

Д2
Г36
152.361

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ

В

ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

НА

РУБЕЖЕ

XXI

ВЕКА



"НАУКА"

Сибирская издательская фирма РАН

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. -М.: Наука, 1971.
2. Гитис В.Г., Деарт Д.А. и др. Элементы экспертной системы ГЕО // Отчет ППИ АН СССР по теме "Разработка программных и мате-

матических средств для проектирования и исследования систем защиты и обработки информации". -М.: 1988. 3. Ломтадзе В.В. Программное обеспечение обработки геофизических данных. -Л.: Недра, 1982. 4. Ризниченко Ю.В. Вопросы количественной оценки сейсмической опасности. -М.: Наука, 1975.

Моделирование процессов разломообразования в литосфере

С.И. Шерман, С.А. Борняков, А.Н. Адамович, В.Ю. Буддо, В.А. Трусков, К.Ж. Семинский, А.И. Мирошниченко
Институт земной коры СО РАН

Настоящая статья преследует две цели: с учетом исторического аспекта показать, с одной стороны, вклад коллектива Лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН в развитие методов физического и математического моделирования, с другой стороны, влияние результатов и выводов, полученных с помощью этих методов на эволюцию представлений о строении и развитии зон крупных разломов литосферы.

Авторский вклад в совершенствование методов физического и математического моделирования. Физическое моделирование в разломной тектонике имеет более чем вековую историю. Его становление и развитие можно условно разделить на три этапа, в рамках которых содержание, акценты и качественное состояние экспериментов определялись, с одной стороны, доминирующими геотектоническими гипотезами, с другой - степенью их теоретической обоснованности и уровнем знаний реологических свойств горных пород.

В первый этап, охватывающий временной интервал со второй половины XIX века до середины 30^х годов нашего столетия, в тектонике преобладали идеи контракционной гипотезы, что и предопределило воспроизведение в моделях различных структурных ситуаций, возникающих, главным образом, в условиях сжатия. В силу отсутствия данных о деформационном поведении литосферы подбор модельных материалов осуществлялся чисто интуитивно. Эксперименты из-за отсутствия теоретической базы носили чаще иллюстративный характер и в основном воспроизводили процессы формирования складок.

Во второй этап - период с 30^х по 80^е годы - физическое моделирование проходит через последовательную серию качественных преобразований и оформляется как самостоятельный ме-

тод исследования. Развитие теории пластичности и прочности в совокупности с экспериментальным изучением реологических свойств горных пород при высоких давлениях и температурах позволило М. Хабберту, Б.Л.Шнеерсону и Е.Н.Люстиху (11) предпринять первые попытки разработки теории подобия тектонических явлений и лабораторных моделей. Ими было показано, что подобие пластических деформаций достигается в том случае, если большие сокращения геометрических размеров моделируемого объекта и сокращение длительности деформационного процесса компенсируются весьма значительными снижениями вязкости модельного материала по сравнению с горными породами. Предложенные условия подобия впоследствии использовались разными экспериментаторами для моделирования только складчатых структур, поскольку для моделирования разломов они были непригодны. Основы теории подобия применительно к моделированию собственно процессов разломообразования были разработаны позже, в начале 50^х годов и связаны с именем М.В. Гзовского. Им же предложены и обоснованы многие другие основополагающие принципы тектонофизики теоретического и методического характера, в частности предложено новое комплексное представление о физических условиях и механизмах формирования разрывов (9), разработаны представления о тектонических полях напряжений (8), обоснованы тектонофизические критерии сейсмичности (10). Не подлежит сомнению тот факт, что по крайней мере в нашей стране именно работы М.В.Гзовского, а позже и его учеников Д.Н.Осокиной, А.В. Михайловой и других способствовали внедрению методов физического моделирования среди специалистов по разломной тектонике и переходу его на качественно новый уровень. Эксперимент переставал быть просто оригинальным аргумен-

том в полемическом споре, а постепенно превращался в теоретически обоснованный метод исследования.

Систематические экспериментальные исследования процессов разломообразования в Институте земной коры, начатые в конце 1974 г. по инициативе и под руководством С.И. Шермана, и в последующие два десятилетия имели определяющее влияние на тенденции развития экспериментальных работ в нашей стране. С самого начала эти исследования отличались новизной подхода к моделированию. В частности, впервые постановка планируемых для решения с помощью эксперимента задач выходила за рамки традиционного использования физического моделирования для демонстрации физической реальности различных теоретических построений и была направлена на проверку количественных взаимосвязей параметров разломов, полученных ранее по эмпирическим данным для Байкальской и других тектонотипов рифтовых зон. Уже первые полученные результаты показали необходимость совершенствования как теории подобия, так и методики и техники проведения экспериментов (3, 4, 5, 24). Только обоснованно подобранные критерии - комплексы, определяющие корректность выбора модельного материала и граничных условий его деформирования в совокупности с последовательно построенной схемой методических приемов подготовки и проведения эксперимента, в итоге могли обеспечить корректность получаемой с моделей качественной и количественной информации. Авторами были проанализированы и дополнены условия подобия (2, 25) и введен статистически обоснованный принцип многократной повторяемости каждого конкретного эксперимента для максимально возможного учета проявляющихся в нем элементов случайных явлений.

Развитие идей разломной тектоники в начале 80^х годов поставило на повестку дня серию вопросов, получить ответы на которые с помощью традиционно сложившихся структурно-геологических и геофизических методов исследований не представлялось возможным из-за неучета ими такого важного параметра, как время. Из-за недопонимания роли этого параметра в геолого-геофизических процессах ему не уделялось должного внимания, и лишь в конце 80^х начале 90^х годов представители ведущих геофизических школ пришли к мысли о необходимости использования фактора времени как информационного параметра геодинамических процессов, что нашло отражение в разработке геологических и физических основ четырехмер-

ной геофизики. В предшествующие же годы недостаток целенаправленных геолого-геофизических исследований этого плана в какой-то мере компенсировался моделированием.

Авторами были впервые разработаны и апробированы два принципиально новых метода экспериментального изучения процессов разломообразования в упруговязких моделях: тензометрический метод и метод акустической эмиссии (6, 7, 21). Их введение в методический арсенал физического моделирования в совокупности с другими уже устоявшимися методами послужило базой для нового качественного преобразования эксперимента и перехода его в третий этап развития. Если в рамках второго этапа объектом экспериментального изучения являлись процессы структурообразования простых и сложных разломных зон в их временной эволюции, то в третий этап акцент сместился на изучение закономерностей динамики взаимосвязанных со структурообразованием полей деформаций и напряжений, а также процессов собственно деструкции, отражаемых режимом излучения упругих волн (21).

Заканчивая этот исторический экскурс в части развития методологии физического моделирования, можно с уверенностью констатировать, что в нашей стране экспериментальные исследования применительно к разломообразованию, возрожденные в свое время М.В. Гзовским в лаборатории тектонофизики ИФЗ АН СССР, после его смерти в 1971 г. получили свое дальнейшее комплексное развитие в лаборатории тектонофизики Института земной коры. В данном случае уместно отметить, что многие творческие начинания авторов настоящей статьи в области эксперимента остались бы нереализованными без всесторонней поддержки со стороны директора института академика Н.А. Логачева, его заместителя д-ра. геол.-мин. наук О.В. Павлова, обеспечившими своевременное решение как кадровых вопросов, так и вопросов развития материально-технической базы экспериментальных работ.

Из-за отсутствия специализированных установок серийного производства для физического моделирования авторскому коллективу пришлось все необходимое экспериментальное оборудование проектировать и изготавливать отчасти самостоятельно, отчасти с помощью Иркутского опытного завода. Так были созданы установка "Разлом" и "Тензометрическая приставка" к нему для моделирования на непрозрачных упруговязкопластичных модельных материалах и установка "Деформатор" для оптического моделирования.

Одновременно с развитием физического моделирования в последнее десятилетие неуклонно возрастал интерес к математическому моделированию. С одной стороны это было обусловлено стремительным совершенствованием компьютерных технологий, с другой возникновением ряда специфических проблем, связанных с разломообразованием, решение которых без применения механико-математических методов и методик было бы весьма затруднено. К тому же стимулом для использования этих методов служили их доступность и экономичность в реализации, а также широкие возможности вариационного анализа многокомпонентных теоретических моделей. Не останавливаясь на библиографии, достаточно полно представленной нами в серии последних монографий (15,16,17), отметим лишь две особенности в работах, предшествующих нашим исследованиям. Во-первых, в них разломы, как правило, аппроксимировались одиночными трещинами простой формы, во-вторых, чаще всего изучалось напряженно-деформированное состояние упругого тела с одиночной трещиной, и в редких случаях проводился аналогичный анализ упруговязкого тела. Взяв за основу позитивные моменты из ранее сделанных разработок и взвесив реальные методические возможности математического моделирования, авторы выделили для решения наиболее перспективные, но слабо разработанные направления: оценка потенциальной активности сложных разломных структур и, в частности, зон сочленений разломов; оценка условий образования и существования иерархических совокупностей разломов; оценка условий изменения тектонической активности разломов во времени; оценка условий разрушения межразломных перемычек; оценка условий формирования магистрального шва в разломной зоне во времени. Эти и некоторые другие второстепенные направления реализовывались в течение ряда последних лет в тесной взаимосвязи с физическим моделированием и полевыми тектонофизическими исследованиями.

Авторский вклад в изучение проблемы разломообразования с помощью методов физического и математического моделирования. Исследования В.Г. Хобса, Е. Зюсса, А.П. Карпинского, В.А. Обручева, Н.Г. Касина, И.Г. Кузнецова и других предопределили переворот во взглядах геологов на роль и значимость крупных разломов в земной коре. Решающее значение для быстрого развития нового направления в тектонике имела работа А.В. Пейве (14). В ней впервые дано четкое определение понятия "глубинный разлом" и названы его характерные

признаки. Основные тенденции дальнейшего развития учения о разломах в нашей стране были определены последующими работами А.В. Пейве, А.Н. Заварицкого, Н.С. Шатского, В.В. Белоусова, А.И. Суворова, В.Е. Хаина, И.И. Чебаненко и их учеников и последователей.

К середине 70^х годов в результате комплексного исследования глубинных разломов был накоплен обширный фактический материал, показывающий, что крупные разломы имеют длительное и унаследованное развитие, большие пространственную протяженность и глубину заложения, контролируют широкий комплекс геолого-геофизических процессов. Было также показано, что среди них выделяются различные морфолого-генетические типы и для некоторых из них амплитуда горизонтального смещения во много раз превышает вертикальную. Со временем постоянно пополняющаяся качественная геолого-геофизическая информация, характеризующая свойства и функции крупных разломов привела к необходимости разработки ряда вопросов, направленных на выяснение общих закономерностей деструкции земной коры. Их решение потребовало введения в геотектонику, базирующуюся в основном на качественных построениях, количественных методов. В частности, в рамках разломной тектоники было введено понятие "параметры разломов" и благодаря работам Г. Менарда, А.В. Вихерта, М.В. Раца, С.Н. Чернышева, М.В. Гзовского и других их количественный анализ получил активное развитие.

В Институте земной коры это новое направление начало развиваться с начала 70^х годов (22, 23, 24). Постепенно накапливаемая информация по выявленным корреляционным связям между параметрами разломов требовала экспертной проверки для чего, как уже отмечалось выше и было использовано физическое моделирование.

Уже первые проведенные авторами серии экспериментов по моделированию процессов разломообразования показали, что традиционное представление о разломе как линейно-вытянутой плоскости требует корректировки. Из наших наблюдений за моделями, а также из опубликованных в это же время результатов моделирования других исследователей (32, 31) следовало, что при формировании крупного разлома в деформационный процесс вовлекается широкая линейная область разрушаемого слоя. Для её характеристики авторами было введено понятие "области активного динамического влияния разломов (ОАДВ)", проведены количественная оценка её ширины M и комплексное изу-

чение динамики структурного развития. В результате обработки количественной информации, полученной с нескольких тысяч моделей, было установлено, что параметр M имеет многофакторную природу и определяется морфолого-генетическим типом разлома, толщиной разрушаемого слоя H , его вязкостью η и скоростью деформации V . По экспериментальным данным для основных морфолого-генетических типов разломов были рассчитаны корреляционные уравнения множественной корреляции вида $M=f(H, \eta, V)$ (29). С использованием уравнений подобия в первом приближении были количественно оценены латеральные размеры ОАДВР в природных условиях с учетом широкого спектра мощности слоев, типов слагающих их пород и степени тектонической активности тестового района (30).

Вывод авторов о наличии у крупных разломов широкой приразломной зоны впоследствии находил неоднократное подтверждение в результатах полевых исследований и инструментальных наблюдений за движениями в зонах разломов. В последнее время и сейсмологи при анализе временных вариаций коровой сейсмичности пришли к выводу о существовании по обе стороны от магистального шва разлома своеобразного "пространственного коридора", в пределах которого по анализу временного хода сейсмических процессов наблюдается распространение свехдлиннопериодных деформационных волн.

Экспериментальное изучение авторами структурной эволюции ОАДВР позволило установить, что в целом каждый разлом, независимо от его генетической принадлежности, развивается стадийно по единой направленности от многочисленных непротяженных разрывов через серию поранговых структурных перестроек к единому крупному магистральному шву. В пределах каждой стадии в зоне разлома формируется характерный только для неё комплекс структур, что позволяет для каждого генетического типа разлома выделить в качестве своеобразных эталонов эволюционные ряды структурных элементов (4, 5, 15, 16, 17, 18, 19, 29).

С помощью оптического моделирования авторами был детально изучен один из основных типов таких структурных элементов - зоны сочленений разломов. Их образование и развитие определяется взаимодействием разноориентированных одновременно активных пересекающихся или сочленяющихся разрывов, имеющих каждый в отдельности свою область активного динамического влияния более низкого иерархического уровня по отношению к вме-

щающей их ОАДВ материнского разлома. Было установлено, что при взаимодействии разрывов их области активного динамического влияния объединяются, коренным образом изменяя при этом существовавшее ранее в их окрестностях поле напряжений. Наблюдения за структурной эволюцией зон сочленений разломов позволили выделить стадии их развития. Последнее обстоятельство отражает тот факт, что стадийность процесса разломообразования является его фундаментальным свойством, проявляющимся на всех масштабных структурных уровнях.

По результатам оптического моделирования были выделены основные типы зон сочленений разломов, отличающиеся особенностями распределения и концентрации напряжений в их пределах, и в совокупности с математическим моделированием определен их вклад в реализацию энергии тектонической активизации. Эти разработки впоследствии были апробированы при построении ряда схем потенциальной активности разломов для Прибайкалья, Северной Армении и Саяно-Шушенской ГЭС и других территорий, что показало целесообразность их использования для повышения эффективности интерпретации данных по природным процессам (13, 27).

Сформировавшиеся на базе экспериментальных данных представления о разломе как трехмерной постоянно эволюционирующей сложноорганизованной структурной системе привели авторов к необходимости изучения не только закономерностей её структурных преобразований, но и связанных с ними динамических процессов, проявляющихся в вариациях полей деформаций и напряжений, а также в виде акустической эмиссии (АЭ). Подобные нововведения потребовали расширения функций эксперимента и разработки специальных методов, о которых уже упоминалось выше.

Эксперименты, проведенные с использованием тензометрической регистрации полей деформаций в зоне формирующегося разлома дали уникальную по тому времени информацию. Они показали, что деформационная картина в любой момент развития ОАДВР представляет собой отчетливо выраженную мозаику, выраженную локальными чередующимися областями повышенных и пониженных значений деформаций. При этом центры максимумов и минимумов очень мобильны и быстро перемещаются в своеобразном колебательном режиме в объеме разломной зоны как из одного её крыла в другое, так и вдоль её простираения. Как показал проведенный Фурье-анализ, эти перемещения имеют волновой характер и обнаруживают

периодическую составляющую (7, 15, 16, 17). Выявленный в моделях эффект мобильности деформационных полей в зоне активного разлома в последние годы подтверждается обнаружением сейсмологами и геофизиками сверхдлиннопериодных деформационных волн, зарегистрированных ими в результате многолетних наблюдений за сейсмичностью на геодинамических полигонах.

Для изучения закономерностей динамики собственно процессов разрушения в ОАДВР проведен большой комплекс экспериментов с регистрацией акустической эмиссии (АЭ), т.е. упругих волн, вызванных локальной динамической перестройкой структуры. Наряду с регистрацией АЭ специальным устройством, проводилось наблюдение за изменением прочностных свойств модели, что отображалось на диаграммах "нагрузка-время". Эти наблюдения в совокупности со структурным анализом послужили основой для разделения всего процесса формирования разлома на стадии и этапы, с которыми и сопоставлялись данные по АЭ. Было установлено, что вид нагрузки, приложенной к модели и обуславливающий появление в ней того или иного морфологического типа разломной зоны, оказывает закономерное влияние на режим излучения АЭ. Для зон растяжения и сдвига определены функциональные изменения сейсмоакустической активности во времени и их приуроченность к состояниям структуры разрывов, отслеживаемых на природных объектах обычными полевыми методами. В целом полученные результаты показали, что созданная методика регистрации АЭ в моделях позволяет проводить изучение закономерностей излучения упругих волн в ОАДВР любых генетических типов, их локальных структурах и фиксировать миграцию сейсмоактивности как вкрест, так и вдоль их простираия (15, 20, 21).

Комплексный подход к изучению ОАДВР как к сложноорганизованной структурно-динамической системе сохранялся и при математическом моделировании. На основании современных концепций геодинамики, полевых и экспериментальных данных, создавались и апробировались математические модели, позволяющие описывать, анализировать и прогнозировать пространственно-временной ход разломообразования. В частности, были созданы модели для оценки и прогноза потенциальной тектонической активности разломов и зон их сочленений в различных вариантах напряженного состояния вмещающей их среды; модели, объясняющие временную неравномерность сейсмического процесса и позволяющие оценивать

параметры этапов подготовки сильных коровых землетресений; модели, анализирующие иерархические системы разломов одного направления и объясняющие закономерную сбалансированность характеризующих их количественных параметров, а также устанавливающие связь этих параметров со степенью активизации; модели, описывающие процесс разрушения межразломных перемычек во времени, и позволяющие в ряде случаев получить оценки параметров сейсмического процесса взаимодействующих разломов; модели изучающие условия активизации разломов во времени; модели, изучающие закономерности перехода фрагментов разлома в единый магистральный шов (1, 26, 27).

Математическое моделирование заняло сейчас значимое место в исследованиях по разломообразованию. Среди многих разработок, в том числе и фундаментальных исследований (33) выделяются выполненные в лаборатории работы по использованию критерия локального разрушения для количественной оценки степени тектонической активности разломов. Для численного выражения активности введен безразмерный показатель, названный коэффициентом активности. Установлено, что изменение тектонической активности разломов в различных полях напряжений связано с интраструктурой ОАДВР, и ориентровкой разрывов в региональном поле напряжений. Показано, что при постоянном геотектоническом режиме со временем ослабевают контакты между крыльями за счет перехода среды в квазивязкое состояние. Это приводит к возникновению подвижек, не связанных с усилением существующего поля напряжений. Проведенное математическое моделирование объясняет избирательную во времени и пространстве сейсмическую активность различных разломов в пределах единой сейсмической зоны.

Резюмируя все вышесказанное по многолетним исследованиям проблемы разломообразования с применением методов физического моделирования в качестве основных достижений авторского коллектива, на наш взгляд, следует отметить два момента:

Впервые в истории отечественной и зарубежной тектонофизики в рамках одной лаборатории для решения фундаментальной проблемы использован широкий комплекс тесно взаимосвязанных и дополняющих методов моделирования. При этом одни из них, уже известные, усовершенствованы и адаптированы авторами к решению проблемных вопросов, а другие разработаны самостоятельно и применены впервые в практике эксперимента.

Именно под влиянием результатов, полученных авторами комплексом методов моделирования сформировалось представление об активном разломе как о трехмерной сложноорганизованной структурно-динамической системе, дискретно-непрерывная эволюция которой находит выражение в упорядоченном, чаще всего волновом характере изменения различных физических параметров и их полей. Выявление пространственно-временных закономерностей этого изменения - одна из главных задач физического и математического моделирования ближайшего будущего.

Целая серия проведенных экспериментальных работ нашла непосредственное использование в практической геологии. Это новый шаг в целевом направлении экспериментальных работ.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 95-05-14211.

Литература

1. **Адамович А.Н.** О тектонической активности разломов в постоянном поле растяжения // Строеие и геодинамика земной коры и верхней мантии. - М.: ГИН АН СССР, 1990. - с. 12-19. 2. **Бабичев А.А.** О некоторых принципиальных вопросах использования критериев подобия при моделировании трещин и разрывов // Геология и геофизика. - 1987. - № 4. - с. 36-42. 3. **Борняков С.А.** Моделирование сдвиговых зон на упруговязких материалах // Геология и геофизика. - 1980. - № 11. - с. 75-84. 4. **Борняков С.А.** Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны в упруговязкой модели // Проблемы разломной тектоники. - Новосибирск: Наука, 1981. - с. 26-44. 5. **Борняков С.А.** Динамика развития деструктивных зон межплитных границ (результаты моделирования) // Геология и геофизика. - 1988. - №6. - с.3-10. 6. **Буддо В.Ю., Бабичев А.А.** Методика эксперимента по изучению поля сдвиговых деформаций в объеме упруговязкопластичной модели // ФТПРПИ. - 1990. - №1. - с. 38 - 44. 7. **Буддо В.Ю., Трусков В.А.** Поля напряжений внутри модели при формировании среза // Экспериментальная тектоника в решении задач практической и теоретической геологии: Тез.докл. Всесоюз. симпозиума. - Новосибирск, 1982. - С. 39-40. 8. **Гзовский М.В.** Тектонические поля напряжений. - Изв. АН СССР, сер. геофиз. - 1954. - № 3.

- С. 244 - 263. 9. **Гзовский М.В.** Механизмы формирования сложных тектонических разрывов. - Разведка и охрана недр. - 1956. - №7. - С. 131 - 169. 10. **Гзовский М.В.** Тектонофизическое обоснование геологических критериев сейсмичности. - Изв. АН СССР, сер. геофиз. - 1957. - №2. - С. 141 - 160. 11. **Гзовский М.В.** Основы тектонофизики. - М.: Наука, 1975. - 536с. 12. **Мирошниченко А.И., Леви К.Г.** Комплексирование структурно-геологических и структурно-геоморфологических методов при изучении активных разломов на геодинамических полигонах // Сб. тезисов Всес. совещ. "Геодинамика и развитие тектоносферы" - М.: АН СССР, 1990. - С.18 - 20. 13. **Пейве А.В.** Глубинные разломы в геосинклинальных областях // Изв. АН ССР. Сер.геол. - 1945. - № 5. - С. 23-46. 14. **Разломообразование в литосфере.** Зоны сдвига /Под ред. Н.А. Логачева. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1991. - 262с. 15. **Разломообразование в литосфере.** Зоны растяжения / Под ред. Н.А. Логачева. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1992. - 240с. 16. **Разломообразование в литосфере.** Зоны сжатия /Под ред. Н.А.Логачева. - Новосибирск. Наука. Сиб. отд-е, 1994. - 260с. 17. **Семинский К.Ж.** Анализ распределения опережающих разрывов при формировании крупных дизъюнктивов // Геология и геофизика. - 1986. - № 10. - С. 9-18. 18. **Семинский К.Ж.** Общие закономерности динамики структурообразования в крупных сдвиговых зонах // Геология и геофизика. - 1991. - №4. - С. 14-23. 19. **Трусков В.А.** Сейсмоакустический режим моделей трансформного разлома и рифтовой зоны // Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев: Наукова думка, 1991. - С. 62-67. 20. **Трусков В.А., Шерман С.И.** Использование метода акустической эмиссии при моделировании сейсмичности разломов литосферы // Акустическая эмиссия материалов и конструкций. - Ростов-на-Дону: РГУ и СКНЦ. -1989. - Ч.2. - С. 153-159. 21. **Шерман С.И.** Оптимальное зияние разрывов в земной коре Прибайкалья // Математические модели в геологии и геостатика. - М., 1973а. - С. 63-70. 22. **Шерман С.И.** Количественные параметры разломов зон активизаций и их значение при металлогеническом районировании // Металлогения активизированных областей. - Иркутск, 1973б. - с. 52-54. 23. **Шерман С.И.** Физические закономерности развития разломов земной коры. - Новосибирск: Сиб.отд-е, 1977. - 102с. 24. **Шерман С.И.** Физический эксперимент в тектонике и теория подобия // Геология и геофизика. - 1984. - №3. - С. 8 - 18. 25. **Шерман С.И., Адамович А.Н.,**

Мирошниченко А.И. Условия активизации зон сочленений разломов // Геология и геофизика. - 1986. - №3. - С. 10-18. **26. Шерман С.И., Адамович А.Н., Мирошниченко А.И.** Оценка потенциальной сейсмической активности района Спитакского землетрясения по результатам моделирования // Геология и геофизика. - 1993. - №11. - С. 3-12. **27. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю.** Оценка зон динамического влияния разломов по экспериментальным данным // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона. - М., Наука, 1982. - С. 180-184. **28. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю.** Области динамического влияния разломов

(результаты моделирования). - Новосибирск: Наука. сиб. отд-е, 1983. - 112с. **29. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю.** Рекомендации по оценке ширины зон приразломных структурных изменений. - Иркутск. - 1985. - 42с. **30. Courtillot V., Tapponier P., Varet J.** Surface features associated with transform faults: a comparison between observed examples and an experimental model // Tectonophysics. - 1974. - V.24, - P.317-329. **31. Freund R.** Kinematics of transform and transcurrent fault // Tectonophysics. - 1974. - V.21, - № 1-2. - P.93-134. **32. Mandl G.** Mechanics of tectonic faulting. Models and Concepts. - Elsevier, 1988. - 407 p.

Изучение субвертектонических и дегерархических разломов

GPS-технология в решении задач современной геодинамики Байкальского рифта

К.Г. Леви, А.В. Лухнев, В.Ю. Буддо, А.И. Мирошниченко, В.В. Ружич, В.А. Саньков, П.Г. Кириллов, А.М. Алашкин*, В.Т. Залуцкий**,

Институт земной коры СО РАН, * ГТП "Иркутскгеофизика", ** ВНИИФТРИ

Введение. Байкальская рифтовая зона в настоящее время является наиболее детально изученной континентальной рифтовой зоной. Широкий спектр проведенных здесь структурно-геологических и геофизических исследований позволил в деталях представить новейшую структуру, структуру фундамента и глубинное строение литосферы под ней. Комплекс этих данных позволил построить ряд моделей раскрытия рифтогенных структур. Однако, несмотря на это, ряд актуальных проблем не может быть решен без использования GPS-технологии. К ним относятся: 1 - количественная оценка величины горизонтального спрединга в Байкальской рифтовой впадине; 2 - количественная оценка вертикальной составляющей тектонических движений в связи с горизонтальным спредингом; 3 - проявление гляциоизостатических движений в центральной части Байкальского рифта; 4 - оценка роли совокупности вертикальных и горизонтальных тектонических движений в сейсмическом процессе; 5 - колебания уровня Байкала и оценка согласованности этих колебаний с колебаниями уровня мирового океана.

GPS-технология - краткая аннотация.

GPS - спутниковая навигационная система, которая предназначена для обеспечения позиционной информацией служб, преследующих использование этой системы для определенных целей.

На сегодняшний день спутниковые технологии используются для решения широкого

спектра задач, включая персональную навигацию (яхты, машины и т.д.), авиационную навигацию, береговые службы спасения, в механических контрольных системах, гражданском строительстве, деформационном анализе, для геофизического изучения подвижных зон Земли и т.д.

В систему GPS входит 24 спутника вращающихся вокруг Земли на высоте 20.183 км с периодом обращения 12 часов. Первоначальное созвездие спутников насчитывало 24 единицы, обращающихся в 3 орбитальных плоскостях, наклоненных к экватору Земли под углом 63° (9), но с тех пор плоскости вращения этой группы спутников изменились. Они образуют шесть плоскостей с наклоном к экватору 55°.

Имеется четыре категории GPS спутников.

Первое поколение спутников **Blok I** было запущено в феврале 1978 года с Вандербергской Военно-Воздушной базы США в Калифорнии. До 1985г. еще 10 спутников были введены на свои орбиты. Сейчас весь **Blok I** спутников не действует, хотя один до сих пор в стадии между "жизнью" и "смертью". Проектировалось, что эти спутники будут работать 4.5 года (6) и сохранят первоначальный наклон к экватору 63°. Основные отличия между группами этих и последующих спутников заключаются в том, что они не обладали совершенной техникой