

26.21(SY)

II 78

УДК 539.30.(550.30+550.34+551.24) (575.2)

Проблемы сейсмологии в Узбекистане – Ташкент, ИС АН РУз, №7, 2010, 314с.

В сборнике представлены материалы Международной конференции «Современные проблемы сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии» (посвященной 100 летию академика Г.А. Мавлянова), которое состоится в 2010г. в г. Ташкенте. Материалы освещают широкий круг актуальных вопросов по проблемам оценки сейсмической опасности и сейсмического риска, прогноза землетрясений, новейшей геодинамики, тектонических деформаций, напряжений и сейсмичности, техногенной сейсмичности и мониторинга за геологической средой, стратиграфии четверичных отложений, гидрогеологии, инженерной геологии, охраны и рационального использования геологической среды.

Сборник рассчитан на сейсмологов, геофизиков, геологов, гидрогеологов, инженеров-геологов, строителей, проектировщиков и других специалистов.

Ўзбекистонда сейсмология муаммолари – Тошкент, ЎзР ФА СИ, №7, 2010, 314 б.

Тўпламда сейсмология, гидрогеология ва муҳандислик геологиясининг долзарб муаммолари (академик Ғ.О. Мавлонов таваллудининг 100 йиллиги муносабати билан 2010 йилда ўтадиган Халқаро анжуман муносибати билан жамланган) мавзусидаги сўнги илмий натижалар ва сейсмик жихатдан ҳафли бўлган Европа, Осиё ва Ўзбекистоннинг турли минтақалари учун ҳал қилинаётган илмий масалалар натижалари келтирилган.

Тўплам сейсмолог, геофизик, геолог, гидрогеолог, муҳандис геологлар ва бошқа шу соҳага тегишли мутахассисларга мўлжалланган.

The Problems of seismology in Uzbekistan – Tashkent, AS RUz IS, №7, 2010, p. 314

The collection of articles includes the proceedings of reports submitted to the International scientific conference «Modern Problems of Seismology, Hydrogeology and Engineering Geology» (devoted to the 100th anniversary of the academician G. A. Mavlyanov) will be held on 2010e. The reports deal the following topics: seismic danger, seismic risk, forecasting of earthquakes, modern geodynamics and seismicity, technogenic seismicity, monitoring of seismological, hydro-geological and engineering-geological processes, stratigraphy of Quaternary deposits, protection of geological environment, hydrogeology.

The collection is intended for seismologists, geophysics, geologists, hydro geologists, engineering geologists, builders, designers and other specialists.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

К.Н. Абдуллабеков (главный редактор), Г.Ю. Азизов, Т.У. Артыков, Н.М. Джураев, Ф.Ф. Зияудинов, Р.Н. Ибрагимов, Н.Г. Мавлянова, А.Н. Султанходжаев, Л.А. Хамидов, М.А. Туйчиева (ответственный секретарь), А.М.Худайбергенов, С.С.Хусомиддинов, М.Ш.Шерматов

Утверждено Ученым советом Института сейсмологии АН РУз

Протокол № № 5 от 26 марта 2010г.

Рецензент академик А.С. Акбаров

ISBN 978-9943-363-57-1

© Институт сейсмологии АН РУз

© «MUMTOZ SO'Z», 2010

дер всех элементов. Кора Земли складывается снизу вверх сперва атомами сравнительно легких элементов, потом атомами средних элементов и, наконец, атомами тяжелых элементов.

Атомы всех элементов, располагающихся в приповерхностной части твердой Земли, под активным воздействием экзогенных сил постоянно и непрерывно расщепляются на атомы более легких элементов. В атмосфере Земли атомы легких элементов под активным воздействием экзогенных сил (космических лучей) постоянно и непрерывно превращаются в атомы вторичного водорода. В ионосфере Земли атомы вторичного водорода распадаются на ионы.

Вывод

Разработанная нами реальная модель Земли позволит достоверно объяснить парадоксы, установленные в различных сферах Земли, источники движения плит и особенности образования и развития всех оболочек Земли.

Работа выполнена в рамках контракта ККРНТ при КМ РУз по ПФИ № ФА-ТО73.

Литература

1. Фишер Д. Рождение Земли. Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 264с.
2. Израилев В.М. Земля — планета парадоксов. М: Наука, 1991, - 190с.
3. Рикитак Т. Предсказание землетрясений. Пер. с англ. М. Мир, 1979, 388с.
4. Темко С.В., Соловьев Г.А., Милантьев В.П. Физика раскрывает тайны Земли. — М.: Просвещение, 1976. 127с.
5. Садиков Ф.С. Некоторые объяснения актуальных вопросов современных движений земной коры с точки зрения нового взгляда на происхождение и эволюцию Земли// Сборник тезисов докладов «XIII Междугосударственное совещание по изучению современных движений земной коры на геодинамических полигонах». Ташкент, 1991. С.29.
6. Садиков Ф.С., Адылов И.И. Вихревая модель образования Солнечной планетной системы// Сборник докладов научной конференции «Зилзилаларни олдиндан айтиш муаммолари». —Тошкент, 1999. С.99-101.
7. Садиков Ф.С., Адылов И.И. Новый взгляд на возникновение Тунгусского природного явления// Сборник «Проблемы сейсмологии в Узбекистане» №5. Ташкент —2008. С.79-81.

Семинский К.Ж.¹, Кожевников Н.О.², Черемных А.В.¹, Поспеева Е.В.², Бобров А.А.¹,
Оленченко В.В.², Тугарина М.А.³, Потапов В.В.², Бурзунова Ю.П.¹

¹Институт Земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, e-mail: seminsky@crust.irk.ru,

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия,
e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.nsc.ru ³Иркутский государственный технический университет,

Иркутск, Россия, e-mail: tmarina@istu.edu

ЗОННО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПЛЕЧА БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА: РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО- ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе проведения комплексных геолого-геофизических работ в Западном Прибайкалье установлено иерархичное зонно-блоковое строение земной коры области сочленения Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса. В качестве главной межблоковой зоны изученного региона выделяется Обручевская разломная система, которая представляет северо-западное плечо Байкальского рифта и имеет ширину ~50 км. Она состоит из Морской, Приморской и Прихребтовой межблоковых зон, трассирующихся из глубин в десятки километров и расширяющихся у поверхности за счет появления структур высших уровней иерархии. В ходе исследований установлены закономерности проявления и критерии выделения межблоковых зон в разнотипных геолого-геофизических полях, что позволило предложить эффективный комплекс методов картирования зонно-блоковой структуры земной коры.

On the basis of complex geological and geophysical works in West Cisbaikalia there is established hierarchical zone-block structure of an earth crust on Siberian platform and the Sajano-Baikal folded Belt junction. As main interblock zone in the studied region the Obruchevsky fault system which represents a northwest Baikal rift arm and has width about 50 km is allocated. It consists of Morskaya, Primorskaya and Prikhrebtovaya interblock zones traced from depths in tens of kilometres and extending at a surface due to occurrence of zones of highest hierarchical levels. During researches there were established regularities of reflection and criteria of allocation for interblock zones in polytypic geophysical fields that has allowed to offer an effective complex of mapping methods for zone-block structures.

Из существующих представлений о делимости литосферы Земли наибольшую актуальность в настоящее время приобрели модели, теоретические основы которых были заложены в работах М.А.Садовского и Л.И.Красного. Действительно, большинство специалистов, изучающих различные по масштабам объемы литосферы, считают ее иерархической структурированной средой, состоящей из сравнительно стабильных блоков, окруженных широкими зонами повышенной нарушенности субстрата [1-4, 7]. Непосредственным отражением справедливости этих представлений является существование литосферных плит, контактирующих по замкнутой сети дивергентных, конвергентных или трансформных зон. О существовании аналогичных закономерностей делимости в более крупном масштабе свидетельствуют схемы зонно-блоковой структуры земной коры отдельных регионов, построенные в т.ч. и для территории Прибайкалья [5]. В тектоническом отношении межблоковые структуры могут быть представлены разломами, участками проявления разноранговых разломов и трещин, зонами повышенной трещиноватости. Такое многообразие в структурных проявлениях создает существенные трудности их картирования, с которыми сталкиваются исследователи при оценке межблоковых границ на предмет сейсмической активности, радоноопасности, перспективности поисков рудных месторождений, подземных вод и углеводородного сырья. Как следствие этого, достоверность отображения зонно-блоковой структуры в любом масштабе исследования оказывается неравноценной, а в слабо обнаженных и/или малоактивных регионах – практически неудовлетворительной.

Существенное повышение качества картирования связано с разработкой комплексного подхода к выделению межблоковых зон в полях различной природы, что и являлось целью данного исследования. Учитывая его поисковый характер, геолого-геофизические работы проводились для территории Зап. Прибайкалья, как одного из наиболее изученных в тектоническом отношении участков земной коры. Исследования были сконцентрированы на профиле пос.Баяндай – м. Крестовский, ориентированном поперек тектонических структур зоны сочленения древнего Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса. Кайнозойская активизация этой крупнейшей тектонической границы выражается в развитии Байкальского рифта, северо-западное плечо которого полностью пересечено профилем. Таким образом, в результате проведения работ удалось изучить характер взаимоотношений зон и блоков в регионах, существенно отличающихся тектонической активностью на современном этапе тектогенеза.

В ходе исследований решались следующие задачи: 1) сопоставить особенности проявления и подобрать критерии выделения межблоковых зон в разнотипных геолого-геофизических полях; 2) выявить разноранговые межблоковые зоны, составляющие основу зонно-блоковой структуры земной коры Зап. Прибайкалья на современном этапе тектогенеза, и установить их главные характеристики (пространственную геометрию, тип подвижек, состояние внутренней структуры и др.); 3) охарактеризовать возможности различных методов изучения межблоковых зон и на этой основе предложить рациональный комплекс исследования зонно-блоковой структуры земной коры.

Межблоковые зоны являются сложными объектами, разрывообразование в пределах которых сопровождается миграцией флюидов и газов. Вследствие этого, комплекс исследований, реализованный для решения поставленных задач, был представлен геологическими, геоморфологическими, геофизическими и гидрогеологическими методами. Это структурно-геологические способы и приемы картирования разрывных структур на местности, морфотектонический анализ рельефа на основе полевых геоморфологических наблюдений и дешифрирования дистанционных материалов, анализ инструментальных данных о распределении эпицентров землетрясений, магнитная съемка, электроразведка методами естественного поля (ЕП) и симметричного

профилирования (СП), магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), радон-тороновая эманационная съемка и гидрогеологическое опробование источников подземных вод.

Кроме мультидисциплинарности подхода, залогом получения новых сведений о строении достаточно изученной территории Зап. Прибайкалья является реализация в рамках методического комплекса новых для изучаемого региона видов исследований (радон-тороновая съемка), а также производство традиционных видов работ с большей детальностью (магнито- и электроразведка) или с применением новейшего оборудования (магнитотеллурическое зондирование). Еще одним достоинством использованных методик является простота реализации и высокая производительность в полевых условиях, что позволило за сравнительно короткое время сформировать необходимый банк количественной информации о распределении геолого-геофизических полей в пределах профиля пос.Баяндай – м.Крестовский. Общий объем выполненных работ составил: структурная съемка – 61 пункт; электроразведка методом ЕП – 1600 пунктов; электроразведка методом СП – 500 пунктов; МТЗ – 23 пункта; магниторазведка – 500 пунктов; эманационная съемка – 124 пункта; гидрогеологическое опробование – 17 пунктов.

Результатами обработки полученных материалов стали геологический и геоэлектрический разрезы, а также графики изменения вдоль профиля параметров, характеризующих поля различной природы: плотности линеаментов рельефа; объемной активности радона и количества распадов торона; разности потенциалов; полного вектора магнитной индукции; кажущегося удельного электрического сопротивления; минерализации подземных вод и др. Их обработка (путем усреднения значений для фиксированных интервалов одинаковой длины) позволила сопоставлять характеристики разнотипных полей для двух опорных уровней детальности: 2500м между точками – для всего профиля (для МТЗ – 5000м) и 250м – для его юго-восточной прибайкальской части. При этом для последнего, наиболее сложного по строению участка земной коры детальность электро- и магниторазведочных работ достигала 50м.

Корреляция геолого-геофизических параметров, полученных после первичной обработки полевых материалов, не привела к выявлению устойчивых зависимостей между какими-либо параметрами. Поэтому основным способом анализа было сопоставление характера изменчивости разнотипных полей вдоль профиля пос. Баяндай – м.Крестовский. В результате установлено, что основные закономерности их пространственного распределения в подавляющем большинстве случаев совпадают. Это позволило уточнить принципиальные особенности тектонического строения Зап. Прибайкалья, выявить реальную картину нарушенности земной коры региона и установить, что она соответствует тектонофизическим представлениям о зонно-блоковом строении литосферы.

Основные **выводы исследования** сводятся к следующему.

1. В каждом из масштабов исследования изученная территория делится на два типа участков, которые, чередуясь вдоль профиля, представляют дислоцированные зоны и сравнительно стабильные блоки земной коры. Межблоковые зоны, как участки превышения плотности разрывов над средним уровнем, эффективно выделяются в изученных геофизических полях положительными или отрицательными аномалиями, которые по значениям руководящих параметров отличаются в большую или меньшую сторону от среднего арифметического. Участки повышенной нарушенности разрывами, выявленные при разномасштабных геолого-геофизических исследованиях, судя по взаимному положению и соотношению размеров, образуют отчетливую ранговую соподчиненность межблоковых зон. Они представляют 5 смежных уровней и укладываются в схему зонно-блоковой структуры Прибайкалья, которая является фрагментом более мелкомасштабных карт, отражающих иерархию зонно-блоковой структуры литосферы Центральной Азии [5].

2. В качестве наиболее крупной межблоковой структуры Зап. Прибайкалья в изученных геолого-геофизических полях выделяется Обручевская разломная система,

пересекающая всю юго-восточную половину профиля пос.Баяндай – м.Крестовский. Она представляет северо-западное плечо Байкальского рифта и имеет ширину ≈ 50 км, что в 2 раза превышает оценки предшественников [6]. Обручевская разломная система включает Морскую, Приморскую и Прихребтовую межблоковые структуры, которые трассируются из глубин в десятки километров и расширяются у поверхности за счет появления зон высших уровней иерархии. В Обручевской системе размеры нарушенных участков превышают размеры одноранговых блоков, тогда как в северо-западной половине профиля это соотношение является обратным и отражает процесс затухания тектонической активности в краевой части Сибирского кратона. Морская, Приморская и Прихребтовая межблоковые структуры наклонены на юго-восток и имеют крутое падение, наследуя северо-восточные зоны древних тектонитов или пересекая поверхности пологих докайнозойских надвигов. Это в совокупности со сбросовым характером перемещений отражает условия растяжения земной коры с образованием Байкальского рифта.

3. Приобретенный опыт позволяет предложить рациональный комплекс методов для исследования активной зонно-блоковой структуры земной коры, эффективность которого определяется информативностью в плане выделения разноранговых межблоковых зон, сравнительно небольшой себестоимостью, экспрессностью полевых измерений и возможностью адаптации для большинства природных условий. Основу комплекса составляют методы, реализация которых позволяет получить во многих регионах необходимую информацию с заданной детальностью. *Линеаментный анализ рельефа* предоставляет необходимые данные для выделения участков с высокой степенью нарушенности приповерхностной части земной коры. *Электропрофилирование и магнитотеллурическое зондирование* позволяют установить положение на больших глубинах (МТЗ) и у поверхности (СП) зон с низким удельным сопротивлением горных пород, раздробленных и обводненных в результате активных блоковых взаимодействий. *Электроразведка методом естественного поля* дает возможность определять положение участков с низкой разностью потенциалов, что необходимо (через сопоставление с данными СП) для установления «структурной» или «вещественной» природы проводящих зон. *Радоновая съемка* позволяет выделять глубокие зоны интенсивной дегазации, в пределах которых могут фиксироваться локальные максимумы и минимумы газовых эманаций, маркирующие положение отдельных сместителей с проницаемыми или непроницаемыми для газа тектонитами. Кроме того, методический комплекс включает локальные геолого-структурные, геоморфологические и гидрогеологические наблюдения, которые дают возможность определить происхождение и основные тектонические характеристики межблоковых зон, выделенных после совместного анализа перечисленных видов площадных исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (08-05-98062), программы СО РАН ОНЗ-7 (проекты № 6, 7) и ФЦП (госконтракт 02.740.11.0446).

Литература

1. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии – тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. 2004. №1. С.3-20.
2. Гольдин С.В. Деструкция литосферы и физическая мезомеханика // Физическая мезомеханика. 2002. Т. 5. № 5. С.5-22.
3. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. Новосибирск: Наука, 2005. 264 с.
4. Семинский К.Ж. Тектонофизические закономерности деструкции литосферы на примере Гималайской зоны сжатия // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 6. С.17-30.
5. Семинский К.Ж. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии: соотношения между размерами подвижных зон и блоков на разных уровнях иерархии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 10. С.1018-1030.

6. Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression // *Earth-Science Reviews*. 1993. V. 34. P.81-118.

7. Shebalin P., Soloviev A., Le Mouel J.-L. Scaling organization in the dynamics of blocks-and-faults systems // *Phys. Earth and Planet. Inter.* 2002. V. 131. P.141-153.

Сим Л.А.¹, Сычева Н.А.², Сычев В.Н.², Маринин А.В.¹

¹ИФЗ РАН, Москва, Россия ²Научная станция РАН, Бишкек, Кыргызстан

СРАВНЕНИЕ ПАЛЕО- И СОВРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

В работе обсуждаются результаты реконструкции палеонапряжений Северного Тянь-Шаня и их сравнение с данными о современных напряжениях и деформациях. Удовлетворительная корреляция ориентации регионального поля палеонапряжений и сходство их типов с современными делает перспективным такие исследования для характеристики напряженного состояния участков с отсутствием землетрясений за исторический период.

The paper discusses the results of paleostress reconstruction for Northern Tien-Shan and their comparison with data on modern stresses and strains. Satisfactory correlation between the orientation of the regional paleostress field and similarity of their types with modern stress field makes such studies perspective to characterize the state of stress for blocks in the absence of earthquakes in the historical period.

Северный Тянь-Шань выделяется как Северо-Тяньшаньская эпиплатформенная орогеническая область [Чедия, 1986]. Главнейшими морфоструктурами Северного Тянь-Шаня являются Чуйский предгорный прогиб и предгорья, сложенные кайнозойскими отложениями, а также хребты, сложенные палеозойскими комплексами. Границами морфоструктур являются краевые надвиги, сформированные при субмеридиональном сжатии, обусловленном, согласно концепции тектоники плит, столкновением Индо-Австралийской и Евразийской литосферных плит. Северная окраина Тянь-Шаньского орогена окончательно сформировалась в позднем плиоцене-плейстоцене с вовлечением хребтов, разделенных впадинами, в общие поднятия [Чедия, 1986; Миколайчук и др., 2003]. Основой неотектонических построений служат исследования разновозрастных поверхностей выравнивания, а также строения и мощностей новейших отложений. Предпалеогеновая или предорогеновая поверхность выравнивания практически уничтожена современной эрозией и сохранилась в отдельных точках на Северном Тянь-Шане, а наиболее полным и изученным разрезом новейших отложений Северного Тянь-Шаня являются кайнозойские отложения Предкиргизского прогиба (Чуйской впадины), обобщенное описание которых приведено в работе [Миколайчук и др., 2003].

Особый интерес представляют данные о современной активности разломов Северного Тянь-Шаня, которые обобщены в виде данных о сейсмодислокациях [Chediya et al., 2000; Абдрахматов К.Е и др., 2005; Корженков, 2006], а также о скорости, кинематике и времени активности разломов на современном этапе [Трифонов и др., 2002]. Разными исследователями сейсмодислокации зафиксированы на разных участках Иссык-Атинского разлома: в бассейне р. Сокулук, Шамсинско-Тюндюкскому, Чонкурчакскому разломам и другим разломам [Chediya et al., 2000; Абдрахматов и др., 2005, Корженков, 2006]. Согласно данным о современных разломах [Трифонов и др., 2002, с.12] по Чонкурчакскому надвигу (угол наклона – около 30°Ю) скорость голоценового надвигания определена в 0,3 мм/год, а по надвигу Иссык-Ата (углы наклона 20-50° Ю) – 0,5-0,7 мм/год, хотя геодезические измерения за 1973-1983 гг. дали скорость поперечного укорочения 3,6-10,9 мм/год. Таким образом, новейшие разломы Северного Тянь-Шаня активны на современном этапе, многие из них являются сейсмогенерирующими и исследование палеонапряжений, механизмов очагов землетрясений и данных GPS о

The study of young continent-continent collision. Geophysical Research Letter, Published by American Geophysical Union, 2003, V.30, N 24, 8045, pp. 8.1-8.4.

7. Niyazi Turkeli, Eric Sandvol, Ekrem Zor et. al. Seismogenic zones in Eastern Turkey. The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of young continent-continent collision. //Geophysical Research Letter, Published by American Geophysical Union, 2003, V.30, N 24, 8039, pp.2.1-2.4.

8. Fan, G., Ni, J. F., and Wallace, T. C., (1994). Active tectonics of the Pamirs and Karakorum, J. Geophys. Res., 99, 7131-7160.

9. Ni, J., (1978). Contemporary tectonics in the Tien Shan region, Earth Planet Sci. Lett., 41, 347-354.

10. Molnar, P. and Tapponnier, P., (1975). Cenozoic tectonics of Asia, Science, 189, 419-426.

11. Tapponnier, P. and Molnar, P., (1976). Slip-line field theory and large-scale continental tectonics, Nature, 264, 319-324.

12. Jackson, J., Molnar, P., Patton, H., and Fitch, T., (1979). Sismotectonic aspects of the Markansu Valley, Tadjikistan earthquake of August 11, 1974, J. Geophys. Res., 84, 6157-6167.

13. Usmanova M., Rust D., Korjenkov A., Tibaldi A. About influence of modern movements on the Talas-Fergana deep fault to development seismicity of Tien-Shan region and recognized hide faults. Proceed in the International Workshop "Tectonic Evolution and Crustal Structure of the Tien-Shan Belt and Related Terrains in the Central Asian Orogenic Belt", 8-10 June, 2009, // Kyrgyzstan, Bishkek, 2009, pp.55-59.

14. Статьи: Гималаи и Гиндукуш. // Москва, Изд-во «Советская энциклопедия», Большая Советская энциклопедия, №6, 1971, с. 523-525; с. 528.

15. Reigber, C. et al., (2001). New space geodetic constraints on the distribution of deformation in Central Asia, Earth Planet. Sci. Lett., 191, pp. 157-165.

16. Усманова М.Т. О связи современных движений Таласо-Ферганского глубинного разлома с развитием сейсмичности Центрально Азиатского региона. // Ташкент, журн. Геология и минеральные ресурсы, 2010, №2 (в печати).

Черемных А.В.

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, Россия, email: cherem@crust.irk.ru

О СПЕЦИФИКЕ РОСТА РАЗРЫВОВ И ФОРМИРОВАНИИ ИХ СЕТЕЙ В ДЕСТРУКТИВНЫХ ЗОНАХ ЛИТОСФЕРЫ (РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Деструктивные зоны литосферы (ДЗЛ) – это области континентальной или океанической литосферы, характеризующиеся повышенной раздробленностью, интенсивным напряженным состоянием и современной сейсмичностью [1]. Изучение динамики формирования ДЗЛ затруднено в силу большой продолжительности процесса, измеряемой десятками миллионов лет. Физическое моделирование с соблюдением условий подобия позволяет нам реконструировать структурные особенности развития ДЗЛ. Эксперименты проведены при одинаковых реологических и геометрических параметрах моделей, а отличались лишь способом приложения нагрузки к эквивалентному материалу. На базе проведенного моделирования изучена специфика развития разрывов, особенности избирательного роста дизъюнктивов и сложность структурного рисунка сетей разрывов на разных стадиях эволюции деструктивных зон сдвига, растяжения и сжатия литосферы. Выявленные при моделировании специфические особенности развития ДЗЛ полезны при изучении процессов происходящих в природных сейсмоактивных зонах.

Destructive zones of the lithosphere (DZL) are the areas of continental and oceanic lithosphere characterized by increased disintegration, intense stress condition and contemporary seismicity [1]. Study of DZL formation dynamics is impeded by long duration of the process lasting tens of millions of years. Physical modeling in compliance with similarity conditions allows us to reconstruct structural characteristics of DZL evolution. Experiments were conducted with equal rheological and geometrical model parameters; the difference was in the method of applying stress to equivalent material. Based on the performed modeling the following areas were studied: specifics of fractures evolution, peculiarities of faults selective growth and complexity of fractures network structure on various evolution stages of destructive zones of lithosphere wrench, extensional and compressional. Specific characteristics of DZL evolution discovered during modeling are useful in the study of the processes taking place in seismoactive regions.

Деструктивные зоны литосферы (ДЗЛ) развиваются на межплитных и межблоковых границах в океанах и на континентах. Они характеризуются повышенной раздробленностью, высокими напряжениями и современной сейсмичностью литосферы [1]. При этом ДЗЛ являются своеобразным «инструментом для оценки интенсивности глубинных геодинамических процессов» [2]. Специфику деструктивного процесса необходимо рассматривать как в пространстве, так и во времени. Однако, изучение динамики формирования ДЗЛ на природных объектах затруднено из-за большой продолжительности процесса, составляющей десятки миллионов лет. В этом случае, обосновано применение моделирования.

Физический эксперимент, проведенный в соответствии с условиями подобия, позволяет проследить в моделях процесс формирования зоны любого морфолого-генетического типа и выявить его структурные закономерности. На основе моделирования ранее уже выявлены многие закономерности разломообразования. Так известно, что деструктивный процесс в зонах растяжения, сжатия и сдвига литосферы развивается стадийно, от рассеянной трещиноватости и локальных разрывов через серию структурных перестроек к формированию магистрального сместителя [3]. Он сопровождается постепенным снижением активности непротяженных разрывов и их «отмиранием» на фоне роста дислокаций наибольшей длины. Деструкция происходит неравномерно как в пространстве, так и во времени, что выражается в скачкообразном характере изменения многих количественных показателей как отдельных разрывов, так и их систем [3-6]. В процессе формирования крупной разломной зоны литосферы выделяются три основные продолжительные дизъюнктивные стадии с весьма быстрыми во времени переходами между ними [6]. Быстрые переходы между стадиями привлекли наше внимание, т.к. именно в такие моменты система разрывов в деструктивной зоне находится в критическом для нее состоянии, а сами переходы должны сопровождаться выделением большого количества энергии.

Эксперименты проведены на установке «Разлом» в лаборатории тектонофизики Института земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук. Методика проведения экспериментов физического моделирования на установке «Разлом» детально изложена в [3]. При проведении данного комплекса опытов усилия создавались перемещением одного из штампов экспериментальной установки и концентрировались у подошвы деформируемого слоя, что соответствует подлитосферному источнику напряжений [3]. Согласно критерию подобия [7] были установлены следующие соотношения моделей реальным геодинамическим ситуациям: 1 мм на модели соответствует 1 км в природе, а 1 минута эксперимента ~1 млн. лет. Скорость деформации 5 мм/мин соответствует природной скорости 5 мм/год.

Формирование магистрального разлома в моделях ДЗЛ происходит за 18 - 26 минут и при одинаковых параметрах моделей зависит от способа приложения нагрузки (быстро развиваются зоны растяжения, а наиболее продолжительно – зоны сжатия). В это время с интервалом в 40 секунд производилась фоторегистрация сети разрывов на поверхности моделей. Затем разрывы с каждой фотографии были приведены в цифровую форму и, таким образом, создана база данных, отражающая пространственно-временное распределение разрывов в моделях ДЗЛ и пригодная для дальнейшего анализа.

Существует множество количественных параметров, отражающих динамику деструктивного процесса. Надежными показателями этого процесса являются фрактальная размерность и информационная энтропия сети разрывов, плотность разрывов и их распределение по длинам [4, 5, 8, 9]. Для изучения сложности сетей разрывов был использован аппарат фрактальной геометрии [10]. Специфика роста разрывов изучена на основе анализа графиков длин разрывов в разные временные периоды развития ДЗЛ.

Кроме того, на одном из тестовых участков модели зоны растяжения литосферы были измерены амплитуды горизонтального перемещения крыльев разрывов.

Как говорилось выше, рост дислокаций в пределах моделей вне зависимости от типа моделируемой зоны, происходит закономерно от серии небольших разрывов к протяженному магистральному нарушению. Проведенные эксперименты не были исключением. Однако изучение характера роста разрывов в зоне растяжения [11] выявило интересные особенности. Так, на фоне линейного увеличения длины разрывов и амплитуды смещения по ним, отмечаются эффекты несогласованного поведения этих параметров, проявляющиеся в моменты структурных перестроек. При этом деструкция модели между перестройками осуществляется за счет смещений по сбросам и не сопровождается значительным увеличением их длин на поверхности. Быстрый рост разрывов на поверхности модели, который фиксируется во время структурных перестроек, характеризуется аномально низкими (нулевыми или даже обратными) амплитудами смещения по дислокациям. Вариации соотношений амплитуд смещения с длинами разрывов отмечены и в моделях сдвига, где они отражают стадии развития зоны [12].

Количественные показатели динамики развития сетей разрывов в зонах растяжения, сжатия и сдвига приведены на графиках изменения фрактальной размерности и гистограммах длин разрывов (рисунок). На рисунке наблюдаются следующие особенности. Во-первых, формирование разрывной сети начинается раньше и протекает быстрее в зонах растяжения. В зонах сжатия и сдвига хрупкое разрушение начинается позже и протекает значительно дольше по времени. Эта особенность не является неожиданной, т.к. связана с различием в значениях предела прочности горных пород при разных способах приложения нагрузки. Во-вторых, фрактальная размерность, а, следовательно, сложность сети разрывов в деструктивных зонах сдвига и растяжения выше, чем в зонах сжатия. Последнее, вероятнее всего, связано с налеганием надвиговых пластин друг на друга при увеличении деформации, в результате чего происходит сокращение мощности зоны, сопровождающееся перекрытием части разрывов вышележащей толщей. В-третьих, фрактальная размерность, а, следовательно, и сложность сети разрывов в процессе формирования зоны сдвига, увеличивается значительно быстрее. Причем, если на начальной стадии деструкции фрактальная размерность разрывов в зоне сдвига ниже, чем в зоне сжатия, то в момент формирования магистрального шва она даже выше, чем в зонах растяжения (рисунок).

Несмотря на эти особенности, наблюдается и общая закономерность деструктивного процесса, которая выражается в стадийном характере поведения сети разрывов в зонах разломов, развивающихся при различных типах напряженного состояния литосферы. Так на рисунке видно, что все графики имеют ступенчатое строение. Сопоставление фрактальной размерности сети разрывов с другими количественными показателями, проведенное для зон растяжения литосферы [5], свидетельствует о том, что резкие скачки на данных графиках отображают структурные перестройки в разломной зоне, которые сопровождаются значительным приращением длины наиболее протяженных разрывов и снижением плотности разрывов в зоне. Сопоставление гистограмм с графиками вариации фрактальной размерности (см. рисунок) позволило установить, что в рамках стадий

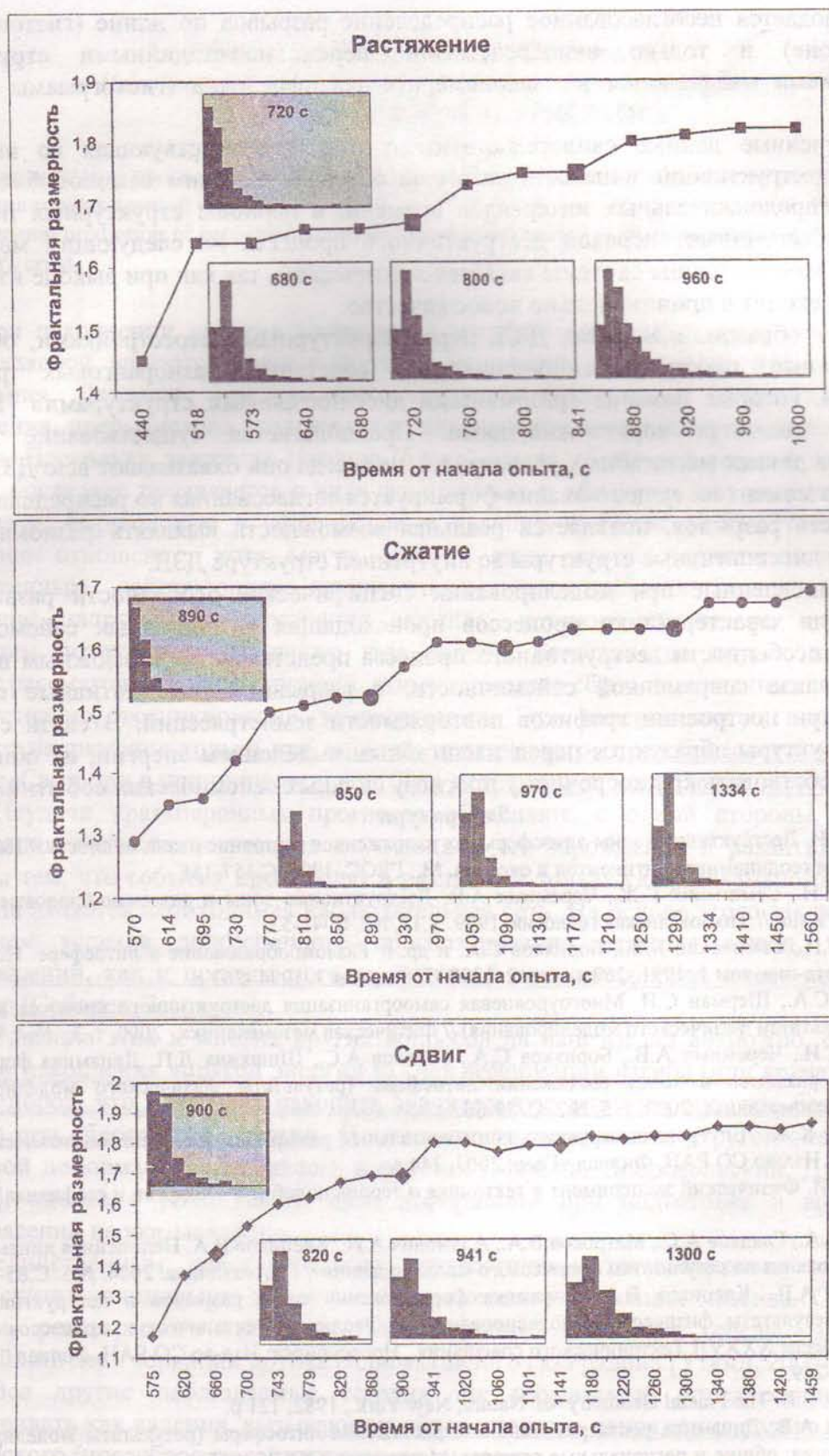


Рис. Графики изменения фрактальной размерности сети разрывов и гистограммы распределения их длины в процессе развития зон растяжения, сжатия и сдвига (результаты моделирования). Жирными точками показаны моменты, предшествующие перестройкам внутренней структуры ДЗЛ.

наблюдается несогласованное распределение разрывов по длине (гистограммы на белом фоне) и только непосредственно перед межстадийными структурными перестройками наблюдается их закономерное распределение (гистограммы на сером фоне).

Полученные данные свидетельствуют о том, что участвующая во внутреннем строении деструктивной зоны сеть разрывов обладает высоким самоподобием лишь в течение непродолжительных интервалов времени, в периоды структурных перестроек, которые обеспечивают переход деструктивного процесса на следующий масштабный уровень. Такое состояние системы является критическим, так как при выходе из него ДЗЛ быстро переходит в принципиально новое качество.

Таким образом, в моделях ДЗЛ, перед структурными перестройками, образуются упорядоченные пространственно-временные сочетания разноранговых разрывных нарушений, которые названы «разрывными диссипативными структурами» [13]. Такие структуры являются короткоживущими. Предполагается существование подобных структур на разных масштабных уровнях, т.е. не всегда они охватывают всю ДЗЛ. В связи с тем, что в момент их существования формируется согласованная по распределению длин совокупность разрывов, появляется реальная возможность выявлять разномасштабные разрывные диссипативные структуры во внутренней структуре ДЗЛ.

Установленные при моделировании специфические особенности развития ДЗЛ полезны для характеристики процессов происходящих в природных сейсмоактивных зонах. Так особенности деструктивного процесса представляется возможным изучать на основе анализа современной сейсмичности, а разрывные диссипативные структуры выявлять при построении графиков повторяемости землетрясений. В связи с тем, что данные структуры образуются перед масштабным выделением энергии, их обнаружение будет способствовать краткосрочному прогнозу сильных сейсмических событий.

Литература

1. Шерман С.И. Деструктивные зоны литосферы, их напряженное состояние и сейсмичность // Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. М.: ГЕОС, 1996. С.157-158.
2. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Черемных А.В. Деструктивные зоны и разломно-блоковые структуры Центральной Азии // Тихоокеанская геология, 1999. Т.18, №2. С. 41-53.
3. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. // Разломообразование в литосфере. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, том 1. 1991.-262 с., том 2. 1992.-228 с., том 3. 1994.-263 с.
4. Борняков С.А., Шерман С.И. Многоуровневая самоорганизация деструктивного процесса в сдвиговой зоне (по результатам физического моделирования) // Физическая мезомеханика, 2000, т. 3, № 4. С.107-115.
5. Шерман С.И., Черемных А.В., Борняков С.А., Гладков А.С., Шишкина Л.П. Динамика формирования генеральных разломов в зонах растяжения литосферы (результаты физического моделирования) // Физическая мезомеханика, 2002, т. 5, №2, С. 79-86.
6. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2003. 244 с.
7. Шерман С.И. Физический эксперимент в тектонике и теория подобия // Геология и геофизика. 1984. № 3. С. 8-18.
8. Борняков С.А., Гладков А.С., Матросов В.А., Адамович А.Н., Клепиков В.А. Нелинейная динамика разломообразования по результатам физического моделирования // Геотектоника. 2004. №5. С.85-95.
9. Черемных А.В., Клепиков В.А. Динамика формирования сетей разрывов в деструктивных зонах литосферы (результаты физического моделирования) // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы XXXVII Тектонического совещания. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 2004. Том. 2. С.267-269.
10. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature, New York., 1982, 121 p.
11. Черемных А.В. Динамика роста разломов зон растяжения литосферы (результаты моделирования) // Тектоника неогена: общие и региональные аспекты. Материалы XXXIV-го Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2001. С. 290-294.
12. Борняков С.А., Шерман С.И. Стадии развития сдвиговой зоны и их отражение в соотношениях амплитуд смещения с длинами разрывов // Геология и геофизика, 2003, т. 44, №7, С. 712—718.
13. Борняков С.А., Трусков В.А., Черемных А.В. Диссипативные структуры зон разломов и критерии их диагностики(по результатам физического моделирования)//Геология и геофизика, 2008, т.49, №2. С 179-187.