАЗЛОМАХ И ИХ СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ» дан обзор работ, в которых различными методами выполнялось изучение деформаций разломных зон как в природном процессе, так и в лабораторных моделях. Заслуженное место в этом обзоре заняли работы иркутских тектонофизиков, внесших большой вклад в исследования разломов. При этом в обзоре отсутствуют упоминания о важнейших экспериментальных работах по изучению поля напряжений в окрестности крупных сдвиговых разломов, выполненных в 1960-1980х годах Д.Н. Осокиной (ИФЗ РАН) на упругих оптически-активных материалах. Надо отметить, что эти работы носили принципиально важный характер, т.к. позволяли прямо изучать динамику изменения напряженного состояния в моделях при их нагружении.

Мы согласны с важностью для понимания процесса разломообразования термина «зона динамического влияния разлома», введенного иркутскими тектонофизиками. Однако при этом следует заметить, что весь процесс локализации деформаций в земной коре не сводится только к структурно-деформационным признакам. Как это было показано в работах [Verhoogen, 1951; Kamb, 1959; Чиков, 1990, 1992; Паталаха и др., 1987; Поспелов, 1972; Ребецкий, 2006; и др.] вещественное состояние породы в относительно узких

зонах, окружающих разлом, определяет прочностные параметры породы и возможности быстрых их изменений за счет, например, реакции дегидратации. Поэтому важно также изучение особенности состояния пород – тектонитов в пределах таких узких зон – тела разлома [Соболев и др., 2012; Морозов и др. 2019]. Отсутствие ссылок на подобные направления исследований зон разломов и анализа автора диссертации на взаимосвязь в природном объекте структурно-вещественного состояния «тела разлома» с полем деформаций и его эволюцией обедняет выполненный в этой главе обзор.

Вторая глава диссертации «ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН РАЗЛОМОВ» также является обзорной, основное внимание в которой посвящено анализу результатов лабораторного моделирования разломов в виде сдвига по простиранию. Здесь дается описание главных структурных элементов зон сдвига, полученных в экспериментах на моделях. В этой главе так же, как и в предыдущей, основное внимание состоянию исследований зон сдвига фокусируется на работах иркутской тектонофизической школы. При этом совершенно не упомянуты как ранняя математическая модель напряженного состояния зон сдвига, полученная в работах [Ребецкий, 1987, 1988], так и недавние исследования томских геомехаников [Стефанов и др.,]. Важность этих работ для изучения зон сдвигов в лабораторном эксперименте связана с тем фактом, что в них была показана трехмерность напряженно-деформированного состояния модели, определяющая глубинную зональность модели. Именно с этих позиций находит свое объяснение пропеллеровидность R-сколов, замеченная как в лабораторных экспериментах [Парфенов, Жуковский, 1966], так и геологами в полевых наблюдениях [Sylvester, 1988]. С трехмерностью напряженного состояния связано и наличие взбросовой и сбросовой компоненты смещений на R и R' , впервые замеченная в уникальных экспериментах А.С. Борнякова [1981].

Глубинная зональность напряженного состояния зон сдвига [Ребецкий и Михайлова, 2011, 2014] может оказаться принципиально важной для объяснения формирования стадий развития структуры зон сдвига,

выделенных в работах К.Ж. Семинского [1991, 2003]. В работах А.В. Михайловой показано, что R-сколы начинают формироваться как от подошвы модели (место сопряжений горизонтальных жестких пластин модели, на которых лежит слой вязкопластичной глины), так и с поверхности. Численные модели зон сдвига, выполненные в работах Ю.П. Стефанова, например [Стефанов и др., 2014], эти наблюдения подтвердили. Вероятно, что первая – ранняя дизъюнктивная стадия - отвечает периоду, когда каждый из R-сколов еще не объединен в единую трещину от поверхности модели до ее подошвы. Именно на этой стадии в наибольшем объеме должна проявляться трехмерность напряженного состояния модели. На этой стадии деформации модели отличаются от простого сдвига, т.к. траектории главных напряжений максимального и минимального сжатия имеют сложную трехмерную траекторию [Ребецкий, 1988]. После объединения крупного R-скола по всей глубине в модели в его окрестности трехмерность напряженного состояния начинает уменьшаться. С этого момента времени напряженное состояние в срединной части каждого протяженного участка R-сколов должно приближаться к двумерному, мало варьирующемуся по глубине, т.е. концевые области R-сколов, как и промежутки между ними остаются яркими участками трехмерности напряженного состояния. Третья стадия, выделенная К.Ж. Семинским, относится к объединению R-сколов в единый сдвиговый разрыв, что приводит к переходу к квазидвумерному полю напряжений (изменения напряжений по глубине слабые) в пределах всей модели.

На наш взгляд, диссертант во второй главе, упустив ряд ключевых работ по моделированию зон сдвига, не смог дать актуальный на сегодняшний день анализ достижений в этой области.

Также не упомянуты результаты исследований А.В. Михайловой по моделированию зон сдвига на вязко-пластичных глинах. Надо заметить, что именно работы А.В. Михайловой в свое время дали старт созданию первой лабораторной установки в ИЗК СО РАН.

В третьей главе «МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА» рассматриваются вопросы подобия при тектонофизическом моделировании

зон сдвига, дано описание экспериментальной установки по моделированию, используемого модельного материала – влажные вязкопластичные глины, а также оборудования, осуществляющего систему наблюдения за деформациями поверхности модели. В диссертации предполагается, что для соблюдения подобия модели и природного объекта достаточно потребовать выполнения подобия тектонического течения, обеспечиваемого соблюдением соотношений для вязкости, напряжений, линейного размера и времени. В качестве обоснования такого подхода в диссертации сделаны ссылки на работы Гзовского, Шеменды, Шермана и Бабичева.

Подобный подход с основным уравнением подобия в виде соотношения между напряжениями и скоростью деформирования правомерен при исследовании закономерности пластического течения, возникающего в зонах горизонтального сдвига. При других механизмах деформирования, определяющих возникновение значимых форм рельефа, необходимо выполнение соотношения между напряжениями, связанными с массовыми силами тяжести и девиаторными напряжениями. Необходимость выполнения указанного соотношения в природном и модельном объектах возникает также при изучении структуры формирующихся трещин. Как известно, система сколов Риделя, образующая сопряженную пару в природном объекте и в моделях на вязко-пластичных влажных глинах, не ортогональна, что говорит о сохранении в глинах упругой компоненты деформаций. В этом случае для сохранения подобия по параметрам и закономерностям хрупкого разрушения необходимо также выполнить соотношения между напряжениями, связанными с массовыми силами тяжести, и девиаторными напряжениями – пределу упругости (текучести). Как показано в работе [Ребецкий, Михайлова, 2011], совместить условие подобия по тектоническому течению и хрупкому разрушению удастся, если только использовать низко модульные модельные материалы [Шеменда, 1983] или центрифугирование [Рамберг, 1970]. Эти вопросы также обсуждались в известной дискуссии Гзовского и Гуревича в середине прошлого века.

В этой связи раздел, в котором представлены свойства влажных глин, также описан крайне неполно. Не указаны пределы текучести глин (дается

ссылка на работу [Семинский, 1986]), нет данных о значении коэффициента Пуассона, который определяет соотношение между вертикальными и горизонтальными напряжениями от действия массовых сил, что крайне важно для процесса хрупкого разрушения в моделях и природных объектах.

К сожалению, автор диссертации А.А.Каримова несколько формально отнеслась к разделу по теории подобия, хотя именно выявление основных закономерностей хрупкого разрушения в тектонофизическом моделировании является главной задачей исследования.

Четвертая глава диссертации «ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ РАЗРЫВНОЙ СТРУКТУРЫ СДВИГОВЫХ ЗОН» является основной частью работы, в которой представлены главные результаты исследований. В первой серии экспериментов фактический материал моделирования зоны сдвига представлен сериями фотографий с дискретностью от 1 до 30 секунд, отражающей первую (раннюю дизъюнктивную) или вторую (позднюю дизъюнктивную) стадии развития процесса разрывообразования в сдвиговой зоне. Количественный анализ результатов моделирования выполнялся на основе анализа фотографий. Производились замеры трещин, их длины и ориентация, смещения вдоль трещин, а также измерялось расстояние между заранее нанесенными реперными линиями. Первичные данные обработки фотографий по указанным параметрам представлены в виде графиков их изменения во времени. Важным результатом изучения смещений на трещинах является выявление инверсионных движений, что отражено на схеме генерализированного поля трещин с указанием левых (основных) и правых (инверсионных) сдвигов.

В диссертации расчет поля компонентов деформации на поверхности модели осуществлялся во второй серии экспериментов на основе анализа изменения реперной сетки и реперных точек, а в третьей серии на основе компьютерного анализа (метод корреляции цифровых изображений DIC) изменения расположения песчинок, насыпанных на поверхность модели.

Результаты обработки полученных фотоматериалов позволили выявить пространственно-временную динамику деформационных волн в сдвиговой зоне, развивающуюся по мере эволюции её внутренней разрывно-блоковой

структуры. Анализ локальных вариаций деформаций в модели показал, что развивающийся в сдвиговой зоне деформационный процесс обусловлен двумя составляющими: общим перемещением её активного крыла под действием приложенной к модели нагрузки и периодическим прохождением по зоне локализованных фронтов деформаций. Локализованные фронты деформационных волн заходят в сдвиговую зону со стороны активного штампа. Полученные результаты являются новыми, полученными впервые в тектонофизических моделях зон сдвига. Поэтому выполненную серию экспериментов, технологию их документации и обработки следует считать уникальной.

В качестве комментария к этой части работы следует вспомнить диссертацию В.Ю. Буддо, которая также была выполнена в ИЗК СО РАН и в которой также изучались временные вариации деформаций в модели, но с помощью тензодатчиков, помещенных в резиновую оболочку и смонтированных внутри модели из вязко-пластичной глины. В этой работе утверждалось, что между блоками модели, лежащими на двигающихся и покоящихся твердых подложках, происходит обмен волнами деформаций. Там не было замечено продвижения волн деформаций именно вдоль активного крыла модели от деформирующего механизма. Мы полагаем, что новые результаты, полученные в экспериментах А.А. Каримовой, следует рассматривать как более достоверные, т.к. метод наблюдения за эволюцией деформаций, реализованный в них, не допускает внедрение в модель инородных тел (последнее имело место в моделях В.Ю. Буддо).

В пятой главе «СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СДВИГОВЫХ ЗОН С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИССЛЕДОВАНИЙ ИХ ПРИРОДНЫХ АНАЛОГОВ» для природных объектов в виде протяженных разломов сдвигового типа были найдены соответствия с результатами проведенных экспериментов. В части примеров формирования в крупной разломной зоне сегментной структуры разрывов были рассмотрены: разлом Сан-Андреас (Калифорния, США); разлом Марлборо (Новая Зеландия); Северо-Анатолийский разлом (Турция). Примеры возвратно-поступательной динамики смещений по разрывам в

сдвиговой зоне: Медвежья пещера (Польша); Центрально-Сахалинский разлом (Сахалин, Россия); Сейсмостанция Талая (пос. Култук, Россия). Примеры дискретно-волновой динамики: Центральная Азия; Хонсю (Япония).

К этой главе имеется замечание, которое можно сформулировать в форме пожелания. На целом ряде рисунков используется зависимость смещений от времени. При этом сведения об амплитуде смещений приведены в подрисуночной подписи, а не на графике, как это обычно следует делать.

В «**Заключении**» сформулированы основные выводы диссертационной работы, к которым следует прежде всего отнести положение о том, что деформационный процесс в сдвиговой зоне имеет дискретно-волновой характер (получен по результатам компьютерной обработки цифровых изображений методом DIC). Считается, что такой характер процесса связан с перемещением ее активного крыла под действием приложенной к модели нагрузки и периодическим прохождением по ней локализованных фронтов деформаций.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в дальнейшем развитии теории разломообразования. Расширены представления о ранее выявленной неравномерности в деформационной эволюции внутренней структуры зон разломов [Шерман и др., 1991, 1992, 1994; Семинский 2003, 2005]. показана избирательная, сегментная активность протяженных разломов по их простирацию. Получено дополнительное подтверждение возможности передачи неупругих деформаций в литосфере в виде локализованных фронтов деформаций. Выявленная сегментная динамика разрывов в сдвиговой зоне создает предпосылки для разработки тектонофизической модели подготовки очага землетрясения.

Достоверность полученных результатов достигается сериями повторных экспериментов и сопоставлением получаемых результатов с данными других авторов.

Сформулированные в работе защищаемые положения полностью обосновываются результатами экспериментов.

Обобщим сделанные выше замечания по диссертации:

В первой главе недостаточно полно описано современное состояние изученности зон разломов, в частности, упущены работы, развивающие представления о влиянии на деформации разломных зон структурно-вещественных изменений, происходящих в теле разлома (например, работы Чикова, Ребецкого и др.). Во второй главе диссертации пропущены ссылки на ряд фундаментальных работ по зонам сдвига (работы Михайловой и Ребецкого), что не позволило автору А.А.Каримовой в процессе выполнения исследований более адекватно представить характер напряженного состояния моделируемого объекта.

В четвертой главе не было произведено сопоставление полученных результатов по распространению волн деформаций с диссертационной работой В.Ю.Буддо (в списке литературы нет даже упоминания этой работы), в которой также исследовалась динамика изменений деформаций в зоне сдвигания.

В главе 5 можно прочитать следующее: «Если говорить о примерах существующего в моделях дискретно-волнового характера, то прямых наблюдений за деформационными волнами нет, а косвенные подтверждения вытекают из анализа сейсмичности и показывают, что такой процесс вероятен». Однако, в процитированных автором диссертации статьях [Кузьмин, 2012, 2020] представлены результаты прямого наблюдения деформационных волн геодезическими методами. Создается впечатление, что диссертант, либо не читал работы, на которые ссылается, либо сделал это крайне невнимательно. Это же касается и ссылки на работу [Nikolaevsky, Ramazanov, 1985], то в этой статье ни слова нет о межразломных волнах.

Отметим, что все сделанные замечания относятся к обзорной и сопоставительной частям работы и не умаляют значимости выполненной серии экспериментов и анализа полученных в них результатов.

Недостатков по существу работы нет.

Заключение

Общее заключение по работе положительное. Указанные выше недостатки относятся к обзору ранее выполненных исследований и не

снижают достоинств диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем квалификационным требованиям. В диссертации получен ряд существенных новых научных результатов. Отработана технология измерения поля деформаций на поверхности модели из влажных глин. Проведены серии экспериментов на влажных глинах, позволившие обосновать выдвинутые в работе защищаемые положения. Результаты диссертационной работы являются важными и актуальными.

Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы и отражает ее основные результаты, положения и выводы.

Основные результаты диссертации отражены в 6 публикациях различного уровня, в том числе в журналах из перечня ВАК и индексируемых в международных системах цитирования SCOPUS и WoS.

Полученные А.А. Каримовой результаты можно квалифицировать как важное научное достижение в области лабораторного тектонофизического изучения зон горизонтального сдвига.

Диссертация А.А. Каримовой является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение заявленной задачи – исследованию сегментной активизации разрывов и дискретно-волновой динамики деформаций в зоне сдвига с использованием методов лабораторного тектонофизического моделирования. Результаты, полученные в работе вносят заметный вклад в развитие тектонофизики, диссертация удовлетворяет требованиям п.п. 9,10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор Каримова Анастасия Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика».

Отзыв подготовили:

Главный научный сотрудник, заместитель директора по вопросам прикладной геодинамики и мониторинга ответственных объектов ИФЗ РАН, доктор физико-математических наук



Кузьмин Юрий Олегович

Главный научный сотрудник, заведующий лабораторией фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204) ИФЗ РАН, доктор физико-математических наук



Ребецкий Юрий Леонидович

Ведущий научный сотрудник лаборатории фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204) ИФЗ РАН, кандидат геолого-минералогических наук, секретарь семинара лаборатории 204



Маринин Антон Витальевич

Диссертационная работа и отзыв обсуждены 17 августа 2022 года на заседании семинара лабораторией фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204) ИФЗ РАН Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (протокол № 5 от «17» августа 2022 г.). По результатам рассмотрения отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (сокращенное название – ИФЗ РАН), адрес: Российская Федерация, 123242 г. Москва, ул. Большая Грузинская, 10 строение 1, e-mail: direction@ifz.ru, тел: +7 (499) 766-2656, факс: +7 (499) 766-2654

Подписи Кузьмина Ю.О., Ребецкого Ю.Л. и Маринина А.В. заверяю.

Учёный секретарь ИФЗ РАН к.ф.-м.н.

29 августа 2022 г.



Д.В. Лиходеев

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ В ОТЗЫВЕ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борняков С.А. Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны в упруго-вязкой модели // Проблемы разломной тектоники. Новосибир.: СО Наука. 1981. С. 26-44
2. Буддо В.Ю. Динамика развития деформации и напряжений при формировании зон сдвига : (По результатам моделирования) : автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук : 04.00.04 / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и геофизики.- Новосибирск, 1990.- 16 с.: ил. РГБ ОД, 9 90-4/254-5
3. Морозов Ю.А., Матвеев М.А., Смутьская А.И., Кулаковский А.Л. Псевдотахилиты - два генетических типа // Доклады Академии наук, 2019, Т 484, № 5, С. 589-594
4. Парфенов В.Д., Жуковский С.Д. Моделирование хрупкого разрушения в условиях деформации сдвига // Геотектоника. 1966. № 4. С. 112-117.
5. Паталаха Е.И., Лукиенко А.И., Дербенев В.А. Тектонофации мезозоны. Изд. Наука Каз. ССР. Алма-Ата. 1987. 181 с.
6. Поспелов Г.С. Диспергиты и автодиспергация как важная проблема физики лито-петро- тектогенеза. Геология и геофизика. 1972. № 12. С. 53-73.
7. Рамберг Х. Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. М.: Мир. 1970. 224 с.
8. Ребецкий Ю.Л. Дилатансия, поровое давление флюида и новые данные о прочности горных массивов в естественном залегании. Сб. Флюид и Геодинамика. М.: Наука. 2006. С. 120-146.
9. Ребецкий Ю.Л. Напряжённое состояние слоя при продольном горизонтальном сдвиге блоков его фундамента // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука. 1987. С. 41-57.
10. Ребецкий Ю.Л. Напряжённое состояние слоя при продольном сдвиге // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1988. № 9. С. 29-35.

11. Ребецкий Ю.Л., Михайлова А.В. Глубинная неоднородность напряженного состояния зон горизонтального сдвига // Физика Земли. 2014 № 6. С. 108-123
12. Ребецкий Ю.Л., Михайлова А.В. Роль сил гравитации на формирование структур разрушения в глубине зон сдвига // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т 2, Вып.1. С. 46-67.
13. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Новосибир.: Изд. СО РАН филиал Гео. 2003. 242 с.
14. Семинский К.Ж. Миграция зоны опережающих разрывов при формировании крупных сдвигов // Эксперим. тект. и полевая тектонофизика. Киев. Наукова думка. 1991. С. 244-252.
15. Соболев Г.А., Киреев С.М., Морозов Ю.А., Смульская А.И., Веттегрень В.И., Кулик В.Б., Мамалимов Р.И. Исследование нанокристаллов в зоне динамической подвижки // Физика Земли, 2012, № 9, с. 9-17
16. Стефанов Ю.П., Бакеев Р.А., Ребецкий Ю.Л., Конторович В.А. Структура и стадии формирования разломной зоны в слое геосреды при разрывном горизонтальном сдвиге основания // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 17, № 5. С. 41-52.
17. Чиков Б.М. Об основах теоретической концепции стресс-метаморфизма (применительно к линеаментным зонам земной коры. В сб. Структура линеаментных зон стресс-метаморфизма. 1990. С. 6-32.
18. Чиков Б.М. Сдвиговое стресс-структурообразование в литосфере: разновидности, механизмы, условия // Геологи и геофизика. 1992. № 9. С. 3-37.
19. Шеменда А.И. Критерии подобия при механическом моделировании тектонических процессов // Геология и геофизика. 1983. №10. С. 10-19.
20. Hancock P.L. Brittle mirotectonics: principles and practice // J. Struct. Geol. 1985. V. 7, No. 3/4, P. 437-457.
21. Kamb W.B. Theory of preferred crystal orientation developed by crystallization under stress // J.Geol. 1959. V. 67. P. 153-170.
22. Sylvester G. Strike-slip faults // Geol. Soc. Am. Bull.. 1988. V. 100, No 31. P. 1666-1703.

23. Verhoogen J. The chemical potential of a stressed solid. Trans. Am. Geophys. Union. 1951. V. 32. P. 251-258.