

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ



РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Тезисы докладов Всероссийского совещания
с участием приглашенных исследователей из других стран
(г. Иркутск, 11–16 августа 2014 г.)

ИРКУТСК
2014

Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: Тезисы докладов Всероссийского совещания с участием приглашенных исследователей из других стран (11–16 августа 2014 г., г. Иркутск). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014. 165 с.

Издание включает тезисы докладов Всероссийского совещания «Разломообразование и сопутствующие процессы в литосфере: тектонофизический анализ» (г. Иркутск, 11–16 августа 2014 г.), посвященного 65-летию ИЗК СО РАН и 35-летию лаборатории тектонофизики, основателю которой – профессору С.И. Шерману – в 2014 году исполнилось 80 лет.

В сборнике тезисов представлены новые результаты тектонофизических исследований деструкции литосферы, а также важных в практическом отношении процессов, сопутствующих разломообразованию. Рассмотрены актуальные проблемы механизмов формирования зонно-блоковой структуры литосферы, тектонофизические закономерности образования разломных зон на разных глубинах, особенности развития активных разломов при различных режимах деформирования с акцентом на результатах физического и математического моделирования. Особое внимание уделено взаимосвязям разломообразования и сейсмичности, структурному контролю оруденения и кимберлитов, закономерностям выхода газов из зон разломов и др.

Сборник будет полезен широкому кругу специалистов в области тектонофизики, современной геодинамики, механики разрушения, структурной геологии, геофизики, рудообразования, гидрогеологии и инженерной геологии, которые занимаются исследованием разломной структуры и процессов, связанных с деструкцией.

Р е д к о л л е г и я

К.Ж. Семинский (отв. редактор),
С.И. Шерман,
А.В. Черемных

Проведение совещания и издание сборника тезисов поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-20040).

Тексты тезисов публикуются в авторской редакции.

Утверждено к печати Ученым советом ИЗК СО РАН (протокол № 8 от 16.06.2014 г.)

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора	11
РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРЕ: 35 ЛЕТ ИРКУТСКОЙ НАУЧНОЙ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЕ С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков	12
1. ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОННО-БЛОКОВОЙ И РАЗЛОМНО- БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ ЛИТОСФЕРЫ. ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ, ВНУТРИПЛИТНАЯ ИЕРАРХИЯ БЛОКОВ, ИХ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ	
СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ. ХАРАКТЕР МЕЖПЛИТНЫХ И ВНУТРИПЛИТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ Т.Я. Беленович, Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова	16
РОЛЬ РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКИ В ФОРМИРОВАНИИ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА Т.В. Гиоргобиани	17
КИНЕМАТИКА ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ В.С. Жижерин, А.А. Серов	18
СЕЙСМИЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ РАЗЛОМНЫХ СИСТЕМ СОЧЛЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТ–ОКЕАН ДАЛЬНОГО ВОСТОКА РОССИИ Е.Г. Иволга, Ю.Ф. Манилов	19
МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КУРИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ОСТРОВА САХАЛИН С.А. Касаткин	20
ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ М.М. Кобелев, Д.С. Трынкова, В.В. Мордвинова, С.И. Орешин, Л.И. Макеева, М.А. Хритова	21
КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ А.В. Кудымов	22
СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА РАЗЛОМНЫХ ЗОН: РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ Ю.О. Кузьмин	24
РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЫ ПЛИТЫ СКОТИЯ И ЕЕ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫРАЖЕННОСТЬ Е.С. Курбатова	25
ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКТОНОФИЗИКИ – ВЗГЛЯД ЧЕРЕЗ 35 ЛЕТ К.Г. Леви	26
СОВРЕМЕННЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЮГО- ЗАПАДНОГО ФЛАНГА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ А.В. Лухнев, В.А. Саньков, А.И. Мирошниченко, С.В. Ашурков, А.В. Саньков	27
РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ И МОНГОЛИИ ПО ТИПАМ ДЕФОРМАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ А.И. Мирошниченко, К.Г. Леви	28
ЗАРОЖДЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СОПРЯЖЕНИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЕКТОНОМАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ ПЛИТЫ Р.Д. Мухамедяров, А.Ю. Кисин, А.М. Виноградов	29
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДИСЛОКАЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ А.И. Некрасов	30
КИНЕМАТИКА ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ И БЛОКОВ В ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ Б.М. Седов	31
ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА ПО ДАННЫМ О ДИСПЕРСИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН А.И. Середкина, В.М. Кожевников, О.А. Соловей	32

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЮЖНОГО САХАЛИНА Л.А. Сим, Л.М. Богомолов, О.А. Кучай, А.А. Татаурова	33
БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ А.А. Татаурова, М.Е. Козина, О.А. Кучай	34
КОНЦЕПЦИЯ БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ И ПРОБЛЕМА ГРАНИЦ БЛОКОВ Т.Ю. Тверитинова, А.В. Викулин	35
ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ РАВНОВЕСНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ЛИТОСФЕРОЙ И КОНВЕКТИРУЮЩЕЙ МАНТИЕЙ Я.М. Хазан, О.В. Арясова	37
СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ ЮГО-ВОСТОКА БАЙКАЛЬСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ОБМЕННЫХ <i>PS</i> -ВОЛН Л.Р. Цыдыпова, В.В. Мордвинова, Ц.А. Тубанов, М.М. Кобелев, П.А. Предеин	38
РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ КОРЫ И СПЕЦИФИКА ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ) А.В. Черемных	39
 2. СТРУКТУРА КРУПНЫХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ЛИТОСФЕРЫ. АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И КОНТРОЛЬ СИНХРОННЫХ И СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ	
СТАТИСТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАЗМЕРАМИ ВТОРИЧНЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ СТРУКТУР И ПАРАМЕТРАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (ПО МИРОВЫМ ДАННЫМ) А.В. Андреев, О.В. Лунина	42
РАСЧЕТ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЯ ПО ГЛАВНОМУ САЯНСКОМУ РАЗЛОМУ А.В. Аржанникова, Ж.-Ф. Риц, С.Г. Аржанников, К. Лярок, Р. Вассалло	43
ПРОЯВЛЕНИЯ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛОМОВ ТИМАНСКОГО КРЯЖА М.Г. Вахнин	44
ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ НА ПЕРИФЕРИИ БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ Н.В. Вилор	45
СТРОЕНИЕ И КИНЕМАТИКА ИРТЫШСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ В РАННЕЙ ПЕРМИ В.Г. Владимиров, И.А. Савинский	46
АНАЛИЗ НОВЕЙШИХ (ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ) СТРУКТУР; ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДОМЕНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (ОСР-2012) Г.С. Гусев, Л.П. Имаева, В.С. Имаев	47
ИЗУЧЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРА МОНГОЛИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА А.Ю. Ескин, В.И. Джурик, С.П. Серебренников	48
СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ДИВЕРГЕНТНОСТЬ СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА (ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ И ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ) В.С. Имаев, В.И. Мельникова, А.В. Чипизубов, Н.А. Гилева, А.И. Середкина, О.П. Смекалин, Л.П. Имаева, В.В. Мордвинова	49
МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ В СЕЙМОТЕКТОНИКЕ Г.Г. Кочарян	50
ПЬЕНИНСКИЙ УТЕСОВЫЙ ПОЯС: ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ М.Г. Леонов	51
РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА БАЙКАЛО-ЕНИСЕЙСКОГО РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ Р.М. Лобацкая	52
РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ С УЧЕТОМ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ЮГУ СИБИРИ И МОНГОЛИИ) О.В. Лунина, А.В. Андреев	53
ДИЗЪЮНКТИВНАЯ ТЕКТОНИКА ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПРИАМУРЬЯ Ю.Ф. Манилов	54

ПРИРОДА ПОПЕРЕЧНЫХ ЗОН СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КAVKAZA ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУАПСИНСКОЙ ФЛЕКСУРНО-РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ А.В. Маринин, Т.Ю. Тверитинова	55
СТРУКТУРА ГЛАВНОГО ПАМИРСКОГО НАДВИГА ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В.Е. Матюков, А.К. Рыбин, Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев	56
СТРУКТУРА ПРИМОРСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРАСТАНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА В.Д. Мац, Р.М. Лобацкая	57
РАЗЛОМЫ ЛИТОСФЕРЫ ДО И ПОСЛЕ СИЛЬНЕЙШЕГО ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз	58
МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОЧЕ-ЛАМБИНСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ, БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ) Л.Н. Морозова, <u>Ф.П. Митрофанов</u>	59
ИНФРАСТРУКТУРА ЛИНЕАМЕНТА АМУР-СУНГАРИ-ХУАНХЭ И ПОТЕНЦИАЛЬНО СЕЙСМООПАСНЫЕ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ ПО МОРФОСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ Е.А. Мясников	60
РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗОН АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА С.Б. Николаева, Д.С. Толстобров, Д.А. Максимов	62
СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА В ПОСЛЕДНИЕ 12 ТЫС. ЛЕТ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РЕШЕНИЯ ПО ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ РАЗВИТИЯ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ А.А. Никонов, С.В. Шварев, М.В. Родкин, Ю.И. Сыстра	63
СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011–2012 ГГ. А.Н. Овсяченко, Е.А. Рогожин, А.В. Мараханов, Ю.В. Бутанаев, А.С. Ларьков, С.С. Новиков	64
ОБ ИЗУЧЕНИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРКАЛАХ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ЗОН РАЗЛОМОВ В.В. Ружич, Л.А. Иванова, В.Я. Медведев	65
ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИЕ СДВИГИ ЮГА СИБИРИ И МОНГОЛИИ: ПАРАГЕНЕЗЫ СТРУКТУР И ПОЛЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В.А. Саньков, А.В. Парфеев	66
СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ЛИНЕАМЕНТЫ ЧУКОТСКОГО ПОЛУОСТРОВА Б.М. Седов	67
СПЕЦКАРТИРОВАНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ЗЕМНОЙ КОРЫ: ПРИНЦИПЫ, ЭТАПЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ К.Ж. Семинский	68
ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ А.А. Спивак	69
ГЛАВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ И КРАЯ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ Ю.И. Сыстра	70
ВОЗРАСТ ТРЕЩИН, ЛИНЕАМЕНТОВ И ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ Т.Ю. Тверитинова	71
СТАДИИ НАДВИГОВОГО ЭТАПА ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ Ф.Ф. Третьяков	72
ПАРАГЕНЕЗЫ СДВИГОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОЙ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА В.П. Уткин, В.К. Попов	73
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ПРИБАЙКАЛЬЯ Е.Н. Черных, А.В. Ключевский	74
ПРИЧИНЫ ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ О СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ «РИФТОВОЙ» ЗОНЫ А.В. Чипизубов	75
КРУПНЫЕ РАЗЛОМЫ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ БОЛЬШОГО КAVKAZA, ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ И В КРОВЛЕ ФУНДАМЕНТА Ф.Л. Яковлев	76

3. ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ И ДРУГИХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

ВЗАИМОСВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ И ВУЛКАНИЗМА КАК ПРОЯВЛЕНИЙ ВОЛНОВОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА Д.Р. Акманова, А.А. Долгая	78
ГЕОДИНАМИКА КАК ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА БЛОКОВОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СРЕДЫ А.В. Викулин	79
УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИИ И ДЕНУДАЦИИ И.А. Гарагаш	80
МОДЕЛИ КОМПОЗИТНЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИХ ПОСТРОЕНИЯ А.А. Гладков, О.В. Лунина	81
ЦИКЛИЧНОСТЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ А.А. Долгая, А.В. Викулин	82
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ М.О. Еремин, П.В. Макаров, А.Ю. Перышкин	83
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД В РАМКАХ АВТОВОЛНОВОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ Л.Б. Зуев, С.А. Баранникова, М.В. Надежкин, В.В. Горбатенко	84
ПРИЛИВНО-ВОЛНОВОЙ ФАКТОР – ПРИЧИНА СЕЙСМИЧНОСТИ И ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ ЗЕМНОЙ ОБОЛОЧКИ В.Л. Ильченко	85
ОСНОВНЫЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ А.А. Кирдяшкин, А.Г. Кирдяшкин	86
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД ЩЕЛОЧНО-ЗЕМЕЛЬНОЙ СЕРИИ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО И ПЕТРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ А.Г. Кирдяшкин, Н.В. Сурков, А.А. Кирдяшкин, В.Э. Дистанов, И.Н. Гладков	87
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВРЕМЕН ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ НАГРУЖАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД Ю.А. Костандов, М.О. Еремин, П.В. Макаров	88
РАЗВИТИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД Р.А. Лементуева, Н.Я. Бубнова, А.В. Треусов	89
УСКОРЕННЫЙ СИНЕРГИЗМ ВДОЛЬ РАЗЛОМА: ВОЗМОЖНЫЙ ИНДИКАТОР ПРЕДСТОЯЩЕГО СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ Ма Дзинь, Гуо Яншунанг, С.И. Шерман	90
ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСРЕДЫ КАК НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ П.В. Макаров	91
ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННЫХ СЕАНСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ (АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ) ОБРАЗЦОВ МРАМОРА В.А. Мубассарова, Л.М. Богомолов, А.С. Закупин	92
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ А.Ю. Перышкин, П.В. Макаров, М.О. Еремин	93
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НЕРОВНОСТЕЙ В РАЗЛОМАХ В.В. Ружич, Е.Н. Черных, Е.И. Пономарева	94
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕКТНИКА НА СЛУЖБЕ ПОИСКА И ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ М.К. Турапов, Х.А. Акбаров, Н.Ю. Дулабова, Б.О. Жанибеков	95
РЕКОНСТРУКЦИЯ ДРЕВНИХ ОБЛАСТЕЙ РАЗРЯДКИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО ЩИТА В.Т. Филатова	96

4. СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЕ ЛИТОСФЕРЫ

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
С ГЛУБИНОЙ ПЛОТНОСТНОЙ ГРАНИЦЫ РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ
(НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ)

Н.К. Гайдай 100

ПАРАМЕТРЫ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В РАЙОНЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУВИНСКИХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011–2012 ГГ.

В.И. Герман, А.А. Добрынина, В.В. Чечельницкий 101

МЕГАСКОЛЫ РИДЕЛЯ R' И ТЕНДЕНЦИЯ К ГРАВИТАЦИОННОМУ РАВНОВЕСИЮ КАК ГЛАВНЫЕ
ФАКТОРЫ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М.А. Гончаров, Е.А. Рогожин, Н.С. Фролова, П.Н. Рожин, В.С. Захаров 102

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРИОДОВ
ФОНОВОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

И.Л. Гуфельд, О.Н. Новоселов 103

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН РАЗУПЛОТНЕНИЯ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ КОРЕННЫХ ОБНАЖЕНИЙ
В ПРИБАЙКАЛЬЕ И ОЦЕНКА ИХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

В.И. Джурик, Е.В. Брыжак, С.П. Серебренников, А.Ю. Ескин, А.Н. Шагун 104

ГЛУБИННЫЕ ВАРИАЦИИ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЗОНЕ ДЕСТРУКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ
НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Добрынина, В.А. Саньков, В.В. Чечельницкий 105

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БЛОКАХ ЛИТОСФЕРЫ ОСТРОВА ИТУРУП
(КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

Т.К. Злобин, А.Ю. Полец 106

УТОЧНЕНИЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СТРАТЕГИЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ КООРДИНАТ
МЕТЕОРИТНОЙ МИШЕНИ

В.Л. Ильченко 107

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ПЛОТНОСТНАЯ ГРАНИЦА РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ
ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА ЧЕРСКОГО

Л.Ю. Калинина, Н.К. Гайдай 108

СООТНОШЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ И СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СЕЙСМИЧНОСТИ В
РАЙОНЕ БУСИЙНГОЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ НА ЮГО-ЗАПАДЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

А.В. Ключевский, В.М. Демьянович, А.А. Ключевская, Ф.Л. Зуев 109

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ
ПАМИРО-ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО РЕГИОНА

М.Е. Козина, О.А. Кучай, З.А. Кальметьева 110

ДЕФОРМАЦИИ ЗОНЫ КОНТАКТА ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ В РАЙОНЕ ОСТРОВА СУМАТРА

О.А. Кучай, Н.А. Бушенкова, А.А. Татаурова 111

СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ МИГРАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ
ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ

Е.А. Левина, В.В. Ружич 112

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗЛОМОВ ВОСТОЧНОГО ПРИАМУРЬЯ

Т.В. Меркулова 113

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЯПОНИИ ПЕРЕД КАТАСТРОФИЧЕСКИМ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ТОХОКУ 11.03.2011 Г.

Ю.Л. Ребецкий, А.Ю. Полец 114

ПРОБЛЕМА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: СТАТИСТИКА И ПОРОЖДАЮЩИЕ
КИНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ

М.В. Родкин, В.Ф. Писаренко, Н.Т. Лы, Т.А. Рукавишникова 115

О ВАРИАЦИЯХ СООТНОШЕНИЙ ЭНДОГЕННОЙ И КОСМОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВО ВРЕМЕННЫХ
РЯДАХ ДАННЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПЕРЕД КУЛТУКСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ

Д.В. Салко, С.А. Борняков 116

ПОВЫШЕННАЯ СРАБОТКА УРОВНЯ КАК ВАЖНЫЙ ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР В ФОРМИРОВАНИИ НАВЕДЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА НЕКОТОРЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ РОССИИ И ИНДИИ Т.А. Ташлыкова	117
ДИНАМИКА ФОНОВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ С.В. Трофименко, В.Г. Быков	118
КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЦИКЛОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ГРАНИЦ СЕЙСМОАКТИВНЫХ БЛОКОВ С.В. Трофименко, В.Г. Быков, Н.Н. Гриб	119
5. РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ И РУДОГЕНЕЗ. РАЗЛОМЫ И КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	
РАЗЛОМЫ КАК ЭНДОГЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА И.Ив. Антипин, И.Ин. Антипин	122
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ НЕЖДАНИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЯКУТИЯ) В СТРУКТУРАХ ЮЖНОГО СЕКТОРА ВЕРХОЯНСКОГО СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА В.Г. Владимиров, Ю.А. Калинин, А.В. Слезко	123
РАЗЛОМЫ И КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ НА ПРИМЕРЕ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА ЯКУТИИ П.И. Гапотченко, Н.Е. Морозова, И.Я. Павленко	124
РУДОВМЕЩАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ А.С. Гладков, Д.А. Кошкарев	125
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ Н.И. Горев, М.И. Лелюх, А.В. Герасимчук	126
КОМПЛЕКС ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРТОЛЕТНЫХ НТЕМ- СИСТЕМ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОИСКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ Ю.А. Давыденко, В.В. Стогний, А.В. Таранюк, В.А. Белов, М.С. Шкиря	127
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР ТУРБАЙСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ) Н.Ю. Дулабова, М.К. Турапов, Б.О. Жанибеков	128
МОРФОСТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА Д.В. Жиров	129
ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТ ПО ЗАКРЕПЛЕНИЮ / СТАБИЛИЗАЦИИ УСТУПОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ НА ПРИМЕРЕ МАССИВА ПОРОД РУДНИКА «ЖЕЛЕЗНЫЙ» ОАО «КОВДОРСКИЙ ГОК» Д.В. Жиров, В.В. Рыбин, Г.С. Мелихова, М.В. Мелихов	131
ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРАНОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЛИЦЕВСКОГО РАЙОНА (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ) Т.В. Каулина, В.Л. Ильченко, Л.М. Лялина, Д.В. Елизаров, И.Л. Каменский	133
МЕТОДЫ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ В НАКЫНСКОМ ПОЛЕ (НА ПРИМЕРЕ КИМБЕРЛИТОВ УЧАСТКА ОЗЕРНЫЙ) О.К. Килижеков, Л.В. Максимкина	134
БЛОКОВАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ И РУДООБРАЗОВАНИЕ А.Ю. Кисин	135
ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЙКОВЫХ ПОЯСОВ ВИЛЮЙСКОГО ПАЛЕОАВЛАКОГЕНА К.М. Константинов, М.Д. Томшин, А.С. Гладков, А.И. Киселев, М.З. Хузин, И.К. Константинов, А.А. Яковлев ...	136
ДЕСТРУКТИВНЫЕ НАРУШЕНИЯ КАК ВАЖНЫЙ ИНДИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК РУДОПРОЯВЛЕНИЯ Ю.В. Коротков	137
НАФТОРУДОГЕНЕЗ И СЕЙСМИЧНОСТЬ А.М. Кузин	138

РОЛЬ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР В КОНТРОЛЕ РАЗНОРАНГОВЫХ ТАКСОНОВ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова	139
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТРУКТУРНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА М.И. Лелюх, В.М. Фомин	140
СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ МЕЛОВЫХ СИНСДВИГОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КОМСОМОЛЬСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ А.Н. Митрохин, Б.И. Семеняк, В.П. Уткин, Г.А. Гоневчук, В.Г. Гоневчук, П.Г. Коростелев, П.Л. Неволин	141
ИНФРАСТРУКТУРА ИНТРУЗИВОВ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕНЕВОЙ И СКОЛОВОЙ СКЛАДЧАТОСТИ (НА НАТУРНЫХ ПРИМЕРАХ В ПРИМОРЬЕ) П.Л. Неволин, В.П. Уткин, А.Н. Митрохин	142
НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАЗРЫВНОЙ ТЕКТОНИКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКА МИР И.А. Потехина, А.В. Дроздов, А.С. Гладков, А.В. Андреев, А.М. Афонькин	143
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ВЫВОДЫ ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ М.В. Родкин, А.Р. Шатахцян	144
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ОКИНО-КИТОЙСКОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОЯСА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН) Ж.В. Семинский	145
ВЛИЯНИЕ «ЭКЛОГИТОВОГО БАРЬЕРА» НА МАГМАТИЗМ СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ И ЗОН СУБДУКЦИИ Н.В. Сурков, Ю.Г. Гартвич, В.М. Галкин, А.И. Хмельников	147
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ РОЛЬ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ С.Н. Тагильцев, А.Е. Лукьянов, В.С. Тагильцев, Н.Н. Михальчук	148
ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С.В. Усанов, А.Д. Сашурин	149
6. ФЛЮИДНАЯ И ГАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ РАЗЛОМНЫХ ЗОН	
ПРОНИЦАЕМЫЕ ЗОНЫ ЛИТОСФЕРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев	152
ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА В Г. ИРКУТСКЕ А.А. Бобров	153
О ФЛЮИДНОЙ ПРИРОДЕ ОБРАЗОВАНИЯ НАКЛОННЫХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ А.М. Кузин	154
ФЛЮИДОПРОВОДНОСТЬ ЗОН ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ Ф.А. Летников	155
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ В 2008–2013 ГГ. И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ М.Н. Лопатин, Р.М. Семенов	156
ФЛЮИДНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЗОНЫ ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА В КАЛЬДЕРЕ УЗОН НА КАМЧАТКЕ Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз, Г.А. Карпов	157
РОЛЬ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ А.М. Плюснин, Е.Г. Перязева, Р.Ц. Будаев	158
ОСОБЕННОСТИ ДЕГАЗАЦИИ ПО РАЗЛОМАМ НА УЧАСТКЕ ХИЛАК В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В.Ф. Подурушин	159
СОЗДАНИЕ КУЛТУКСКОГО СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА: ВАРИАЦИИ ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) И $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ИЗ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА С.В. Рассказов, Е.П. Чебыкин, А.М. Ильясова, Е.Н. Воднева, И.С. Чувашова, С.А. Борняков, Н.Н. Фефелов, А.К. Семинский, С.В. Снопков, В.В. Чечельницкий, Н.А. Гилева	160

СЛОИСТО-БЛОКОВО-ДИАПИРОВАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В.Д. Скарятин, М.Г. Макарова	161
РОЛЬ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ И ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С РАЗЛОМАМИ О.М. Хлыстов, А.В. Хабуев, О.В. Белоусов	162
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ – КАНАЛЫ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ З.Б. Чистова, Ю.Г. Кутинов	163
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	164

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийского совещания с участием приглашенных исследователей из других стран «Разломообразование и сопутствующие процессы в литосфере: тектонофизический анализ», которое будет проводиться 11–16 августа 2014 года в г. Иркутске. Это четвертое совещание по тектонофизическим аспектам деструкции литосферы, организуемое Институтом земной коры СО РАН, в котором данное направление исследований развивает лаборатория тектонофизики. Тематики трех предыдущих научных форумов были «Разломообразование в литосфере (тектонофизические аспекты)» (1990 г.), «Напряженное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность» (2003 г.) и «Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия» (2009 г.). Четвертое совещание посвящается 65-летию ИЗК СО РАН и 35-летию лаборатории тектонофизики, основателю которой – профессору С.И. Шерману – в 2014 году исполнилось 80 лет.

Тектонофизика как наука на первом этапе своего формирования охватывала круг проблем, связанных с механизмами формирования тектонических структур земной коры. Однако к концу XX в. ее статус кардинально изменился в двух ключевых позициях. Во-первых, исследованиями многих российских и зарубежных специалистов было показано подобие в главных закономерностях строения и формирования деформационных структур широкого спектра масштабов. Так, большинство специалистов, изучающих различные по масштабам объемы литосферы, считают ее иерархической структурированной средой, состоящей из блоков, окруженных подвижными зонами с пониженной (вследствие раздробленности) квазивязкостью субстрата. Во-вторых, объем и характер знаний, накопленных в тектонофизике за более чем полувековой период развития, таковы, что значительная часть из них может быть успешно применена в геологической практике. Прежде всего это касается закономерностей формирования и строения разломов, с которыми связан широкий комплекс важных в прикладном отношении сопутствующих процессов (сейсмичность, флюидная активность, рудоотложение, миграция газов, активизация опасных инженерно-геологических явлений и др.).

Таким образом, к настоящему времени рамки тектонофизики существенно расширились, с одной стороны, за счет выхода на решение большой группы прикладных задач, обусловленных спецификой разломообразования, а с другой – в связи с необходимостью выявления механизмов формирования деформационных структур литосферного уровня. Материалы, представленные научным сообществом для публикации в данном сборнике, полностью подтверждают сделанный вывод. Согласно содержанию тезисов, они, не выходя за рамки общей тематики совещания, представляют шесть главных направлений исследований:

1. Тектонофизические закономерности формирования зонно-блоковой и разломно-блоковой структуры литосферы. Литосферные плиты, внутриплитная иерархия блоков, их напряженное состояние и закономерности перемещений.
2. Структура крупных разломных зон литосферы. Активные разломы и контроль синхронных и сопутствующих процессов.
3. Физическое и математическое моделирование разломообразования и других деформационных процессов.
4. Сейсмический процесс в разломно-блоковой структуре литосферы.
5. Разломообразование и рудоогенез. Разломы и кимберлитовый магматизм. Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых.
6. Флюидная и газовая проницаемость разломных зон.

В соответствии с тремя заключительными тематиками в работе совещания примут участие специалисты из смежных областей геологии и геофизики, предметом исследований которых являются процессы, сопутствующие разломообразованию. Это отличает данное совещание от предыдущих тектонофизических форумов, придавая ему вектор практической направленности, актуальный в свете современных экономических реалий.

Организация совещания, включая издание сборника тезисов, поддержаны РФФИ (грант № 14-05-20040).

К.Ж. Семинский

РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ В ЛИТОСФЕРЕ: 35 ЛЕТ ИРКУТСКОЙ НАУЧНОЙ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЕ *

С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Зарождение тектонофизических исследований в Иркутске относится к пятидесятым годам прошлого века и связывается с именем профессора В.Н. Даниловича. Новое тектонофизическое направление в геологической науке было подхвачено активно развивающимися в 50-х годах прошлого века институтами Сибирского отделения Академии наук СССР, в том числе и Институтом земной коры в Иркутске. Здесь в конце пятидесятих годов В.Н. Даниловичем, Г.В. Чарушиным, О.В. Павловым, П.М. Хреновым, С.И. Шерманом и другими специалистами начали проводиться широкомасштабные исследования разломов и трещиноватости горных пород не только под углом зрения структурного анализа разрывной тектоники, но и как формы физико-механического разрушения земной коры. В 1979 г. Ученый совет ИЗК СО АН СССР по инициативе профессора С.И. Шермана при активной поддержке академика Н.А. Логачева и д.г.-м.н. О.В. Павлова принял решение об организации лаборатории тектонофизики, которая до настоящего времени остается единственным научным коллективом подобного профиля на территории восточнее Урала и, фактически, вторым в РФ. Определяющей базой ее исследований явились работы, посвященные физическим закономерностям формирования разломов земной коры, обобщенные в монографии С.И. Шермана (1977), коллективном трехтомном труде «Разломообразование в литосфере» (1991, 1992, 1994) и ряде статей. Они продолжили и существенно развили исследования зарождавшейся иркутской тектонофизической школы. К началу XXI столетия ее достижения определялись расширением применения физики разрушения материалов и математических методов анализа результатов структурной организации разноранговых разрывов в земной коре и верхней части литосферы.

Изучены тектонофизические закономерности формирования крупных разломов земной коры, впервые показаны численные взаимоотношения между главными параметрами разломов – длиной и глубиной, длиной и амплитудой смещения, длиной и густотой, а также оценены определяющие их факторы. Предложена модель строения разлома, учитывающая изменения физических свойств земной коры с глубиной. В целом показано, что разрывообразование в земной коре происходит по законам деформирования и разрушения тела Максвелла.

Расширение знаний о закономерностях развития разломов в литосфере потребовало анализа ее напряженного состояния, что является одной из самых актуальных задач геодинамики и тектонофизики. Иркутским специалистам по тектонофизике принадлежит первая карта напряженного состояния Байкальской рифтовой зоны и методические разработки для исследования напряженного состояния земной коры геолого-структурными методами. На их базе была составлена новая карта напряженного состояния верхней части литосферы Земли.

Изучена окружающая виртуальную ось разлома территория, вариации ее размеров, и введено понятие области динамического влияния крупных разломов литосферы. В зависимости от степени тектонической и динамометаморфической переработки горных пород внутренняя часть области динамического влияния разломов приобретает зональное строение по латерали и на глубину.

Изучена внутренняя структура континентальных разломных зон, и показано ее формирование в течение трех главных дизъюнктивных стадий, каждой из которых соответствуют строго определенные деформационное поведение субстрата, его напряженное состояние, парагенез разноранговых разломов, пространственные и временные вариации параметров.

Выделение и анализ тройственных парагенезов трещин, характерных для различных регионов, легли в основу разработанного метода спецкартирования структуры земной коры, который позволяет определить местоположение и границы разломных зон, условия их образования, важнейшие особенности внутреннего строения и может быть эффективно реализован в рамках традиционной геологической съемки любого масштаба.

Результатом исследования тектонической делимости Земли на новом уровне тектонофизических разработок стали представления о зонно-блоковой структуре (ЗБС) литосферы. На основе анализа разномасштабных разломных схем установлена строгая ранговая соподчиненность в организации ЗБС литосферы Центральной Азии, где выделены и количественно охарактеризованы 11 объективно существующих уровней иерархии (от глобального до локального). На базе представлений о зонно-

блоковом строении земной коры Байкальского рифта проведено изучение и выявлены главные пространственные и временные закономерности распределения концентраций почвенного радона в Прибайкалье.

Обобщены результаты комплексных геолого-структурных, тектонофизических и геоэлектрических исследований кайнозойских и мезозойских впадин Прибайкалья и Забайкалья. Охарактеризованы разломно-блоковая структура, глубинное строение, напряженное состояние и сейсмичность земной коры отдельных территорий региона.

Обобщен первый опыт комплексных тектонофизических исследований в пределах Якутской алмазоносной провинции, направленных на выявление структурных факторов контроля пространственной локализации кимберлитовых тел. Тектонофизическими методами установлена взаимосвязь периодов формирования кимберлитовых тел с этапами становления и активизации разрывной структуры платформенного чехла. Впервые показано, что определяющую роль в структурном контроле кимберлитового магматизма на Сибирской платформе играют разломные зоны ортогональной сети, активизировавшиеся в режиме знакопеременных движений на разных этапах ее развития в палеозое и мезозое.

Выполнена серия оригинальных исследований на базе физического моделирования. Одним из важных результатов экспериментальных работ стало моделирование процесса формирования Байкальской рифтовой зоны на упругопластичном материале с выполнением критериев подобия. Оно дополнено физическим моделированием рифтовой системы Шаньси, проведенным совместно с китайскими исследователями при выполнении совместного российско-китайского проекта по РФФИ.

Начаты оригинальные экспериментальные работы по изучению деформационных волн в упруговязких средах.

Изложены перспективы тектонофизических исследований на ближайшие годы.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

1

**ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ЗОННО-БЛОКОВОЙ И РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ
ЛИТОСФЕРЫ. ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ, ВНУТРИПЛИТНАЯ
ИЕРАРХИЯ БЛОКОВ, ИХ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ. ХАРАКТЕР МЕЖПЛИТНЫХ И ВНУТРИПЛИТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Т.Я. Беленович¹, Ю.Г. Кутинов^{1,2}, З.Б. Чистова¹

¹ Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Архангельск, Россия

² Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Получены данные о преобладании режима сжатия (скольжения) вдоль северной границы Евразийской литосферной плиты (ЕАП) и пространственном совпадении участков с преобладанием режима скольжения с нефтегазоносными бассейнами, что позволяет перейти к геодинамическим критериям образования зон глубинного нефтегазоаккумуляции и выделять нефтегазоносные бассейны с разной металлогенической специализацией.

Ранее нами в пределах ЕАП были проанализированы четыре региональные зоны, в пределах которых были выделены левосторонние вращения [Беленович, Кутинов, 2008]: район о. Шпицберген, узел сочленения Беломорского геоблока и Балтийско-Мезенской зоны, Полюдовское поднятие, Лаптевоморский шельф. Исследуемые зоны создают локальные (в пределах своих территорий), региональные (в пределах их объединений) и глобальные (в пределах самой Евразийской плиты) левосторонние вращения. В результате расчета векторов скольжения горных масс в очагах землетрясений сделаны выводы, что: 1) геодинамические режимы севера и юга Евразии резко различаются. На севере Евразии тройным сочленением ЕАП, Северо-Американской и Гренландской литосферных плит является асейсмичный блок (или полюс Эйлера), а на юге Евразии тройным сочленением ЕАП, Аравийской и Африканской плит является тектонически активный и высокосейсмичный участок; 2) различие геодинамического режима севера и юга обусловлено тем, что на севере Евразии сочленение происходит в условиях растяжения хр. Гаккеля, а на юге – сжатия (надвигания) Аравийской и Африканской плит на Евразийскую; 3) геодинамический режим востока Евразии также отличается от обстановок на севере и юге плиты и обусловлен, вероятно, отсутствием непосредственного взаимодействия между глобальными литосферными плитами и вызван автономным вращением ЕАП [Кутинов и др., 2013]. Такое отличие геодинамического режима северной границы ЕАП от южной и восточной границ во многом объясняет нефтегазоносный потенциал шельфа Северного Ледовитого океана, что подтверждается пространственным совпадением участков с преобладанием режима скольжения с нефтегазоносными бассейнами. Анализ геофизических материалов, в первую очередь 3D сейсмометрии нефтегазовых бассейнов Западной Сибири [Тимурзиев, 2009], показал преобладание там сдвиговых деформаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований «Арктика» № 12-5-3-002-АРКТИКА.

ЛИТЕРАТУРА

- Беленович Т.Я., Кутинов Ю.Г. Современный геодинамический режим и напряженно-деформируемое состояние Срединно-Арктического хребта // Геофизика XXI столетия: 2007 год: Сб. трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2008. С. 16–22.
- Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я., Чистова З.Б. Современная геодинамика Арктического нефтегазоносного супер-бассейна // Глубинная нефть. 2013. Т. 1, № 9. С. 1307–1336.
- Тимурзиев А.И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2009. 36 с.

РОЛЬ РАЗЛОМНОЙ ТЕКТониКИ В ФОРМИРОВАНИИ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Т.В. Гиоргобиани

Тбилисский государственный университет, Институт геологии, Тбилиси, Грузия

Альпийская подвижная система Большого Кавказа (БК), расположенная между Черноморско-Закавказским микроконтинентом (ЧЗМ) на юге и Скифской платформой (СП) на севере, в мезокайнозой испытывала воздействие этих жестких массивов. Геодинамика смежных плит определяла поэтапную дислокацию БК с совместным проявлением в регионе складчатых и разломообразовательных процессов различного возраста, генезиса и направления. В связи с этим в формировании структуры БК отчетливо устанавливается важная роль разломной тектоники.

В пределах БК выделяются разноглубинные различно ориентированные системы разломов с меняющейся кинематикой, которые по расположению относительно складчатой системы разделяются на продольные, поперечные и диагональные нарушения. Наиболее важными дизъюнктивными структурами БК являются продольные региональные долгоживущие глубинные Южный и Северный краевые разломы (ЮКР и СКР) северо-западной (СЗ) ориентировки, отделяющие складчатую систему от ЧЗМ и СП. Возникли они в начале юры в обстановке растяжения и блокового опускания герцинского фундамента вдоль сбросовых разломов в процессе образования рифтогенного бассейна БК. Главной складкообразующей разломной структурой на БК в течение всей альпийской эпохи был ЮКР, играющий определяющую роль в его альпийском тектогенезе, проходящем в меняющихся геодинамических условиях.

Основная линейная СЗ складчатость БК образовалась на раннем доинверсионном этапе деформации в результате регионального придвига и прижатия к заполненному осадками прогибу БК жесткого ЧЗМ вдоль ЮКР. Последний в это время приобрел новую складкообразующую функцию, являясь поверхностью приложения северо-восточного (СВ) тангенциального давления, передающей эти усилия БК. В процессе возникающего при деформации сжатия, в условиях мягкой коллизии, сформировалась параллельная ЮКР зональная СЗ складчатая структура БК, напряженность которой уменьшается с удалением от ЮКР.

На втором орогенном этапе деформации в регионе изменилась ориентировка горизонтального сжатия с СВ на субмеридиональное. В такой обстановке хрупкий ЧЗМ долготными разломами был расчленен на отдельные узкие блоки–шоли, испытывающие северные перемещения. Они на отдельных отрезках ЮКР вдвигались в складчатую систему и сталкивались с уже консолидированным БК. Вследствие этого поздний этап дислокации осуществлялся в обстановке жесткой, но локальной континентальной коллизии. Эти деформации вызвали косое наложение долготного сжатия на прилегающую к шолям складчатость, что обусловило ее преобразование в интерференционные нелинейные складчатые структуры. Таким образом, формирование новейшей складчатости БК также было связано с проявлением разломной шоловой тектоники. Активные придвиговые движения по ЮКР играли конструктивную роль в процессе альпийской складчатости БК. СП в этом взаимодействии была относительно неподвижна, и СКР в это время выполнял роль только жесткого упора.

Поперечные и диагональные разломы, а также продольные межзональные и внутризональные дизъюнктивы являются деструктивными структурами, поскольку рассекают и дробят на отдельные блоки складчатую систему БК, вызывая ее неоднородную сегментацию. Однако они играют и созидательную роль в процессе сводово-глыбового поднятия БК во время формирования коллизионного складчатого орогена.

В.С. Жижерин, А.А. Серов

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

На современном этапе космическая геодезия, в силу своих неоспоримых преимуществ, выполняет основную роль в получении количественных данных о современных движениях земной коры [Антонович, 2005]. На территории Верхнего Приамурья геодинамический ГНСС полигон был заложен в 2007 г., с этого времени количество пунктов наблюдения и их пространственное покрытие постоянно увеличиваются. В совокупности с улучшением технических характеристик используемого оборудования и совершенствованием методик обработки спутниковых данных это позволяет все с большей точностью отслеживать взаимные перемещения пунктов геодезической сети. Данные о современных движениях земной поверхности исследуемого региона имеют большое значение для определения механизмов коллизионного взаимодействия литосферных плит во внутриконтинентальных областях и напрямую связаны с безопасностью ведения хозяйственной деятельности.

Геодинамический полигон Верхнего Приамурья располагается в пределах основных тектонических структур северо-востока Центрально-Азиатского складчатого пояса. Измерения на реперных пунктах выполнялись один раз в год, в большинстве случаев время измерений на одной точке составляло три дня.

Данные GPS-измерений обрабатывались программным пакетом GAMIT/GLOBK, разработанным в Массачусетском технологическом институте. В процессе обработки были использованы навигационные файлы, точные орбиты спутников и RINEX файлы станций международной сети IGS, полученные с сервера NASA. Для определения системы отсчета использовались данные о положении и скоростях не менее 25 IGS станций, входящих в систему отсчета ITRF2008.

По результатам измерений было получено векторное поле скоростей смещений пунктов геодинамического полигона Верхнего Приамурья. Реализация системы отсчета осуществлялась через «обобщенные ограничения», при которых корректировки координат минимизируются точками, определяющими систему отсчета, в процессе оценки смещения, вращения и масштаба (параметры Гельмерта). При таком подходе все опорные точки открыты для регулировки и каждая система отсчета, реализованная с конкретным набором опорных точек, будет отличаться от системы с другим набором только в смещении, вращении и масштабировании, с отсутствием каких-либо внутренних искажений [Herring et al., 2009].

На основе полученных нами данных о скоростях смещений пунктов геодинамического полигона можно заключить, что исследуемый регион в первом приближении является единой структурной частью Амурской микроплиты с характерным для нее движением на ЮВВ в системе отсчета ITRF2008, районы повышенной дисперсии векторного поля скоростей пространственно совмещены с ареалами максимальной плотности выделения сейсмической энергии, амплитуды смещений по наиболее активным разломным зонам достигают 20 мм/год.

ЛИТЕРАТУРА

- Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. Т. 1. 334 с.
- Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK Release 10.35. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, 2009. 45 p.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ РАЗЛОМНЫХ СИСТЕМ СОЧЛЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТ–ОКЕАН ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Е.Г. Иволга, Ю.Ф. Манилов

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Рассматриваемая территория включает прибрежную часть континента от Магадана до Владивостока, Охотоморский и Япономорский регионы. В настоящих исследованиях особое внимание уделено дизъюнктивным системам областей взаимодействия континент – океан. Для работы в качестве исходной информации при построении карты разрывной тектоники выбрана карта гравитационного поля масштаба 1:5000000. По результатам обработки исходной информации для разных уровней построены схемы дизъюнктивной тектоники, определены статистические характеристики поля, которые позволяют изучить взаимодействие разрывных структур континента и океана на разных глубинных уровнях. Для обработки использован комплекс спектрально-корреляционного анализа данных «Коскад-3D». Впоследствии проанализированы особенности сейсмической активности в пределах основных систем разломов.

Изучение проводилось для глубин начиная с 150 км, где преобладающим направлением разрывных структур является северо-восточное и меридиональное. Северо-восточное направление приурочено к широкой области перехода от низкоплотной к высокоплотной литосфере, меридиональное – представляет собой относительно узкое внедрение низкоплотной литосферы по меридиану 142° (Сахалин–Хоккайдо). По уровню поля территория делится на два блока: северо-западный пониженной плотности и юго-восточный – повышенной. Граница проходит по линии 42° на западе и 50° с.ш. на востоке. На глубине 90–100 км северо-восточный разлом (продолжение Пограничного) срезает меридиональный, разворачивая его северную часть на северо-запад. На этом уровне зарождается запад-северо-западная система нарушений, простирающаяся от Камчатки до Алданского щита. На уровне 60–70 км четко оформляется ее северо-западная область, простирающаяся от Курил до Джугджурского массива, юго-восточная область проявлена на более высоком уровне (в коре) в пределах Алданской плиты. В эту область входит большая часть Сахалина от залива Анива на север и прибрежная часть Сихотэ-Алиня. В дальнейшем происходит формирование серии оперяющих северо-восточных систем, которые, в свою очередь, делят тело самой плиты на блоки. На этом уровне обособляется Восточно-Сихотэ-Алинский блок, в связи с которым формируется север-северо-восточная система нарушений. На глубине 10–15 км на севере вдоль Охотского побережья начинают проявляться субширотные разломы. На глубине 5–7 км четко выделяется северо-восточная Шантарская дизъюнктивная система, связанная, вероятно, с молодым кайнозойским рифтогенезом.

Северо-восточная граница раздела 42°–50° геологически может быть истолкована либо как граница между океанической и континентальной литосферой, либо как фронтальная граница поддвига океанической литосферы под континентальную. Это подтверждается распределением сейсмических событий: мелкофокусные землетрясения сконцентрированы вдоль Курило-Камчатской дуги, среднефокусные – область погружения Тихоокеанской плиты под Охотоморскую впадину, глубокофокусные – фронтальная область деструкции Охотоморской плиты в результате взаимодействия с Тихоокеанской. По меридиану 148° наблюдается выступ литосферы повышенной плотности, который, вероятно, является продуктом продвижения океанической плиты в сторону континента и обуславливает формирование северо-западных нарушений в океане, раскрытие меридиональной Хоккайдо-Сахалинской системы разломов. Последняя на глубоких уровнях обозначается узкой зоной низкоплотной литосферы, расширяющейся к верхним горизонтам, образуя блок переходной (континентальной) коры.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КУРИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ОСТРОВА САХАЛИН

С.А. Касаткин

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

Изложенные ниже представления о формировании структур Охотоморского региона основаны на результатах структурных исследований о. Сахалин и данных расшифровок фокальных механизмов землетрясений, зарегистрированных в каталоге геологической службы США [USGS].

Сейсмичность Охотоморского региона обусловлена процессом субдукции Тихоокеанской плиты (ТО). Более 60 % землетрясений здесь происходит до глубины 50 км – главным образом вдоль западной и восточной границ Охотской плиты, где расположены, соответственно, о. Сахалин и Курильская островная дуга. Остальные гипоцентры образуют сейсмофокальную зону (до глубины 700 км) при среднем угле погружения 45° на ЗСЗ.

Оценка современной геодинамической обстановки основана на анализе распределения очагов землетрясений сдвигового типа. Наиболее устойчивые направления левых (ССЗ $330\text{--}340^\circ$) и правых (СВ $50\text{--}60^\circ$) сдвигов образуют сопряженную систему с осями сжатия преимущественно на ЗСЗ (290°) – согласно направлению движения ТО. При этом правые сдвиги имеют главным образом СВ простирание и распространены вдоль Курильских островов на глубинах до 200 км, а левые – сосредоточены в основном в южной части Курильских островов и прослеживаются в ССЗ направлении по зоне субдукции на глубину до 680 км вдоль разломной зоны Носаппу.

Курильская котловина (КК) является задуговым бассейном, простирается вдоль Курильских островов в южной части Охотского моря и выклинивается к СВ. Длинная ось КК (ось спрединга) ориентирована под острым углом по отношению к СВ правосторонним сдвигам сейсмофокальной зоны. Это позволяет предполагать, что КК находится в парагенетической связи с этими сдвигами и развивается как опережающая структура соседвигового растяжения.

Структурными исследованиями меловых и кайнозойских образований о. Сахалин выявлено два одновременно действующих направления сжимающих напряжений: ВСВ и СЗ [Голозубов и др., 2012]. Об этом же свидетельствуют результаты GPS-наблюдений [Василенко и др., 2009] и данные расшифровок механизмов землетрясений [USGS]. Такая геодинамическая обстановка, в результате которой происходит воздымание (инверсия) о. Сахалин, прослеживается последние 2 млн лет [Голозубов и др., 2012]. Процесс инверсии приурочен к субмеридиональной системе разломов, которые соответствуют границе Евразийской и Охотской плит. Эта граница в настоящее время является сейсmodинамическим экраном, где реализуются поля напряжений, вызванные преимущественно глубинными землетрясениями сейсмофокальной зоны.

Таким образом, механизм инверсии о. Сахалин и формирования Курильской котловины является производным единой геодинамической системы, действие полей напряжений в которой генерируется сейсмофокальной зоной при субдукции Тихоокеанской плиты.

Работа выполнена при поддержке грантов № 12-1-0-ОНЗ-07 и № 12-III-A-08-147.

ЛИТЕРАТУРА

- Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Ким Ч.У., Такахаши Х. Косейсмические деформации земной поверхности на о. Сахалин в результате Невельского землетрясения 02.08.2007, $M_w=6.2$ // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 5. С. 16–21.
- Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемеловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–44.
- USGS. Сайт геологической службы США (USGS). <http://neic/usgs/gov/>.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

М.М. Кобелев¹, Д.С. Трынкова¹, В.В. Мордвинова¹, С.И. Орешин²,
Л.И. Макеева², М.А. Хритова¹

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Достоверные сведения о глубинной структуре могут быть выявлены по широкополосным записям далеких сильных землетрясений. В Сибири в основном регистрируются юго-восточные землетрясения, так что данные, необходимые для зондирования глубин в различных направлениях относительно станции, накапливаются лишь при длительных наблюдениях (два года и более).

При определении скорости P - и S -волн в земной коре и верхней мантии южной окраины Сибирской платформы и прилегающей территории мы использовали 3-компонентные записи локальной сети из семи широкополосных сейсмостанций по обе стороны Главного Саянского разлома. Наблюдения проводились более трех лет. Для анализа и инверсии данных нами применен перспективный метод приемной функции в модификации Л.П. Винника с соавторами [Vinnik, 1977; Kosarev et al., 1993; Farra, Vinnik, 2000]. Преимущество метода приемной функции перед сейсмической томографией состоит в возможности выявления скоростных и плотностных особенностей на различных глубинах по записям даже отдельно взятой станции.

Продолжительность наблюдений дала возможность почти по всем станциям выделить из сейсмограмм продольные приемные функции (P -to- S) для всех направлений, а по двум станциям, «Монды» и «Орлик», для некоторых азимутов выделены и поперечные приемные функции (S -to- P). Инверсией продольных приемных функций восстановлены S -скоростные разрезы от поверхности до глубины 270 км в различных направлениях от пунктов наблюдения. По функциям P -to- S и S -to- P станции «Монды» выполнена совместная инверсия продольной и поперечной приемных функций для юго-восточного направления относительно станции до глубины 300 км. Совместная инверсия дала возможность впервые в регионе получить независимые значения скоростей P - и S -волн и рассчитать их отношение V_P/V_S . Прежде и при определении гипоцентров, и в глубинном моделировании использовалось фиксированное значение отношения скоростей на базе средних оценок ГСЗ почти полувекковой давности.

По результатам процедуры *stack* (суммирование волновых трасс с временными поправками, учитывающими зависимость обменных волн P_s и S_p от эпицентрального расстояния) сделан вывод о возможном расположении второй сейсмической границы (d600) на большей глубине и понижении температуры в переходной зоне.

Для станций «Монды» и «Орлик» методом SKS [Винник и др., 1984] впервые получены параметры сейсмической анизотропии: направление быстрой скорости α и запаздывание медленной волны δt («Монды» – $\alpha = 150^\circ$ и $\delta t = 0.7$ с; «Орлик» – $\alpha = 130^\circ$ и $\delta t = 1.0$ с).

Исследования поддержаны грантами инициативного проекта РФФИ № 12-05-01024.

ЛИТЕРАТУРА

- Винник Л.П., Косарев Г.Л., Макеева Л.И. Анизотропия литосферы по наблюдениям волн SKS и SKKS // ДАН. 1984. Т. 278, № 6. С. 1335–1339.
- Farra V., Vinnik L. Upper mantle stratification by P and S receiver functions // Geophysical Journal International. 2000. V. 141. P. 699–712.
- Kosarev G.L., Petersen N.V., Vinnik L.P., Roecker S.W. Receiver functions for the Tien Shan analog broadband network: contrast in the evolution of structures across the Talasso-Fergana fault // Journal of Geophysical Research. 1993. V. 98, № B3. P. 4437–4448.
- Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to S in the mantle // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1977. V. 15. P. 39–45.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ

А.В. Кудымов

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

С целью расшифровки динамических кайнозойских обстановок формирования разрывных нарушений на Нижнем Амуре и соответственно их кинематических характеристик, на семи разобщенных участках (от г. Комсомольск-на-Амуре на юге до побережья Сахалинского залива на севере) с помощью различных структурных элементов реконструировались локальные поля напряжения [Гзовский, 1975; Очертенко, Трощенко, 1978; Парфенов, 1984]. Восстановленные поля напряжения укладываются в четыре геологических типа. Первые два типа отвечают полям сдвигового характера [Anderson, 1951]. Локальные поля напряжения третьего типа относятся к взбросу [Anderson, 1951], четвертого – к сбросу [Anderson, 1951]. Реконструированные поля напряжения различных типов являются разновозрастными, т.е. отвечают разным этапам деформаций [Кудымов, 2007, 2010]. Кроме этого установлена последовательность отмеченных этапов. Анализ полей напряжения для различных этапов деформаций был проведен не только на отдельных участках, а также и по площади между ними. Таким образом, для различных этапов деформаций для всей площади Нижнего Приамурья были построены схемы ориентации статистических траекторий субгоризонтальных тектонических напряжений.

Деформации **первого этапа** характеризуются полем напряжения сдвигового геологического типа с траекторией оси сжатия, ориентированной для всего Нижнего Приамурья судмеридионально. В условиях данного поля напряжения разрывные нарушения приобретают соответствующие кинематические характеристики. Значимо то, что траектории осей растяжения в зоне северо-западных разломов ориентированы поперек меридионально вытянутой системы олигоцен-четвертичных прогибов. Под зоной северо-западных разломов понимается система субпараллельных нарушений, прослеживающихся от берегов Амурского лимана на северо-запад, до Ульбанского залива и залива Александры. Мы полагаем, что в период правосдвиговых смещений по частным северо-западным разломам этого этапа, наряду с формированием магматитов заключительной фазы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса [Кудымов, 2010], синхронно начинает закладываться и формироваться Нижнеамурская группа впадин (Усальгинская, Орельская, Уляская, Усть-Амгунская, Мофетская впадины [Тектоника..., 2005]).

На **последующем этапе** деформаций, также в условиях сдвигового поля напряжения, поменяли ориентировки статистические оси сжатия и растяжения. Они с некоторыми вариациями в целом ориентированы: сжатие в северо-западном, а растяжение в северо-восточном направлении. Правосдвиговые смещения по северо-восточным разломам системы Тан-Лу второго этапа деформаций сопровождались неогеновым базальтовым магматизмом. Кроме этого, в районе кремнистого Киселевского блока закладывался и формировался Удыльский прогиб [Кудымов, 2010].

Третий этап деформаций характеризуется полями напряжения взбросового и сбросового типов [Anderson, 1951], причем сбросовое поле напряжения принято нами как наиболее молодое, завершающее геодинамическую историю района. Удивительно то, что в условиях взбросового поля напряжения сжатие сохранило свою северо-западную ориентировку, произошла просто замена субгоризонтальной северо-восточной траектории оси растяжения на промежуточную ось, а ось растяжения стала субвертикальной. В условиях взбросового поля напряжения получают активное развитие впадины Нижнеамурской группы. Воздымание обширных участков района и синхронное опускание днища прогибов в это время обусловило быстрое накопление грубых несортированных осадков средней части разреза впадин.

Необходимо отметить, что сбросовое поле напряжения очень слабо изучено и поэтому для него не строилась схема ориентации статистических траекторий субгоризонтальных тектонических напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.

Кудымов А.В. Постаккреционная дислоцированность и поля напряжения в нижнемеловых отложениях Нижнего Приамурья // Геодинамика формирования подвижных поясов Земли: Материалы международной научной конференции. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2007. С. 174–177.

- Кудымов А.В.* Кайнозойские поля напряжения в зоне Киселевского разлома Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2010. № 6. С. 49–56.
- Очертенко И.А., Троценко В.В.* Стереографические проекции в структурной геологии. Л.: Наука, 1978. 136 с.
- Парфенов В.Д.* К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. № 1. С. 60–72.
- Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов.* Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1: 1500000. Владивосток–Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
- Anderson E.M.* The dynamics of faulting. Edinburg: Oliver and Boyd, 1951. 206 p.

Ю.О. Кузьмин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Приведен анализ современных, протекающих в реальном масштабе времени, деформационных процессов в зонах разломов, выявленных по данным многолетних геодезических (наземных и спутниковых) наблюдений, выполненных с повышенной пространственно-временной детальностью.

Продemonстрирован новый класс современных движений земной поверхности – параметрически индуцированные тектонические деформации разломных зон. Показано, что возникновение суперинтенсивных (до 5–7 см в год, $(5-7) \cdot 10^{-5}$ в год) движений земной поверхности в разломных зонах сейсмоактивных и асейсмичных регионов происходит под влиянием крайне малых внешних воздействий природного или техногенного генезиса.

Установлена пространственная дискретность аномальных деформационных процессов вдоль простирания регионального Речицкого разлома (Припятская впадина). Сделан вывод о необходимости учета современной аномальной активности разломных зон при установлении региональных закономерностей геодинамических процессов на основе измерений, проводимых в реальном масштабе времени.

Представлены результаты анализа длительных (20–50 лет) геодезических наблюдений, проведенных в регионах с повышенной сейсмотектонической активностью (Копетдаг, Камчатка, Калифорния). Установлено, что результаты инструментальных геодезических наблюдений за современными вертикальными и горизонтальными смещениями в зонах разломов указывают на «парадоксальное» отклонение деформаций от унаследованных движений прошлых геологических эпох.

«Парадоксы» больших и малых скоростей деформаций в современной геодинамике сводятся к надежному эмпирическому факту – наличию исключительно высоких локальных скоростей деформаций в зонах разломов, порядка 10^{-5} в год и более, которые протекают в обстановке низких региональных деформаций, имеющих среднегодовые скорости на 2–3 порядка меньше. В Копетдагском и Камчатском сейсмоактивных регионах, а также в зоне разлома Сан Андреас (Северная Калифорния) выявлены очень низкие среднегодовые скорости относительных горизонтальных деформаций, которые составляют всего 3–5 амплитуд земноприливных деформаций в год.

Сформулирована «разломно-блоковая» дилемма, которая возникает при интерпретации результатов наблюдений в современной геодинамике разломов. Либо активным элементом, формирующим современные аномальные деформации, является блок, а разлом выступает в качестве «пассивного» элемента, либо зона разлома сама является источником аномальных движений, а блоки являются пассивными элементами – вмещающей средой. Показано, что «парадоксы» больших и малых скоростей деформаций снимаются, если считать, что современная аномальная геодинамика формируется за счет параметрического возбуждения деформационных процессов в зонах разломов, в обстановке квазистатического режима нагружения.

На основе эмпирических данных установлено наличие пространственно-временной миграции современных деформационных процессов в разломных зонах и существование двух типов волн: «межразломной» и «внутриразломной». Разработана феноменологическая модель формирования автоволновых деформационных процессов, и показано ее согласие с наблюдениями. Введено понятие «псевдоволны», и предложен подход к организации наблюдений за деформационными автоволнами.

Отмечены проблемы идентификации результатов геодеформационных наблюдений, обусловленные новыми технологиями измерений, которые приводят к «соотношениям неопределенности» типа «пространственный размер аномалии – густота наблюдательных пунктов» и «длительность аномалий – временная детальность измерений». Показана неоднозначность в определении векторов смещений земной поверхности методом РСА интерферометрии.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЫ ПЛИТЫ СКОТИЯ И ЕЕ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫРАЖЕННОСТЬ

Е.С. Курбатова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Море Скотия – небольшое межконтинентальное море между Южной Америкой и Антарктидой. В его пределах расположены такие структуры, как палеоспрединговый хребет (на западе), задуговой спрединговый хребет на востоке, область диффузного (рассеянного) спрединга в центре, а также система глубинных разломов на юге.

Структурный барьер между морями Скотия и Уэдделла представляет собой сложную разломно-блоковую структуру, выраженную системой поднятий и впадин, возникновение которых связано с различными процессами, происходящими на границе плит Скотия и Антарктическая. Сложная гетерогенная структура области включает в себя с запада на восток: проливы Брансфилд и Филиппа, небольшие рифтогенные бассейны: Пауэлл, Джейн и бассейны типа пулл-аппарт: Протектор, Дове, Скан, Южно-Оркнейский микроконтинент, банки и поднятия: Террор, Пири, Брюса, Дискавери, Хердман, Иризар.

В целом, структурный барьер представляет собой довольно приподнятую область дна и характеризуется серией поднятий, формирующих Южный хребет Скотия. Вероятно, они представляют собой погруженные континентальные блоки, разделенные узкими депрессиями (часто подстилаемыми океанической корой) с глубинами, превышающими 4000 м. Для поверхностей банок характерна пологость и плосковершинность, что может объясняться некогда действовавшей морской абразией. Благодаря процессам субдукции, растяжения и разрывам на границе морей Скотия и Уэдделла сформировались такие формы рельефа, как задуговой бассейн Брансфилд, глубоководные желоба Оркнейский и Лори. Таким образом, рельеф данной области во многом является индикатором ведущих геодинамических процессов.

Вдоль Южного хребта Скотия можно выделить три четко морфологически выраженных в рельефе сегмента: 1) западный – структуры ориентированы ЗСЗ-ВЮВ; 2) центральный – структуры ориентированы ВСВ-ЗЮЗ; 3) восточный – структуры ориентированы СВ-ЮЗ. Следует также обратить внимание на кулисообразное заложение разломов. Данные три сегмента разделены небольшими зонами, имеющими направление ССВ-ЮЮЗ и по большей части соответствующими зонам сдвига.

С точки зрения геодинамики, район очень активен. На небольшом по площади участке встречаются зоны растяжения, растяжения с диагональным смещением, сжатия, сдвига. Именно происходящие в районе геодинамические процессы определяют морфологическую выраженность рельефа в исследуемой области. Так, зонам растяжения с диагональным смещением соответствуют малые бассейны пулл-аппарт.

Для выявления особенностей структурообразования эволюции литосферы моря Скотия было проведено физическое моделирование по методике, описанной в работе [Грохольский, Дубинин, 2006]. Проведенное исследование показало, что структурный барьер между морями Скотия и Уэдделла представляет собой гетерогенную зону с преобладанием левостороннего сдвига, развитие которой тесно связано с относительным перемещением крупных литосферных плит: Южно-Американской, Африканской и Антарктической, а также с эволюцией соседних территорий: западной, центральной и восточной частей моря Скотия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00528-а).

ЛИТЕРАТУРА

Грохольский А.Л., Дубинин Е.П. Экспериментальное моделирование структурообразующих деформаций в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов // Геотектоника. 2006. № 1. С. 76–94.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКТОНОФИЗИКИ – ВЗГЛЯД ЧЕРЕЗ 35 ЛЕТ *

К.Г. Леви

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В докладе рассматриваются некоторые аспекты новейшей и современной геодинамики, картографирования геодинамических процессов, развивавшиеся с середины 60-х годов прошлого века в ИЗК СО РАН (с начала 80-х годов в лаборатории тектонофизики, а затем совместно с лабораторией современной геодинамики). Кратко рассматриваются история вопроса, достигнутые результаты, развитие идей и перспективы дальнейших исследований в этой области. Доклад посвящается 35-летию лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН и ее достижениям, главным образом, в области геодинамики. К наиболее существенным следует отнести следующие результаты:

- внесен значительный вклад в изучение активной разломной тектоники Прибайкалья, Забайкалья и Монголии;
- установлены основные количественные закономерности развития геолого-геофизической среды Центральной Азии в связи с сейсмичностью региона;
- сделано генеральное тектонофизическое заключение о том, что источником сильных колебаний поверхности является тектоническое дробление сейсмоактивной среды в неких объемах и прорастание в ней протяженных разломов;
- построены карты активных разломов Байкальской рифтогенной впадины, современной геодинамики Азии, неотектоники северо-восточного сектора Азии;
- начаты работы по прогнозу землетрясений в Байкальском регионе.

В перспективе следует расширить исследования в области оценок энергетики природных процессов с целью более полного перехода от полуколичественных моделей взаимодействия природных процессов к их количественному отображению. Это, вероятно, правильный путь к оценке геодинамической активности литосферы и ее картографированию на принципиально новой основе и изучению взаимодействия параметров природных процессов. Это полностью относится и к построению различных карт районирования.

Вторым мотивом может являться углубленный анализ месторождений полезных ископаемых, возникших в отдаленном геологическом прошлом в подвижных поясах Земли с целью ретроспективного воспроизведения развития сейсмического процесса в прошлые геодинамические эпохи и оценки темпов денудации земной поверхности комплексом экзогеодинамических процессов.

И, наконец, в этих исследованиях должны занять достойное место оценки взаимодействия геосфер между собой и в связи с вариациями солнечной активности. В рамках таких исследований открываются перспективы восстановления природно-климатических обстановок прошлого и прогноза их эволюции в будущем для обеспечения устойчивого развития нынешней цивилизации.

* Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

СОВРЕМЕННЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЮГО-ЗАПАДНОГО ФЛАНГА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Лухнев, В.А. Саньков, А.И. Мирошниченко, С.В. Ашурков, А.В. Саньков

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В результате проведения многолетних режимных измерений с применением метода спутниковой геодезии (GPS-технология) в пределах юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы за период с 1994 по 2013 г. нами получен большой объем данных, который позволяет детализировать расчеты современных движений и деформаций земной поверхности как в пространстве, так и во времени. Сеть пунктов, плотность которой возрастала со временем, охватывает южную часть блока Сибирской платформы, Тункинскую систему впадин, часть поднятий Восточного Саяна и Хамар-Дабана, южную часть Южно-Байкальской впадины.

В результате расчетов получены схемы полей скоростей и относительных деформаций в южном горном обрамлении Сибирской платформы для двух периодов измерений – с 1994 по 2007 г. и с 1994 по 2013 г. Первый период характеризует стадию подготовки Култукского землетрясения 27.08.2008 г., $M=6.3$, а второй отражает осредненную картину движений и деформаций. В региональном отношении в пределах этой территории основной чертой кинематики движений за весь период измерений является юго-восточное направление векторов движения пунктов относительно пункта ИРКТ (г. Иркутск). Скорости нарастают с СЗ на ЮВ от 0.8 до 3.3 мм/год. Профили скоростей горизонтальных смещений, построенные в крест простирания Главного Саянского и Тункинского разломов позволяют дать оценку скорости современных горизонтальных смещений по этим структурам. В обоих случаях векторы проектировались на простирание 300° . Для Главного Саянского разлома скорость сдвиговых смещений по этим данным составляет 1.3 мм/год, а для Тункинского разлома растяжение поперек его Тункинского сегмента составляет 0.8 мм/год.

В поле скоростей относительных деформаций выделяются области преобладания СЗ-ЮВ растяжения в Южно-Байкальской впадине и на юго-западном сегменте Главного Саянского разлома со значениями $4-5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$. На остальной территории превалирует СВ-ЮЗ или субмеридиональное сжатие со значениями, меньшими в 2–3 раза.

Вместе с тем до Култукского землетрясения наблюдалась иная картина распределения скоростей и деформаций в районе Южно-Байкальской и Тункинской впадин. Скорости смещений пунктов не превышали 1 мм/год, векторы части из них были направлены на восток. В поле относительных горизонтальных деформаций выделялась аномальная зона преобладающего СВ сжатия в Торской и Тункинской впадинах. В результате Култукского землетрясения и последующих движений эта аномалия нивелировалась. В окрестностях готовившегося землетрясения наблюдалась также аномалия в поле скоростей горизонтальных вращений, которые имели разный знак в соседних треугольниках геодезической сети. Впоследствии картина выравнилась, установилось преобладание вращения против часовой стрелки. Одновременно пункты в районе южной оконечности озера Байкал (KULT и SLYU) в течение 13 лет измерений до сейсмического события испытывали абсолютное поднятие со скоростью около 2–3 мм/год, а во время и после него – еще более интенсивное опускание.

Выявленная динамика деформаций находит объяснение с точки зрения кратковременного взаимодействия при подготовке землетрясения в районе южного выступа жесткой литосферы Сибирской платформы сил растяжения как результата дивергенции Евразийской и Амурской плит и сжатия как результата конвергенции Индостана и Евразии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-01097) и программы ОНЗ 7.7.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ И МОНГОЛИИ ПО ТИПАМ ДЕФОРМАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ

А.И. Мирошниченко, К.Г. Леви

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Геодинамическое районирование, основанное на многомерном статистическом анализе числовых массивов, описывающих геолого-геофизические и геолого-геоморфологические природные процессы, применялось для различных регионов. С целью установления структуры связей между параметрами, характеризующими эти процессы, а также для проведения классификации различных областей территории Байкало-Монгольского региона нами были проведены парный корреляционно-регрессионный и многомерный кластерный и факторный анализы. Были проанализированы четырнадцать параметров, описывающих основные факторы геолого-геофизических процессов: разломная тектоника, выраженная через показатель плотности разломов; сейсмичность, отражающая активность процессов современного разломообразования во времени и пространстве; плотность глубинного теплового потока, определяющая, с одной стороны, активность гидротермальных процессов, а с другой – термальную активность недр территорий; гравиметрические аномалии, характеризующие особенности глубинного строения земной коры; амплитуды вертикальных неотектонических движений и толщина экзогенно-активного слоя, являющиеся относительным показателем деформаций земной коры в кайнозой; современные деформации поверхности земной коры, оцененные по данным GPS-измерений на Монголо-Байкальском геодинамическом полигоне и ряд других.

Площадной анализ распределения изучаемых параметров показывает очень пеструю картину, что связано с особенностями геологического строения и современной активности территории. В исследуемом регионе присутствуют несколько жестких блоков разного порядка: Центральномонгольский, Восточно-Монгольский (как часть Северо-Китайского блока или Амурской литосферной плиты), Сибирский кратон и разделяющие их крупные системы сдвига-надвиговых и сдвиговых разломов и Байкальская рифтовая зона, с превалированием разломных систем сбросового типа.

Применение двух методов кластеризации позволило выделить четыре основные группы параметров, отражающих связь параметров земной коры и литосферы с современными деформациями и сейсмичностью земной коры. Для территории Байкало-Монгольского полигона установлена тесная связь параметров сейсмичности с мощностью экзогенно-активного слоя, скоростью современных деформаций и величиной их сдвиговой составляющей. Выявлена взаимосвязь толщины земной коры с амплитудами вертикальных движений, величиной современных горизонтальных движений и деформациями сжатия.

В целом, перечисленные выше геолого-геофизические параметры описываются с помощью четырех пространственно-обособленных факторов. Достоверность их выделения проверялась с помощью критерия Кайзера и критерия каменной осыпи. Следует отметить, что эти факторы объясняют только 70 % общей дисперсии, собственные значения меняются от 27 до 7 %.

Первый фактор, связывающий и определяющий величины плотности активных разломов, величины скорости современных движений и деформации сжатия, широко проявлен на юго-западе исследуемой территории, включая структуры Монгольского и Гобийского Алтая и частично Долины Больших Озер. Второй фактор определяет основные параметры жестких литосферных блоков (толщина литосферы и земной коры, гравитационные аномалии и амплитуды вертикальных движений) и проявляется в центральной части Хангайского массива и горных районах Прихубсугулья. Третий фактор пространственно тяготеет к системам межблоковых разломов, характеризующихся высокой современной сейсмической и деформационной активностью и повышенным тепловым потоком. Положение западной границы Амурской плиты, вероятно, подчеркивается пространственным проявлением четвертого фактора, соединяющего скорости современных деформаций, деформации расширения и частично аномалии гравиметрического поля.

Данный подход к анализу свойств геолого-геофизической среды имеет несомненные перспективы в плане оценки эмерджентных свойств определенных объемов литосферы, их формализации и перехода такого комплексного анализа на более высокий иерархический уровень.

ЗАРОЖДЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СОПРЯЖЕНИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЕКТОНОМАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ ПЛИТЫ

Р.Д. Мухамедяров¹, А.Ю. Кисин², А.М. Виноградов³

¹ ЗАО «Институт аэрокосмического приборостроения», Казань, Россия

² Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Цель доклада – обсудить данные исследований по установлению связей и наложению нео-и палеотектоники в пределах центрального сектора севера Евразии. В докладе освещаются следующие аспекты проблемы:

1. Отображение соотношений глубинной геодинамики фанерозоя в структуре региональных магнитных полей [Виноградов и др., 2010] и полей геопотенциала [Золоев и др., 2012].

2. Проявления разломной тектоники в сопряжении Восточно-Европейской плиты и Западно-Сибирской тектономагматической системы по комплексной интерпретации геолого-геофизических данных [Виноградов и др., 1999].

3. Значимость проявления блоковой складчатости в иерархии пространственно-временной конструкции и деструкции геологического пространства с дискретными разрядками напряжений в аномально стрессовых участках [Кисин, 2009; Кисин, Коротеев, 2007].

4. Связь глубинных физических неоднородностей с современной разломно-блоковой делимостью верхней части разреза земной коры по данным космических исследований методом видеотепловизионной генерализации (МВТГМ [Мухамедяров, 2010]).

Каждый из приведенных аспектов имеет отношение к генерации и регенерации рудной минерализации и существен для обозначения факторов и критериев прогнозирования и поисков крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых. В качестве примера рассматривается колчеданная формация с уникальным, пока единственным на Урале, медно-цинковым Гайским месторождением [Виноградов, Малышев, 2014].

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов А.М. и др.* Магнитные поля севера Евразии: структура, отражение динамики магмопроявлений, мантийного и корового тектогенеза // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Материалы XI Всероссийского петрографического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 114–115.
- Виноградов А.М. и др.* Положение Урала в структурах Евразии // ДАН. 1999. Т. 365, № 4. С. 512–515.
- Виноградов А.М., Малышев А.И.* Факторы и критерии поисков и изучения рудопроявлений и крупных месторождений колчеданной формации на Урале // Литосфера. 2014. № 3 (в печати).
- Золоев К.К. и др.* Минерогения Уральского складчатого пояса и флюидная сульфидизация мантийных углеводородов Западно-Сибирского осадочного бассейна и его плитного основания // Литосфера. 2012. № 4. С. 173–189.
- Кисин А.Ю.* Закономерности размещения и прогноз месторождений полезных ископаемых на основе модели блоковой складчатости. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Пермь: ПГУ, 2009. 454 с.
- Кисин А.Ю., Коротеев В.А.* Общекоровая складчатость мобильных поясов // ДАН. 2007. Т. 415, № 5. С. 646–650.
- Мухамедяров Р.Д.* Метод видеотепловизионной генерализации при решении геотехногенных задач // Труды 18-й Международной научно-технической конференции «Современные телевидение и радиоэлектроника». М.: ФГУП «МКБ Электрон», 2010. С. 280–287.

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДИСЛОКАЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ

А.И. Некрасов

ООО «Геология резервуара», Тюмень, Россия

Дислокации, выявляемые стандартными методами сейсморазведки на поисковых объектах Западно-Сибирской геосинеклизы, представлены пликативами (преимущественно) и дизъюнктивами, обладающими амплитудами более 10 м, что сопряжено с ограниченной вертикальной разрешающей способностью метода. Парагенетический ансамбль разрывов в материалах сейсморазведки реализован неполно, лишь единичными нарушениями. За пределами разрешения сейсморазведки остаются малоамплитудные и безамплитудные разрывы, необходимые для реконструкции напряженного состояния объекта. В качестве косвенной информации для тектонофизического анализа могут служить направления ориентировок морфоэлементов складок чехла, отражающих контролируемую разрывами геометрию блоково-иерархической структуры доюрского основания.

Особенностью ориентировок элементов морфологии тектонической структуры доюрского основания геосинеклизы в досеноманский этап развития являются ортогональные и диагональные направления. Диагональные ограничения структур коррелируются со сдвигами, широтные – со структурами сжатия, меридиональные – со структурами растяжения. Реализация смещений правосторонних (северо-западных) и левосторонних (северо-восточных) сдвигов в условиях бокового стеснения осуществлялась за счет формирования комплементарных структур сжатия (выступы) и растяжения (впадины). Таким образом, диагональными сдвигами в поле напряжений с субмеридиональной ориентацией оси сжатия сформированы домены поднятий и прогибаний доюрской поверхности, определившие в условиях погружения геосинеклизы геометрию конседиментационных структур чехла.

Верхние отражающие горизонты (ОГ) чехла несут следы структурной перестройки. Устойчивые ориентировки морфоэлементов складок, выположенных и смещенных относительно нижних горизонтов, близки или соответствуют ориентировкам опережающих разрывов II порядка. Подобные направления также присутствуют в структурном рисунке основания чехла в виде мелких осложнений облика морфоформ, что, вероятно, указывает на координирующее влияние структуры фундамента на развитие дислокаций в приповерхностной части разреза – области сниженных литостатических нагрузок. По ориентировкам морфоэлементов восстанавливается поле напряжений, характеризующееся субширотным вектором сжатия и меридиональным – растяжения, являющееся сдвиговым с левосдвиговыми смещениями по разломам северо-западных и правосторонними – по разломам северо-восточных простираний. Активизированные в постсеноманское время разломы в фундаменте испытывали смену кинематики – реверсию.

На картах кривизны отражающих поверхностей и срезах куба когерентности по ряду объектов выделяются эшелонированные складки или кулисы разрывов, нередко располагающиеся дискордантно пликативному плану. Генетически связанные с оживлением разломов в фундаменте, опережающие разрывы охватывают объемы пород в относительно узких зонах; стратиграфический уровень проникновения в чехол и морфологическая выраженность в поверхностях ОГ, вероятно, определяются интенсивностью тектонических движений. Рассредоточенные сдвиговые зоны связаны с действием более позднего поля напряжений с субмеридиональным сжатием, активизировавшего сдвиги диагональных разломов в фундаменте.

Тектонофизический подход к интерпретации морфоструктур ОГ позволяет через анализ регулярных ориентировок элементов морфоструктур прогнозировать направления потенциальных разрывных нарушений, установить динамическую обстановку формирования и поле напряжений. Реконструкции напряженно-деформированного состояния поисково-разведочных площадей позволяют дифференцировать выявленные сейсмикой разрывы по генетическим типам, кинематике и раскрытости и, соответственно, проницаемости для фильтрации УВ.

КИНЕМАТИКА ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ И БЛОКОВ В ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ

Б.М. Седов

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия

Глубинные исследования XXI в. [Сакулина и др., 2011], данные морской геофизики и изучение сейсмичности северной части побережья Охотского моря, включающего шельф и сушу, на основе комплексных геолого-геофизических материалов ГСЗ-ОГТ, КМПВ, глубинной структуры земной коры, верхней мантии, результаты сейсмологической томографии, данные об абсолютном возрасте вулканогенных формаций позволили установить существование самостоятельного Северо-Охотского блока. Он пространственно совпадает с Охотским средним массивом, сложенным палеозойскими метаморфизованными толщами. Блок, имея форму равностороннего треугольника, ограничен сейсмическими поясами: Черского (с северо-востока), Западно-Охотским (с запада) и вновь выделенным Северо-Охотским (с юга). Охотский блок с литосферными плитами Евразийской, Северо-Американской, Тихоокеанской и микроплитами Охотоморской и Берингоморской образует ряд тройственных соединений. Блок, в результате взаимодействия со всеми перечисленными плитами, «выталкивается» в юго-восточном направлении. При этом он вынужден вращаться в направлении по часовой стрелке.

В результате этого сейсмичность в поясах по периферии блока меняется от слабой до сильной в тройственных точках сочленения плит. При этом меняется и динамика взаимодействия плит с блоком – от напряжений сжатия до растяжения. Последнее, в частности, подтверждается термальными источниками, расположенными в пределах самостоятельного Северо-Охотского сейсмического пояса, протягивающегося в широтном направлении от Охотска, на западе, до сочленения Курило-Камчатского и Алеутского глубинных желобов.

Изучение глубинной структуры земной коры и верхней мантии, а также определение абсолютного возраста позволили восстановить кинематику Охотоморской микроплиты с позднего мезозоя по настоящее время [Алешина, Седов, 2009]. В результате использования вновь полученных данных и палеосейсмологии восстановлена история сейсмичности за весь указанный период.

Параметры кинематики литосферных плит северного побережья Охотского моря позволяют оценить потенциальную сейсмическую опасность шельфа, находящегося в пределах Северо-Охотского сейсмического пояса. Это важная в практическом плане задача, поскольку в настоящее время прибрежная часть акватории Охотского моря является объектом нефтепоисковых работ, сопровождаемых глубоким бурением. Полученные данные являются основой для детальных исследований и сейсмического микрорайонирования, а также при оценке цунами и их воздействия на северное побережье.

ЛИТЕРАТУРА

- Алешина Е.И., Седов Б.М. Развитие структуры и геодинамики северной границы Охотоморской плиты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Тезисы докладов II региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2009. С. 33–36.
- Сакулина Т.С., Каленич А.П., Атаков А.И., Тихонова И.М., Крупнова Н.А., Пыжьянова Т.М. Геологическая модель Охотоморского региона по данным опорных профилей 1-ОМ и 2-ДВ-М // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 11–17.

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА ПО ДАННЫМ О ДИСПЕРСИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

А.И. Середкина, В.М. Кожевников, О.А. Соловей

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

На основании представительной выборки (3200 сейсмических трасс) дисперсионных кривых групповых скоростей основной моды волн Рэлея в пределах диапазона периодов колебаний 10–250 с (глубинность ~700 км) авторами проведено исследование строения земной коры и верхней мантии Азиатского континента.

Картирование групповых скоростей осуществлялось методом двумерной томографии для случая сферической поверхности, разрешение результатов оценивалось путем вычисления эффективного радиуса осреднения. По полученным картам распределений групповых скоростей для восьми различных в тектоническом отношении регионов (Сибирская платформа, Западно-Сибирская плита, Байкальская рифтовая зона, Хангайское сводовое поднятие, Гобийский Алтай, области умеренного горообразования Восточной Монголии, Китайско-Корейская платформа, высокогорное плато Тибет) были рассчитаны средние дисперсионные кривые и проведено их дальнейшее обращение в скоростные разрезы поперечных волн.

Результаты сопоставления вычисленных региональных дисперсионных кривых показывают, что, как и на картах распределений групповых скоростей, наиболее высокие скорости поверхностных волн характерны для Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты. В интервале периодов 25–50 с средняя дисперсионная кривая для Байкальского рифта практически не отличается от дисперсионных кривых платформенных областей, что свидетельствует о сходстве в строении нижней коры и верхней мантии (до глубин ~80 км) данных структур, основные различия между которыми проявлены в более глубоких этажах мантии. Низкие групповые скорости наблюдаются под высокогорным плато Тибет и Хангайским сводовым поднятием. В интервале периодов от 10 до 80 с наименьшие значения скоростей характерны для Тибета, имеющего более мощную кору, а с увеличением периода – для Хангая, что соответствует пониженным скоростям S -волн в мантии на больших глубинах. Общей закономерностью для всех дисперсионных кривых является уменьшение разброса в значениях групповых скоростей для периодов более 175 с, показывающее, что на глубинах более 400 км мантия становится менее дифференцированной по скоростям.

Полученные в результате обращения средних дисперсионных кривых региональные скоростные разрезы поперечных волн позволяют проследить основные закономерности в глубинном строении исследуемых регионов, а также сделать определенные выводы о мощностях литосферы и астеносферы. Наиболее мощная литосфера (~200 км) и утоненная астеносфера (~50 км) наблюдаются под стабильными платформами на севере континента, тогда как под рассматриваемыми тектонически активными регионами толщина литосферы варьируется в пределах 50–150 км, а астеносферы – 80–100 км.

Результаты проведенного исследования показывают, что вычисленные на основании картирования групповых скоростей волн Рэлея средние региональные дисперсионные кривые и разрезы поперечных волн отражают особенности строения рассматриваемых структур. Кроме того, полученные одномерные модели распределения скоростей S -волн могут быть использованы в качестве начальных приближений для дальнейших детальных исследований глубинного строения Азиатского континента.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31173 и гранта интеграционного проекта ОНЗ № 7.7.

Л.А. Сим¹, Л.М. Богомолов², О.А. Кучай³, А.А. Татаурова⁴

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

³ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

В результате проведенных тектонофизических исследований для установления смены во времени геодинамических обстановок формирования структур Южного Сахалина предпринята попытка ответить на следующие вопросы: различаются ли параметры восстановленных тектонических напряжений по площади в зависимости от предыстории формирования новейших структур, от наличия разломов и каково отличие геодинамических обстановок складчатого и орогенного этапов развития, требующее обоснования разновозрастности восстановленных параметров тектонических напряжений и их последовательности во времени.

На основании анализа данных, полученных во время полевых работ, выделено 11 локальных стресс-состояний (ЛСС) в крупных новейших мегаструктурах, сформированных на разновозрастном геологическом основании. Параметры тектонических напряжений существенно различаются в каждом ЛСС. Отмечено, что в зонах разломов в разных крыльях резко меняются ориентировки локальных осей сжатия и растяжения, что особенно отчетливо проявлено в окрестностях субширотного разлома, вскрытого в карьере Пригородном, где происходит практическая переиндексация осей сжатия и растяжения.

В вопросе о возрасте восстановленных тектонических напряжений ключевым моментом являются данные по новообразованному Невельскому Южному бенчу [Невельское землетрясение..., 2009], позволившие отделить постмиоценовые ЛСС от современных, показывающие явную смену постмиоценового поля напряжений сдвигового типа на современное – взбросового типа без смены ориентировки широтной субгоризонтальной оси сжатия. Сдвиговое ЛСС уверенно определяется по сколовым сопряженным трещинам и будинированным слоям меридионального простираения, вскрытым в бенче. Современное напряженное состояние определяется механизмом очага Невельского землетрясения взбросового типа с широтной осью Р. Определение общего поля напряжений по всем восстановленным ЛСС показало в рамках имеющихся материалов достаточно уверенное сдвиговое поле напряжений, свойственное всей исследованной части Южного Сахалина. Несмотря на ограниченное число ЛСС, в постмиоценовых ЛСС Южного Сахалина выделяется два общих поля напряжений. Более раннее соскладчатое общее поле напряжений характеризуется сдвиговым типом с субгоризонтальными осями сжатия широтного простираения и субмеридионального растяжения. Впервые восстановленные по векторам перемещений на зеркалах скольжения стресс-состояния в сочетании с данными о механизмах землетрясений позволили обосновать переиндексацию субгоризонтальной оси растяжения с субвертикальной промежуточной осью главных нормальных напряжений на постскладчатом орогенном этапе развития территории, начало которого датируется в 1.8 млн лет. Эти результаты согласуются с данными В.С. Рождественского (1969, 1997) и В.В. Голозубова и др. (2012) о трансформации правосдвиговых перемещений вдоль систем меридиональных разломов во взбросо-надвиговые.

Молодое орогенное поле напряжений наряду с соскладчатым более уверенно восстанавливается в зонах активизации разломов, ограничивающих блоки орогенного этапа, в то время как внутри блоков, сложенных более древними и сложно дислоцированными мезозойскими породами лучше сохраняются следы соскладчатых деформаций без отражения более молодых орогенных полей напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. М.: Янус-К, 2009. 204 с.

БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

А.А. Татаурова¹, М.Е. Козина¹, О.А. Кучай²

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

В качестве основного источника информации о напряженно-деформированном состоянии глубинных частей земной коры используются механизмы очагов землетрясений. Представленные в этой работе сейсмотектонические деформации рассчитаны по данным о 770 механизмах очагов землетрясений с $M=3.5-7.3$, произошедших в АСО за период с 1970 по 2007 г. Для расчета сейсмотектонических деформаций (СТД) использовался метод [Ризниченко, 1985; Костров, 1975]. Ориентация главных осей укорочения СТД в полосе примерно между 87 и 89-м меридианами близмеридиональная, точнее – СВ, западнее – СЗ. Резкая смена северо-западной ориентации горизонтального укорочения к западу наблюдается в районах, прилегающих к озеру Зайсан, и в Горном Алтае. Менее резкое, но достаточно отчетливое изменение ориентации горизонтальных осей укорочения в СВ направлении происходит примерно вдоль Предалтайского разлома и Шапшальского горного узла, отделяя Горный Алтай от его восточной окраины, от Западного Саяна в целом и таких его фрагментов, как Шапшальский горный узел, а также от Западной Тувы. С-СВ ориентация горизонтальной оси укорочения с дальнейшим ее поворотом на восток прослеживается вдоль Саян и вдоль Северной Монголии. Преимущественная ориентация этих осей сохраняется вплоть до южной оконечности оз. Байкал. Получается, что по ориентации главных осей СТД удастся выделить блоки, в пределах которых наблюдается однородно-деформированное состояние земной коры, которое в ряде районов согласуется со стресс-тензорами, восстановленными по геолого-структурным данным [Parfeevets, Sankov, 2012].

Дополнительно рассмотрены карты максимальных значений СТД, полученных в географической системе координат. Построение карты состояло в следующем. Из диагональных компонент тензора сейсмотектонических деформаций (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{zz}) в каждой ячейке выбирались наибольшие значения по абсолютной величине. Строились карты с учетом знака деформации. Анализ карты максимальных значений СТД показывает, что области максимального меридионального укорочения в основном располагаются в южной части района АСО. Области максимального меридионального удлинения встречаются фрагментарно и на очень небольших территориях. Севернее 49-й параллели и восточнее 89-го меридиана наблюдается преимущественно максимальное широтное или вертикальное удлинение. Исключение составляет полоса, в пределах которой наблюдается чередование объемов земной коры с максимальными значениями меридионального, широтного или вертикального укорочения. Эти области простираются вдоль хр. Западного Танну-Ола и далее на северо-восток, огибая Тувинскую впадину.

ЛИТЕРАТУРА

Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 174 с.

Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

Parfeevets A.V., Sankov V.A. Late Cenozoic tectonic stress fields of the Mongolian microplate // C. R. Geoscience. 2012. V. 344. P. 227–238.

КОНЦЕПЦИЯ БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ И ПРОБЛЕМА ГРАНИЦ БЛОКОВ

Т.Ю. Тверитинова¹, А.В. Викулин²

¹ Институт физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

Геологической среде свойственна делимость – она имеет блоковую структуру. Блок – неделимый в определенном масштабе объем геологической среды. Существование блоков предполагает наличие границ блоков – зон, где неделимость нарушается. В геологической среде на региональном уровне границы блоков в основном представлены разрывно-трещинными структурами. При более широком понимании границ блоков как зон концентрации деформаций картина строения геологической среды будет более полной, но и она не отразит всей сложности ее структуры. Блоки перемещаются относительно друг друга, испытывают вращение, то есть геологическая среда – это подвижная «живая» система. Блоки, границы блоков, делимость – элементы и свойства хрупкой структуры геологической среды. Помимо хрупкой твердой части геологическая среда содержит пластичную, еще более подвижную часть.

Дискретные свойства геологической среды, построение ее из блоков наиболее ярко проявлены в хрупкой приповерхностной зоне Земли (в разных масштабах это будет «слой» разной мощности). Дискретность выражена в наличии в геологической среде трещинно-разрывных структур, в более полном понимании – зон концентрации деформаций различного типа, картина распределения которых отражена в распределении линеаментов – видимых линейно-дуговых элементов структурного рисунка геологической среды. (Распределение линеаментов можно рассматривать не только на поверхности, но и в объеме).

Среди линеаментов значительная часть принадлежит разрывно-трещинным структурам (зонам концентрации деформаций) (линеаменты «разломы»). Помимо этого, среди линеаментов присутствуют четко не проявленные, неясные линеаменты и линеаментные зоны (линеаменты «фантомы»). Они не сопоставляются с конкретными геологическими объектами, но определяют наличие зон неоднородностей, представляя собой зоны концентрации напряжений.

Распределение напряжений в земной коре (литосфере, Земле) неоднородно. Есть зоны (области) максимальных и минимальных напряжений, зоны (области) стабильных и неустойчивых напряжений.

Проявленные структуры разрушения являются зонами (областями) минимальных напряжений, зонами (областями) их сброса, так как накопленные здесь напряжения реализовались формированием структур разрушения. Зоны (области) максимальных напряжений (зоны концентрации напряжений) находятся в состоянии, близком к разрушению.

Области (зоны) стабильных напряжений – относительно высоких или относительно низких – своеобразные блоки геологической среды.

Напряжения – единая «сплошная среда» с постоянным перераспределением от зон максимальных напряжений в зоны минимальных напряжений. Это перераспределение определяется не только разницей уровня напряжений, но и неоднородностью среды – наличием зон (областей) «легкого» и «затрудненного» варианта перераспределения (перетока) напряжений. Чем однороднее среда, тем перераспределение напряжений сложнее, потому что напряжения в таких зонах (областях) характеризуются близкими величинами напряжений, отсутствием резких градиентов. В зонах (областях) значительных неоднородностей возникают условия резких перепадов напряжений. Здесь есть участки, где напряжения почти достигли предела или уже произошло разрушение и спад напряжений.

Если перейти теперь на терминологию делимости и блочности строения земной коры (литосферы, Земли в целом), то понятно, что блоки и их границы можно противопоставить по многим параметрам.

Блоки – относительно неподвижные, относительно цельные, относительно однородные области относительно стабильных напряжений. Границы блоков – зоны концентрации напряжений и деформаций, зоны максимальных градиентов напряжений. Эти зоны выражены либо уже проявленными структурами разрушения, либо зонами, где конкретных структур разрушения еще нет, но характерен повышенный уровень напряжений, ведущий к возникновению аномалий, «чувствующихся» через линеаменты.

Разломно-блоковая среда относительно стабильна, тогда как перераспределение напряжений в зонах их концентраций – процесс непрерывного их изменения.

В рамках концепции блоковой геосреды для волнового геодинамического процесса построена модель, в которой блоки между собой взаимодействуют как *объемы* среды, создавая поля напряжений с симметричным тензором напряжений (Викулин, Иванчин, 2013; Vikulin, Tveritinova, Ivanchin, 2013). В такой модели граница может проявиться лишь в частном случае взаимодействия блоков между собой – в случае их «близкодействующего моментного» взаимодействия. Только при таком типе взаимодействия поверхность одного или нескольких взаимодействующих между собой блоков или какая-то часть такой поверхности и может проявиться в виде вскрывшегося разлома или системы разломов, которые оконтуривают очаг произошедшего землетрясения (Викулин, 2014).

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ РАВНОВЕСНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ЛИТОСФЕРОЙ И КОНВЕКТИРУЮЩЕЙ МАНТИЕЙ

Я.М. Хазан, О.В. Арясова

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

В квазистационарном состоянии конвективный пограничный слой (КПС) (область перехода от литосферы к конвектирующей мантии, литосферно-астеносферная граница) находится на пределе устойчивости. Этим определяется его глубина, мощность и квазистационарное распределение температуры в литосфере. Если бы мантия была однородна, то подошва литосферы при современной потенциальной температуре располагалась бы глобально на одной и той же глубине $H_{rh}=50-70$ км. На самом деле, режим взаимодействия мантийной конвекции с литосферой определяется соотношением между этой глубиной и мощностью H_{depl} химического погранслоя, включающего кору и слой деплетированных пород. Если мощность химического погранслоя мала ($H_{depl} < H_{rh}$), как в современной океанической мантии, то устанавливается субокеанический режим, при котором мантийная конвекция не достигает подошвы химического погранслоя. В этом случае кровля КПС находится на глубине H_{rh} , а тепловой поток и глубина океана зависят только от потенциальной температуры T_p и в областях коры с возрастом $>60-70$ млн лет одинаковы всюду вдали от возмущенных территорий (горячих точек, зон субдукции). Отсутствие заметных отличий между значениями теплового потока в различных океанических бассейнах указывает на глобальное постоянство потенциальной температуры. При $H_{depl} > H_{rh}$ устанавливается субконтинентальный режим взаимодействия мантийной конвекции с литосферой. При этом КПС непосредственно примыкает к деплетированной литосфере, его кровля находится на глубине H_{depl} , поверхностный тепловой поток $q(T_p, H_{depl})$ зависит не только от потенциальной температуры T_p , но и от мощности деплетированной литосферы и убывает с увеличением H_{depl} , а значит, и с возрастом последней. При фиксированной потенциальной температуре зависимость $q(T_p, H_{depl})$ согласуется с огибающей результатов термобарометрии ксенолитов кимберлитов, представленных на диаграмме (глубина наиболее глубокого ксенолита в кимберлите – тепловой поток). В самой нижней части континентальной литосферы, по всей видимости, существует зона горизонтальной сдвиговой деформации. Именно из этой зоны кимберлиты, вероятно, захватывают сильно деформированные и при этом наиболее глубинные ксенолиты. Кроме того, с зоной деформации должна ассоциироваться азимутальная анизотропия скорости сейсмических волн. Изменение ее направления с глубиной может наблюдаться как разрыв Леманн. Полностью статья опубликована в журнале Физика Земли [Хазан, Арясова, 2014].

ЛИТЕРАТУРА

Хазан Я.М., Арясова О.В. Устойчивость пограничного слоя между литосферой и конвектирующей мантией и равновесная литосферная геотерма // Физика Земли. 2014. № 4. С. 1–20.

СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ ЮГО-ВОСТОКА БАЙКАЛЬСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ОБМЕННЫХ PS-ВОЛН

Л.Р. Цыдыпова¹, В.В. Мордвинова², Ц.А. Тубанов¹, М.М. Кобелев², П.А. Предин¹

¹ Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Геодинамические исследования сложной в геологическом и тектоническом отношении Саяно-Байкальской области нуждаются в подкреплении детальными и надежными сведениями о глубинной структуре земных недр – в первую очередь о распределении скоростей сейсмических волн в земной коре и верхней мантии. Однако изучение детальной скоростной структуры в регионе затруднено из-за редкой сети сейсмических станций, большая часть которых к тому же является узкополосными, что ограничивает глубину исследований. В Геологическом институте СО РАН последние годы проводится планомерная работа по расстановке современных широкополосных станций и созданию базы данных, необходимой для глубинных исследований наиболее перспективным методом функции приемника [Vinnik, 1977; Kosarev et al., 1993; Kind et al., 1995; Мордвинова, Артемьев, 2010].

Станция «Хурумша» расположена в 50 км к юго-западу от г. Улан-Удэ. Ее более 200 качественных записей далеких землетрясений 2011–2012 гг., позволили поставить задачу построения модели скорости распространения P и S волн и плотности до глубины 270 км в окрестности юго-восточной границы Байкальской рифтовой зоны [Салоп, 1964].

В ходе решения задачи из 3-компонентных широкополосных записей станции «Хурумша» были выделены и проанализированы волновые формы функции приемника, полученные по землетрясениям в диапазоне обратных азимутов (BAZ) от 100 до 169°. Анализ приемных функций и рассчитанных их обращением одномерных моделей S -скорости показал тождественность скоростного строения в диапазонах BAZ 100–130° и 131–169°. Основными чертами V_S модели являются: толщина земной коры, равная 39–40 км, средняя S -скорость 3.7 км/с, наличие слоя пониженной скорости в интервале глубин 10–18 км, более низкая скорость в нижней половине коры по сравнению с ее верхней половиной. Коромантийный переход довольно сложный: резкое увеличение скорости на глубине 40 км менее чем через 8 км сменяется ее резким уменьшением, затем опять следуют увеличение и уменьшение скорости. К 65 км скорость стабилизируется до мантийной (4.4–4.5 км/с). В среднем полученная модель близка характеристикам соответствующего района на P -томографии вдоль профиля PASSCAL [Мордвинова и др., 2000].

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 111.

ЛИТЕРАТУРА

- Мордвинова В.В., Артемьев А.А. Трехмерная модель юга Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий по обменным волнам // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 6. С. 887–904.
- Мордвинова В.В., Винник Л.П., Косарев Г.Л., Орешин С.И., Треусов А.В. Телесеismicкая томография литосферы Байкальского рифта // ДАН. 2000. Т. 372, № 2. С. 248–252.
- Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. М.: Недра, 1964. Т. 1. 515 с.
- Kind R., Kosarev G.L., Petersen N.V. Receiver functions at the stations of the German Regional Seismic Network (GRSN) // Geophysical Journal International. 1995. V. 121. P. 191–202.
- Kosarev G.L., Petersen N.V., Vinnik L.P., Roecker S.W. Receiver functions for the Tien Shan analog broadband network: contrast in the evolution of structures across the Talasso-Fergana fault // Journal of Geophysical Research. 1993. V. 98, № B3. P. 4437–4448.
- Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to S in the mantle // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1977. V. 15. P. 39–45.

РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ КОРЫ И СПЕЦИФИКА ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

А.В. Черемных

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Разломно-блоковая структура (Р-БС) земной коры – сочетание разноранговых разломов и вычленяемых ими блоков. Она характеризуется закономерной иерархической соподчиненностью разломов и блоков с наличием преимущественных размеров структур, зональным строением межблоковых границ, сложным напряженно-деформированным состоянием верхней коры в пределах Р-БС. В связи с этим изучение Р-БС требует решения следующих задач: 1) картирования разрывных нарушений и блоков разных рангов; 2) установления кинематических типов дизъюнктивов и 3) реконструкции напряженно-деформированного состояния в пределах разноранговых элементов структуры.

При картировании Р-БС неотектонического этапа развития хорошие результаты показал морфоструктурный анализ рельефа. Некоторая сложность возникает лишь при картировании зон крупных межблоковых дизъюнктивов. Последние представляют собой объем геологической среды, в котором проявлены остаточные деформации, связанные с формированием разлома и последующими подвижками по его сместителю [Шерман и др., 1983]. Такие разломы в процессе своего развития «переживают» три главные стадии: раннюю дизъюнктивную, позднюю дизъюнктивную и стадию полного разрушения [Семинский, 2003]. Протяженные разломы стадии полного разрушения, у которых сформировался и проявлен в рельефе магистральный сместитель, отчетливо выделяются при анализе мелкомасштабных топооснов. Разломы, находящиеся на дизъюнктивных стадиях и не выраженные единым сместителем, необходимо картировать с использованием топокарт среднего и мелкого масштаба. Существуют различные приемы картирования зон разломов, не выраженных магистральным сместителем. Так, крупные дизъюнктивы отображаются в изолиниях плотности разломов, фрактальной размерности и информационной энтропии сети разрывов. При расчете этих показателей необходим выбор размера окна подсчета. Однако при контрастном блоковом строении геологической среды крупные разломные зоны можно картировать без применения палеток, на основе анализа форм и размеров блоков.

При изучении Р-БС важно установить кинематический тип межблоковых, а часто и внутриблоковых разрывных нарушений. Существуют различные методические приемы реконструкции кинематического типа разлома. Нами для изучения разломов, а также реконструкции палеонапряжений предлагается использовать парагенетический метод анализа разрывов и трещиноватости вблизи разломных сместителей [Семинский, Черемных, 2011], который желательно комплексировать с методами восстановления осей тектонических напряжений по следам на зеркалах скольжения и методом поясов трещиноватости. Кроме того, локальные стресс-тензоры следует рассматривать с учетом иерархии разрывов и специфики их внутренней структуры.

Изложенный подход позволил изучить разломно-блоковую структуру верхней части земной коры в пределах ряда полигонов юга Восточной Сибири. Результаты исследования могут быть полезны при сейсмическом районировании, выборе точек мониторинга состояния геологической среды и палеотектонических реконструкциях.

Работы выполнены при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00322) и ОНЗ-7.6.

ЛИТЕРАТУРА

- Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. 244 с.
- Семинский К.Ж., Черемных А.В. Трещинные сети и напряженное состояние кайнозойских осадков Байкальского рифта: новые возможности структурно-парагенетического анализа // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 3. С. 450–469.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.

2

**СТРУКТУРА КРУПНЫХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ЛИТОСФЕРЫ.
АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И КОНТРОЛЬ СИНХРОННЫХ И
СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ**

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАЗМЕРАМИ ВТОРИЧНЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ СТРУКТУР И ПАРАМЕТРАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (ПО МИРОВЫМ ДАННЫМ)

А.В. Андреев, О.В. Лунина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В мировой литературе нередко описываются вторичные эффекты разжижения и флюидизации грунтов, возникающие во время землетрясений с $M \geq 5$. Остаточными деформациями от таких эффектов, которые можно наблюдать в обнажениях, являются сейсмиды, имеющие различные формы: от пламенеобразных и складкоподобных до кластических даек. Последние часто приурочены к сеймотектоническим разрывным нарушениям и делятся на два типа: инъекционные и нептунические дайки, отличающиеся стратиграфическим положением слоя – источника внедрившегося материала (из ниже- и вышележащих толщ, соответственно) по отношению к деформированному интервалу осадочного разреза. По сравнению с другими типами сейсмидов, кластические дайки наиболее информативны для решения различных сеймотектонических задач. В частности, нами впервые по мировым данным предложены граничные зависимости между параметрами инструментальных землетрясений (магнитудой по поверхностным волнам M_S и интенсивностью сотрясения I_{II} в пункте наблюдения по шкале MSK-64) и кластических даек (высотой или глубиной (в зависимости от типа) их проникновения h_{cd} , мощностью m_{cd} , а также индексом интенсивности их проявления I_{cd} , предложенным в работе [Лунина и др., 2011]). Значительная часть использованной в анализе информации была собрана при полевых исследованиях в плейстосейстовых областях Мондинского 4.04.1950 г. и Чуйского 27.09.2003 г. землетрясений и хранится в базе данных косейсмических эффектов, реализуемой в ГИС MapInfo v.10+ [Гладков и др., 2013; Лунина и др., 2014]. Дополнительный материал получен из публикаций по инструментальным землетрясениям, произошедшим в других регионах России, а также в пределах Венесуэлы и США.

Несмотря на небольшой объем статистических выборок вследствие недостаточного описания параметров кластических даек в мировой литературе, отмечена прямая связь увеличения максимальных размеров кластических даек с ростом магнитуды и интенсивности в диапазонах $5.7 \leq M_S \leq 7.8$ и $6-7 \leq I_{II} \leq 9-10$, соответственно. Установленные зависимости являются логическим продолжением подобных исследований авторов [Андреев, Лунина, 2012; Лунина и др., 2014] и призваны дополнить разрабатываемые комплексные прогнозные модели развития процессов разжижения грунтов при сейсмических воздействиях. Предложенные соотношения так же существенно расширяют возможности палеосейсмогеологических исследований в части определения параметров исторических и доисторических землетрясений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-17-00007).

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев А.В., Лунина О.В. Параметры землетрясений и пространственное распределение косейсмических эффектов на юге Сибири и в Монголии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39, № 2. С. 25–62.
- Гладков А.А., Лунина О.В., Андреев А.В. Некоторые аспекты разработки информационной системы для интегрирования данных по активной тектонике // Геоинформатика. 2013. № 4. С. 6–14.
- Лунина О.В., Андреев А.В., Гладков А.А. Закономерности проявления и модели локализации опасных геологических процессов при сейсмогенной активизации разломов на юге Сибири и в Монголии // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 8 (в печати).
- Лунина О.В., Андреев А.В., Гладков А.С. Локализация эпицентра землетрясения доинструментального периода на основе количественного анализа косейсмических деформаций в рыхлых отложениях // ДАН. 2011. Т. 438, № 4. С. 543–549.

РАСЧЕТ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЯ ПО ГЛАВНОМУ САЯНСКОМУ РАЗЛОМУ

А.В. Аржанникова¹, Ж.-Ф. Риц², С.Г. Аржанников¹, К. Ляррок³, Р. Вассалло⁴

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Геосаянс Монтпеллье, Университет Монтпеллье 2, Монтпеллье, Франция

³ Геосаянс Азюр, София Антиполис, Франция

⁴ Университет Савойи, Шамбери, Франция

Главный Саянский разлом представляет собой границу между юго-западной частью южного выступа Сибирской платформы и Саянским горным массивом Центрально-Азиатского подвижного пояса. Неотектонические деформации в зоне разлома происходили в условиях сдвига со сжатием. Так, авторы работы [Чипизубов, Смекалин, 1999] в ходе палеосейсмогеологических исследований в зоне Главного Саянского разлома выделили сеймотектонические деформации протяженностью 60 км, анализ внутренней структуры которых показал, что основным типом движений позднего кайнозоя является левый взбросо-сдвиг. Попытки измерить скорость современных смещений по Главному Саянскому разлому методом GPS-геодезии показали ничтожно малые движения крыльев разлома друг относительно друга [Саньков и др., 2004]. При этом оцененная этими же исследователями в первом приближении скорость горизонтальных смещений по разлому за голоцен составила 3.0–3.3 мм/год.

Для более точной оценки геологической скорости нами было проведено детальное изучение одного из участков Главного Саянского разлома и выявлена небольшая дренажная впадина, деформированная разрывом с накопленным смещением в несколько десятков метров. На этом участке была проведена детальная топографическая съемка с использованием прибора «Total station» для создания цифровой модели рельефа, которая позволяет рассчитать горизонтальные и вертикальные амплитуды смещения по разлому. Для определения смещения мы рассчитали угол вектора скольжения (спроецированный на вертикальную плоскость), измерив угол склона вдоль дислокации там, где он параллелен склону (т.е. там, где в рельефе не выражено вертикальное смещение). Вектор скольжения оказался равным $12 \pm 0.5^\circ$. Затем была рассчитана вертикальная компонента посредством серии профилей, пройденных в крест простирания разломного уступа, – она составила $V = 8.75 \pm 0.75$ м. Таким образом, рассчитанная по формуле: $H = V / \tan 12^\circ$ горизонтальная компонента составляет порядка 40 м. Такое же значение было получено и другим способом – путем совмещения двух параллельных топографических профилей, пройденных вдоль уступа с одной и с другой стороны разлома при условии, что вектор скольжения составляет 12° .

Со смещенной поверхности и из седиментологической ловушки, образовавшейся в основании уступа при первых подвижках, были отобраны образцы для датирования методами ^{14}C и OSL. Ожидаемые в ближайшее время результаты позволят нам максимально уточнить скорость горизонтального смещения по Главному Саянскому разлому.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №13-05-00247).

ЛИТЕРАТУРА

- Саньков В.А., Чипизубов А.В., Лухнев А.В., Смекалин О.П., Мирошниченко А.И., Кале Э., Девершер Ж. Подход к оценке опасности сильного землетрясения в зоне Главного Саянского разлома по данным GPS-геодезии и палеосейсмологии // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 11. С. 1369–1376.
- Чипизубов А.В., Смекалин О.П. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 6. С. 936–947.

ПРОЯВЛЕНИЯ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛОМОВ ТИМАНСКОГО КРЯЖА

М.Г. Вахнин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Тиманский кряж находится на северо-востоке европейской части России и представляет собой структуру, расположенную в северо-западном направлении и имеющую размеры порядка 1100 км в длину и шириной до 150 км. Гряда состоит из Канино-Северотиманского, Цилемско-Четласского и Восточно-Тиманского мегавалов, которые разделены депрессиями второго порядка. Включает два структурных этажа: рифейский, представляющий собой складчатый фундамент, и фанерозойский, содержащий платформенный чехол, мощность которого изменяется от 0 до 2 км [Тимонин, 1998]. Первоначальная складчатость рифейских метаморфических сланцев на Тимане ориентирована на северо-запад и соотносится с направлением глубинных разломов. Более поздние тектонические сдвиги происходили по старым направлениям. Наиболее древние из них – Западно-Тиманский, Центральнотиманский и Восточно-Тиманский глубинные разломы. Данные разломы испытывали неоднократную активизацию. С ними были связаны более молодые разломы и линейные зоны нарушений.

На Тиманском кряже в течение его развития имело место несколько стадий тектогенеза. В конце протерозоя и начале кембрия произошла консолидация фундамента и образовалась горно-складчатая система. На следующем этапе последовало выравнивание рельефа в результате денудационных процессов и в позднем девоне – излияния базальтов. В период с карбона по нижнюю пермь в спокойных тектонических условиях накапливались морские осадки и увеличивалась мощность осадочного чехла. Наибольший рост горообразования пришелся на пермский период, а с верхней перми до начала палеогена происходило выравнивание образованного горного рельефа.

Структура современного Тимана стала формироваться в мезозое, и в настоящее время продолжается его развитие. И с конца палеогена по неоген происходит общее поднятие и расчленение территории [Тиманский кряж, 2008]. При этом современный рельеф формируется новейшими тектоническими движениями различной интенсивности. Глубинные разломы служат границами для современного поднятия Тиманской гряды. Восточно-Тиманский разлом ограничивает поднятие Тимана с северо-востока. Он состоит из параллельных Тиману разломов сбросового характера. Розы-диаграммы линеаментов имеют преимущественно северо-западное направление в районе таких разломов. А Западно-Тиманский разлом ограничивает гряду с запада. Его центральная часть хорошо диагностируется изменением формы роз-диаграмм линеаментов и значением показателей анизотропии. В настоящее время максимально приподнятым участком на среднем Тимане является Четласское поднятие, ядро которого содержит рифейские породы. На северо-запад от Четласского поднятия выделяется Рочугское неотектоническое поднятие, где наблюдается увеличение плотности линеаментов. К югу от Четласского поднятия выделяется Обдырское поднятие со своеобразным рисунком гидросети рек Емва и Вымь. В данном районе методами дистанционного зондирования хорошо дешифрируются разломы. Использование космических снимков позволяет получить дополнительную информацию при изучении новейшей тектонической активности разломов.

ЛИТЕРАТУРА

Тиманский кряж. В 2 т. Т. 1. История, география, жизнь. Ухта: УГТУ, 2008.

Тимонин Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.

ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ НА ПЕРИФЕРИИ БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Н.В. Вилор

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

Байкальская рифтовая зона (БРЗ) при относительно небольших размерах (0.02 земного радиуса, 0.05 земной окружности) характеризуется положительной аномалией диссипации энергии в виде высоких сейсмичности и эндогенного теплового потока. В ее современной геодинамике на фоне сдвиго-раздвиговых деформаций и множества одномоментных высокоскоростных разрядок тектонических напряжений в виде сейсмических импульсов выделяется широкий спектр низкоскоростных перемещений в слагающем коллаже блоков, выражаемых в масштабах геологического времени. Целью исследования является установление корреляций скорости знакопеременных движений вдоль южной периферии Байкальской впадины с проявлениями эндогенной активности ее верхней коры, представленными поверхностными аномальными тепловыми, геохимическими потоками и формированием геотермальных полей.

Расчет скоростей нисходящих движений (отрицательное направление (–)) блоков проводился по накопленным мощностям кайнозойских осадков от западного замыкания Мурынско-Выдринской депрессии (МВД) до устьевой части дельты р. Селенга. Восходящие движения (положительное направление (+)) вычислялись по высотам расположения подошвы мел-палеогеновой коры выветривания на Олхинском плато и Приморском хребте, а также при анализе эрозии рельефа конечных морен последнего оледенения в Южном Прибайкалье. По накопленным мощностям от палеогена до голоцена в дельте Селенги вычисленная скорость погружения (–) перемещений составила 0.124 мм/год. На западном контуре МВД скорость осадконакопления эоплейстоценовых отложений шанхаихинской свиты также не более 0.5 мм/год. При восходящих (+) перемещениях скорость подъема мел-палеогеновой коры выветривания с перекрывающими голоценовыми суглинками по передовым разломам краевого шва Сибирской платформы достигает 30 мм/год на Олхинском плато и 50 мм/год в Приморском хребте по одноименному разлому. Эрозия конечных морен, сформированных при последнем оледенении на территории МВД, от Танхоя до устья р. Мурино обусловлена увеличением скорости подъема с «перекашиванием» блока от 1–2 до 5–11 мм/год в направлении с востока на запад. Возраст оледенения принят от 11 до 25 тыс. лет по данным [Богущ и др., 2012] и [Мац и др., 2001] соответственно. Полученные величины в целом близки к скоростям постгляциальных деформаций, рассчитанных в работе [Леви и др., 1996]. На поднятом блоке МВД формируются локальные мульды протяженностью 3–5 км со скоростью проседания, не компенсированной аккумуляцией современных аллювиально-пролювиальных отложений и активным торфообразованием. На бортах структур, ограниченных мелкими сбросами СВ простирания, фиксируется до пяти ступеней-уступов за счет опускания донной части. В целом скорость опускания на периферии рифта, рассчитываемая по мощностям осадконакопления, на порядок ниже скорости воздымания смежных блоков кристаллического фундамента. Восходящие перемещения кратковременны, с продолжительностью от $1 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^4$ лет. Они, вероятно, связаны с деформациями коллажированного фундамента в верхней коре на фоне стационарного растяжения в рифте и с активизациями отдельных интервалов региональных разломов, конформных структуре БРЗ и северо-западным простираниям краевого шва Сибирской платформы, экспонированными поверхностным тепловым эффектом уходящего инфракрасного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

- Богущ А.А., Леонова Г.А., Бобров В.А. и др. Особенности концентрирования цинка, меди и серебра в торфянике Выдринского болота (Байкальский регион) // Современные проблемы геохимии. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2012. Т. 1. С. 125–127.
- Леви К.Г., Кириллов П.Г., Алакишин А.М. Последледниковая тектоника в Байкальской рифтовой зоне // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века. Новосибирск: Наука. Сибирск. издат. фирма, 1996. С. 133–138.
- Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 251 с.

СТРОЕНИЕ И КИНЕМАТИКА ИРТЫШСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ В РАННЕЙ ПЕРМИ

В.Г. Владимиров^{1,2}, И.А. Савинский¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Иртышская сдвиговая зона (*shear zone*) разделяет герциниды и каледониды Большого Алтая (Центрально-Азиатский складчатый пояс). В северной части Иртышской зоны с северо-востока от нее расположены островодужные комплексы Рудного Алтая (окраина Сибирского континента), а с юго-запада – карбонатно-терригенные отложения кыстав-курчумской свиты (D_2gv), песчаники и черные сланцы такырской свиты (D_3-C_1) (Обь-Зайсанский палеоокеанический бассейн).

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования строения и кинематики северо-восточной части Иртышской зоны на рубеже 285–280 млн лет. Выбор данного возрастного среза не случаен, поскольку именно с ним в пределах Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна и Иртышской зоны, в частности, связывается пик проявлений кислого (калбинский комплекс) и базитового (прииртышский и максутский комплексы) магматизма [Травин и др., 2001; Владимиров и др., 2001; Хромых и др., 2011; и др.]. Немаловажным аспектом, инициирующим работы, послужили также данные, указывающие на синтетектонический характер кислого и базитового магматизма.

Тектонические события на рубеже 285–280 млн лет отвечают обстановкам транспрессии, проявившейся в пределах Иртышской шовной зоны неоднородно. С юго-запада в краевой части (со стороны Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна) доминируют элементы сжатия и скучивания, обеспечившие фрагментирование и тектоническое экспонирование фрагментов метаморфических пород, появление локальных зон растяжения (детачментов и вертикальных дуплексов), обеспечивших внедрение базитовых расплавов. Сдвиговая компонента транспрессии доминирует лишь в осевой части Иртышской зоны, где тектонические движения повсеместно имеют левостороннюю кинематику.

Существует пространственная приуроченность более молодых оценок возраста (282–280 млн лет) к осевой части шовной зоны, тогда как ранние события (285–287 млн лет) тяготеют к ее краевой части. Можно предположить, что это связано с заложением в краевых частях Иртышской зоны промежуточных камер базитового расплава. Они трассируются в современном эрозионном срезе многочисленными выходами габброидов прииртышского комплекса. Их существование в период 285–282 млн лет, скорее всего, послужило той тепловой машиной, которая обеспечила основной объем гранитоидов как внутри Иртышской зоны, так и в ее обрамлении (Калбинский батолит?). Консолидация же базитов к рубежу 282 млн лет привела к постепенному «запиранию» сдвигов, либо, что более вероятно, они приобретают характер «холодной» милонитизации и локальной разгрузки напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Сибирского отделения РАН (ИП ОНЗ-10.3, ПФИ № 77).

ЛИТЕРАТУРА

- Владимиров А.Г. и др. Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтай и Калбы (по данным U-Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 8. С. 1157–1178.
- Травин А.В. и др. $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование деформаций в Иртышской зоне смятия (Восточный Казахстан) // Геохимия. 2001. № 12. С. 1–15.
- Хромых С.В. и др. Габбро-пикритоидные массивы в складчатой системе герцинид Восточного Казахстана – индикатор взаимодействия плюма с коллизионной литосферой // ДАН. 2011. Т. 441, № 5. С. 651–656.

АНАЛИЗ НОВЕЙШИХ (ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ) СТРУКТУР; ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДОМЕНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (ОСР-2012)

Г.С. Гусев¹, Л.П. Имаева², В.С. Имаев²

¹ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов РАН, Москва, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Новейшая тектоника представляет собой структурный каркас, в который вписываются активные разломы и другие проявления позднечетвертичной тектонической активности, напрямую связанные с современной сейсмичностью. Поскольку в ходе длительного развития новейшей структуры происходили ее изменения, необходимо определить тенденции развития и выделить те структурные элементы, которые возникли или продолжали унаследованно развиваться в его последнюю (позднеплейстоцен-голоценовую) фазу. Выделение и параметризация доменов новейшей тектонической активности для решения задачи общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-12) осуществлялись на фактической базе данных «Схемы неотектонического районирования территории Российской Федерации масштаба 1:5000000», составление которой осуществлялось с соблюдением определенных принципов [Гусев и др., 2011].

Неотектоническая зона рассматривается нами как пространственно локализованный в земной коре целостный объект, с многофакторным взаимодействием его основных компонентов. Зонирование геодинамической активности неотектонических структур проведено в формате новых геоинформационных систем и осуществлялось путем тектонической интерпретации первичных геологических, геофизических, геоморфологических, геодезических и дистанционных признаков, а также данных GPS, на основе фундаментальных положений тектоники литосферных плит и мантийных плюмов.

Классификация неотектонических зон представляет собой многоуровневую систему, состоящую из десяти классов активности геодинамических процессов формирования неотектонических структур. Каждый класс характеризуется свойственным ему набором признаков, определяющих степень активности неотектонических структур. В их числе: геодинамическая обстановка, величина поднятия рельефа земной поверхности, контрастность рельефа, скорости современных вертикальных и горизонтальных движений земной коры, кинематические характеристики новейших разломов, геофизические параметры (тепловой поток, гравиметрические аномалии), мощность земной коры и литосферы. Характеристики классов неотектонической активности совместно с активными разломами составляют главное содержание этой схемы. Созданная модель была принята в качестве основы при картировании доменной структуры зон ВОЗ для ОСР-2012, поскольку такое зонирование доменов оказалось наиболее обоснованным и унифицированным для всей территории Российской Федерации [Уломов, 2013].

ЛИТЕРАТУРА

- Гусев Г.С., Имаева Л.П., Акатова К.Н. Зонирование геодинамической активности неотектонических структур для целей общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2012 // Геориск. 2011. № 7. С. 207–209.
- Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-2012 // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40, № 4. С. 5–20.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРА МОНГОЛИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

А.Ю. Ескин, В.И. Джурик, С.П. Серебренников

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Комплексный анализ исходных геолого-геофизических и сейсмологических данных позволяет обосновать уровень потенциальной сейсмичности района и возможные сейсмические воздействия на объекты стройиндустрии.

Тектонические нарушения разного ранга отчетливо выражены в морфоструктурных особенностях рельефа, служат этапу первоначального планирования участков строительства и обоснованию объемов геолого-геофизических исследований.

Исследуемая территория характеризуется высоким уровнем сейсмической активности. Для общего представления о сейсмической ситуации территории подготовлен комплект сейсмологических карт, отражающих сейсмический потенциал региона. На данных картах наиболее отчетливо выделены активные сейсмические зоны и связанные с ними тектонические структуры, расположенные в пределах исследуемого региона [Джурик и др., 2005].

В докладе представлены результаты геолого-геофизического изучения зон тектонических нарушений комплексом геофизических методов от уровня регионального (Орхонский район, МНР) до конкретных населенных пунктов (г. Эрдэнэт, МНР) с целью районирования их территорий по максимальным сейсмическим воздействиям.

Зоны тектонических нарушений хорошо выделяются по данным сейсморазведки с помощью отраженных волн [Ляховицкий и др., 1989]. Кроме сейсмических методов, при определении зон разломов и зон повышенной трещиноватости с успехом применяются различные методы электроразведки (электропрофилирование, вертикальное электроразведывание (ВЭЗ)). Последний (ВЭЗ) следует особо отметить в этом комплексе, потому что он наиболее эффективен при прослеживании погребенных тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости. Положительные результаты ВЭЗ чаще всего связаны с повышенной обводненностью зон тектонических нарушений [Огильви, 1990].

Методика геофизических исследований отработана на объектах гражданского и промышленного строительства Монголо-Сибирского региона. Модернизация программного обеспечения и улучшение качественных характеристик электроразведочной аппаратуры позволили увеличить возможности интерпретации полученных данных в процессе полевых исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-05-00200 А и № 14-05-31359 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

- Джурик В.И., Серебренников С.П., Батсайхан Ц. и др. Отражение приповерхностных зон крупных разломов Сибири и Монголии в геофизических полях // Тридцать седьмое тектоническое совещание: Сб. науч. тр. М., 2005. Т. 2. С. 202–205.
- Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.
- Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ДИВЕРГЕНТНОСТЬ СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА (ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ И ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ)

**В.С. Имаев¹, В.И. Мельникова¹, А.В. Чипизубов¹, Н.А. Гилева², А.И. Середкина¹,
О.П. Смекалин¹, Л.П. Имаева¹, В.В. Мордвинова¹**

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Байкальский филиал ГС СО РАН, Иркутск, Россия

Проблема преобладающего механизма выделения сейсмической энергии и генезиса местных землетрясений, происходящих на территории Северного Байкала и обрамляющих впадину горных хребтов (Байкальского, Аkitканского с северо-западного борта и Баргузинского и Верхнеангарского с северо-восточного), возможно, является одной из ключевых в определении геодинамики современных сейсмотектонических процессов внутриконтинентальных рифтовых зон.

Современная сейсмическая активность Северо-Байкальской структуры обнаруживает несоответствие с внешними морфологическими чертами позднекайнозойской тектоники впадины. В настоящее время внешне более активный и более гипсометрически поднятый западный борт впадины и его горное обрамление имеют довольно слабую сейсмичность, в то время как практически вся местные землетрясения сосредоточены на восточном борту.

Палеосейсмологические исследования, помимо выявления остаточных деформаций сильнейших досейсмостатистических землетрясений с определением их возраста и магнитуд, дают прямые, а не косвенные свидетельства о кинематических типах активизированных разломов. Такими исследованиями со вскрытием палеосейсмогенных структур горными выработками в зонах Окино-Жомболокского, Тункинского, Обручевского, Северобайкальского, Баргузинского и Кичерского разломов, традиционно ранее считавшихся сбросами или сбросами с незначительной сдвиговой компонентой смещений, стали устанавливаться сейсмотектонические деформации иного – взбросового, надвигового и взбросо-сдвигового – типа.

Развитие разломов взбросо-сдвигового типа для западного борта Северного Байкала и типично сбросовых механизмов очагов местных землетрясений для восточного борта, проявляющихся в механизмах очагов местных землетрясений, свидетельствует о нестандартном (нетипичном) формировании системы внутриконтинентальных Байкальских рифтовых впадин, требующем привлечения иных, кроме стандартных, механизмов развития сейсмогенных структур, и сейсмичности, фиксируемой в северной части Байкала и его окружения. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, может оказаться возврат к идеям, высказанным В.С. Вороновым и В.Е. Хаиным, об активной роли южного выступа Сибирской платформы – индентора, по которому более жесткие и холодные массы оказывают горизонтальное давление и влияние на смежные более пластичные смежные области коры и мантии юго-восточного окружения. Повышенная плавучесть последних создает условия для торошения и коробления более жесткой литосферы Сибирского кратона, что во многом определяет современную геодинамику и сейсмичность формирования Байкальской впадины.

Не отрицая огромный отрезок времени, при котором система Байкальского рифта была организована и образована в результате пассивной стадии рифтогенеза, активизировавшей формирование плюмоподобных структур, обеспечивших в большей части позднекайнозойского периода устойчивое растяжение коры и формирование самой системы впадин, все же следует признать факт эволюции впадин (по крайней мере в период голоцена), когда активизация индентора – южного выступа Сибирской платформы – обеспечила преобладающее горизонтальное сжатие западного борта впадины.

Данное исследование проводилось при частичной поддержке грантов РФФИ (№ 12-05-00627) и интеграционного проекта СО РАН № 113.

Г.Г. Кочарян

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

В настоящей работе собран и проанализирован обширный ряд экспериментальных данных во всем диапазоне масштабов, который относится к сейсмотектонике и геомеханике – от микрособытий с линейным размером очага порядка нескольких сантиметров до мегаземлетрясений. Рассмотрены закономерности изменения с масштабом геометрических характеристик разломов и трещин и их механических свойств, линейных размеров очага землетрясения, времени подготовки динамического события и сейсмической энергии.

Усреднение по всему диапазону масштабов дает соотношения, близкие к закону геометрического подобия. Более детальное рассмотрение позволяет обнаружить, что существует несколько иерархических уровней, в которых изменение параметров событий с масштабом происходит по разным законам, зачастую сильно отклоняющимся от законов подобия.

Мы показали, что линейные размеры $L \sim 500\text{--}1000$ м являются некоторой переходной областью – границей между двумя диапазонами, в которых масштабные соотношения существенно разные. Следует отличать и шахтную сейсмичность с небольшими глубинами очагов.

Показано, что для землетрясений Байкальской рифтовой системы отмечается аномальная тенденция сильного возрастания приведенной энергии, рассчитанной по величине класса события, с увеличением масштаба. В интервале моментных магнитуд от 5.0 до 6.3 усредненное приведенное значение сейсмической энергии превышает среднемировую величину для этого диапазона, по крайней мере, в 25 раз. Необходимо разобраться, является ли этот эффект артефактом, связанным с некорректным расчетом величины сейсмической энергии, или имеет место необъясненный пока физический эффект.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ПЬЕНИНСКИЙ УТЕСОВЫЙ ПОЯС: ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ*

М.Г. Леонов

Геологический институт РАН, Москва, Россия

В пределах многих подвижных поясов известны узкие (первые километры) и протяженные (до нескольких сотен и тысяч километров) зоны с очень сложной внутренней тектонической структурой и интенсивной вещественной переработкой горных масс. Они играют существенную роль в структуре земной коры, определяя ее внутреннюю делимость и являясь зонами раздела (аккомодации, буфера) между разными по природе и особенностям эволюции фрагментами земной коры. В докладе приводятся описание и характеристика особенностей палеоэволюции Пьенинского утесового пояса – одного из крупнейших линейных структурно-тектонических элементов Карпатского горного сооружения, входящего в состав Альпийской складчато-покровной области.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА БАЙКАЛО-ЕНИСЕЙСКОГО РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ*

Р.М. Лобацкая

Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

В докладе рассматриваются специфические черты разломно-блокового строения Байкало-Енисейского разлома, расположенного в области сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты, с целью анализа безопасной эксплуатации объектов ядерной энергетики Красноярского края. На основе современного положения террас р. Енисей, поверхностей выравнивания разного возраста и глубины эрозионного вреза оценены скорости неотектонических движений в зоне Байкало-Енисейского разлома и на сопредельных территориях. Показано, что максимальные градиенты скоростей современных движений не превышают порядка 10^{-8} – 10^{-9} . Скорости относительных перемещений внутриразломных блоков, ограниченных региональными разломами, составляют в среднем 0.1–0.2 мм/год, а локальными – 0.02–0.03 мм/год, что дает основание оценивать современную геодинамическую активность в зоне Байкало-Енисейского разлома как слабую, не влияющую на безопасную эксплуатацию объектов ФГУП «ГХК».

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ С УЧЕТОМ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ЮГУ СИБИРИ И МОНГОЛИИ)

О.В. Лунина, А.В. Андреев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Статистически исследованы особенности проявления и локализации опасных геологических процессов, которые имели место при землетрясениях на юге Сибири и сопредельных территориях Монголии и Северного Казахстана в 1950–2008 гг. Основой для анализа послужила база данных косейсмических эффектов, разработанная на основе ГИС MapInfo [Гладков и др., 2013]. В рамках созданного приложения для 367 пунктов собраны материалы о 619 макросейсмических проявлениях при инструментальных событиях с магнитудой $M_S = 4.1–8.1$, часть из которых опубликована авторами [Андреев, Лунина, 2012]. В результате нового анализа установлены региональные соотношения, связывающие M_S событий и предельные расстояния от эпицентра и сейсмогенерирующего разлома, на которых проявляются такие опасные процессы, как разжижение грунтов, воронкообразные проседания, вторичное разрывообразование и склоновые движения. Показано, что предельные расстояния от сейсмогенерирующего разлома при максимально зарегистрированной в регионе магнитуде 8.1 равны 40 км для воронок-провалов, 80 км для разрывов, 100 км для гравитационных явлений и 130 км для разжижения, что в 3.5–5.6 раза меньше, чем от эпицентра землетрясения, от которого при сопоставимой магнитуде эффекты могут распространяться на 150, 450, 350 и 450 км, соответственно.

Для юга Восточной Сибири проведен анализ распределения опасных геологических явлений при землетрясениях относительно ближайшего дизъюнктива. Для этого использовалась карта плиоцен-четвертичных разломов, составленная на основе 1:200000 масштаба [Лунина и др., 2010]. Оказалось, что воронки-провалы располагаются не далее 2 км от ближайшего разлома (60 % – не далее 1.5 км), сейсмогравитационные явления – не далее 4.5 км (90 % – не далее 1.5 км), случаи разжижения – не далее 8 км (69 % – не далее 1 км), разрывы от сейсмических сотрясений – не далее 35.5 км (86 % – не далее 2 км). Как при удалении от сейсмогенного источника, так и от ближайшего разрывного нарушения частота встречаемости опасных геологических процессов убывает по экспоненциальному закону.

Полученные закономерности позволили разработать модели локализации опасных геологических процессов при землетрясениях с $M_S=7.2$ и 8.1 с учетом произвольного разломно-блокового строения земной коры. Такие модели могут быть созданы для любой M_S в пределах 4.1–8.1, что представляет собой фундаментальную основу для математического моделирования распространения опасных геологических процессов с целью их прогнозирования при сейсмических воздействиях. При этом в реальности наряду с разломами при подобных оценках должны учитываться геолого-геоморфологические факторы, главные из которых – тип пород, их способность к сейсмической разжижаемости, рельеф местности. Введение в модели наряду с другими факторами разрывных нарушений повышает точность и достоверность прогнозирования опасных геологических процессов при землетрясениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 14-17-00007).

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев А.В., Лунина О.В. Параметры землетрясений и пространственное распределение косейсмических эффектов на юге Сибири и в Монголии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т. 39, № 2. С. 25–62.
- Гладков А.А., Лунина О.В., Андреев А.В. Некоторые аспекты разработки информационной системы для интегрирования данных по активной тектонике // Геоинформатика. 2013. № 4. С. 6–14.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянkin П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // ДАН. 2010. Т. 433, № 5. С. 662–667.

Объекты исследований – Амуро-Зейский, Буреинский и Среднеамурский осадочные бассейны. Дизъюнктивная тектоника в пределах рассматриваемого региона проявлена весьма разнообразно: от тектонической трещиноватости до разломов протяженностью многие сотни километров. В работе заострено внимание на крупных нарушениях. Эти разломы хорошо выделяются на поверхности в местах выхода консолидированного фундамента, однако в связи со слабой обнаженностью территории положение многих нарушений под чехлом остается дискуссионным. В такой ситуации приходит на помощь геофизический материал. Комплексный анализ геологической и геофизической информации позволяет не только проследить расположение дизъюнктива по латерали, но и частично выявить распространение его на глубину. В настоящей работе основные разломы взяты по Л.П. Карсакову и Чжао Чунцин [Карсаков и др., 2005], названия для впервые выделенных – авторские. Основным инструментом обработки геофизической информации являлась компьютерная технология «Coscad 3D». Вся базовая и результативная картографическая информация собрана на платформе MapInfo.

В общей картине региона преобладают две основных системы нарушений: северо-западная и северо-восточная. Большая часть разломов северо-восточной направленности относится к системе Тан-Лу, ориентированы согласно основным тектоническим зонам региона и зачастую являются границами того или иного орогенеза. Это говорит о том, что возраст их заложения сопоставим с возрастом орогенов. По-другому обстоит дело с крупными северо-западными элементами Хабаровского, Гилуйского и Трансзейского разломов, направление которых дискордантно основным тектоническим структурам. По-видимому северо-западная система разломов имеет более молодой возраст либо повторно активизировалась в более позднее время. В пользу молодости северо-западной системы нарушений в литосфере Приамурья говорят и сейсмотомографические исследования.

Несколько особняком стоят субмеридиональные и субширотные системы разломов. Крупные субмеридиональные нарушения в зонах Западно-Туранского, Восточно-Туранского, Даргинского (Кур-Алгинского) и Дабандинского разломов уверенно фиксируются градиентами гравитационного поля, продолжают гравитационную ступень Ю.Ф. Малышева [Варнавский, Малышев, 1986]. До настоящего времени недооценивается роль субширотных дизъюнктивов, которые слабо диагностируются в чехле, но четко выделяются в гравитационном и магнитном полях. В частности, Бирский разлом прослеживается от Хингана до Сихотэ-Алиня и имеет важное значение в тектонике региона. Вдоль него происходит резкое изменение морфологии гравитационного поля. Ориентировка локальных аномалий Δg , как и ориентировка грабенов Среднеамурской депрессии, вдоль дизъюнктива меняется от северо-восточной до субширотной.

ЛИТЕРАТУРА

- Варнавский В.Г., Малышев Ю.Ф. Восточно-Азиатский грабеновый пояс // Тихоокеанская геология. 1986. № 3. С. 3–13.
- Карсаков Л.П., Чжао Чунцин и др. Тектоника, глубинное строение, металлогения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // Объяснительная записка к тектонической карте, масштаб 1:1500000. 2005. 264 с.

ПРИРОДА ПОПЕРЕЧНЫХ ЗОН СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУАПСИНСКОЙ ФЛЕКСУРНО-РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ

А.В. Маринин, Т.Ю. Тверитинова

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

В позднеальпийской структуре Северо-Западного Кавказа хорошо проявлены флексурно-разрывные зоны, поперечные к ориентировке складчатого сооружения. Их положение совпадает с участками существенной перестройки горного сооружения: резкое изменение ширины сооружения, изменение ориентировки его продольных структур, перескок осевой зоны с одной продольной структуры на другую. К таким зонам относятся, например, Анапская, Геленджикская, Туапсинская и др. Поперечные зоны выражены концентрацией поперечных складчатому сооружению флексур со ступенчатым погружением зеркала складчатости в направлении периклинали, а также разрывов преимущественно сдвигового типа. При этом общая ориентировка поперечных зон неоднозначна. Это сложнопостроенные широкие зоны, в которых закономерно расположены относительно более мелкие флексуры и разломы, что уже сразу указывает на присутствие сдвиговой составляющей перемещения вдоль зоны. Одной из наиболее интересных и неоднозначно трактуемых структур является Туапсинская сдвиговая зона, изучением которой занимались такие известные геологи, как О.С. Вялов, С.Л. Афанасьев, В.Е. Хаин, В.А. Гроссгейм, Ч.Б. Борукаев и др. Правосдвиговый характер Туапсинской зоны поперечных нарушений по характеру смещений бортов сдвиговой зоны и структурно-парагенетическим ассоциациям был установлен Ч.Б. Борукаевым и А.И. Дьяконовым. Северо-восточное «антикавказское» простираение Туапсинской зоны поперечных разломов образует серия кулисообразно расположенных меридиональных сдвиговых зон (Агойской, Ципкинской и Индюкской). Предполагаемое общее смещение вдоль Туапсинской зоны структурно-фациальных зон более чем на 15 км признается не всеми. Причина неоднозначности интерпретации поперечных зон состоит в их рассредоточенности в широкой полосе в виде кулисно построенных разрывов или флексур, неоднозначности выделения главной разломной структуры, наличии нескольких структурных направлений, по которым происходит резкая перестройка продольных складчатых структур.

В работе сделана попытка решить ряд вопросов о природе поперечной Туапсинской зоны с помощью структурных и тектонофизических методов. В основу исследований положены материалы, собранные авторами в составе тектодинамической группы МГУ (научный руководитель Л.М. Расцветаев) на Северо-Западном Кавказе. При полевом тектонофизическом изучении района Туапсинской зоны повсеместно выявляются сдвиговые структурные парагенезы. Правые сдвиги имеют преимущественно меридиональное и СЗ простираение, левые сдвиги – широтное и СВ. Обычно сдвиги составляют сопряженную пару сколов с углом скалывания, близким к 40–45°. Широтные левые сдвиги часто сопровождаются взбросовой составляющей. По данным реконструкции восстанавливаются две преобладающие ориентировки главных осей напряжения: 1) СВ-ЮЗ субгоризонтальные ориентировки осей (σ_3) максимальных сжимающих напряжений (сжатия) и СЗ-ЮВ субгоризонтальные ориентировки осей (σ_1) минимальных сжимающих напряжений (растяжения); 2) субмеридиональные субгоризонтальные ориентировки осей сжатия (σ_3) и субширотные субгоризонтальные осей растяжения (σ_1). Ориентация выявленных главных осей напряжения говорит о преобладании обстановок горизонтального сдвига (сдвиговый геологический тип поля напряжения). Кроме того, разноориентированные сдвиговые нарушения отражают наличие здесь тектодинамических поясов сдвигового вращения и течения. Помимо сдвиговых или взбросо-сдвиговых нарушений фиксируются и другие кинематические типы трещин (взбросы, сбросы, отрывы), также не противоречащие двум главным выявленным тектодинамическим обстановкам. За пределами Туапсинской поперечной зоны также устанавливаются тектодинамические условия СВ и субмеридионального сжатия, но при этом для геологической структуры характерны значительно более простые структурные рисунки.

СТРУКТУРА ГЛАВНОГО ПАМИРСКОГО НАДВИГА ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В.Е. Матюков, А.К. Рыбин, Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев

Научная станция РАН, Бишкек, Россия

В работе отражены результаты построения профильных геоэлектрических моделей, основанных на интерпретации данных магнитотеллурических и магнитовариационных исследований, выполненных по профилям «TIPAGE-ALAI», «Дараут-Курган» и «Нура» (зона сочленения Памира и Тянь-Шаня). В полученных геоэлектрических образах достаточно четко проявлена глубинная структура разломных зон исследуемого региона. Так, под Заалайским хребтом выделяется область пониженного сопротивления, соответствующая зоне Главного Памирского надвига. Очень низкие значения сопротивления этой зоны можно объяснить присутствием и высокой концентрацией графитовых пленок, что вполне согласуется с исследованиями Южно-Тянь-Шаньской аномалии электропроводности [Бабаджанов и др., 1986]. Обращает на себя внимание то, что гипоцентры землетрясений ($K > 11$) распределены внутри всего объема проводящей области, соответствующей зоне Главного Памирского надвига, вплоть до глубин 40 км. Это обстоятельство является дополнительным аргументом в пользу графитовой природы электропроводности. Что касается пространственной корреляции положения гипоцентров сейсмических событий с другими особенностями геоэлектрической структуры зоны сочленения Памира и Алая, то очаги землетрясений локализуются в градиентных зонах вблизи контактов между блоками или телами с контрастными геоэлектрическими параметрами. Для оценки достоверности построения геоэлектрических моделей было проведено сопоставление геоэлектрических моделей с сейсмотомографическими построениями [Сабитова и др., 2006; Koulakov, 2011]. Дополнительным свидетельством присутствия графита явился тот факт, что зона Главного Памирского надвига, ярко проявляющаяся в геоэлектрической модели, не выделяется в скоростной структуре сейсмотомографических моделей. Распределение скоростей продольных сейсмических волн в модели Т.М. Сабитовой и А.А. Адамовой [Сабитова и др., 2006] свидетельствуют о наличии под Алайской впадиной верхнекорового волновода, соответствующего верхней части проводящей структуры в геоэлектрическом разрезе. Конфигурация аномальных объектов геоэлектрической модели находит свое отражение в распределении скоростных неоднородностей. Геоэлектрические структуры в средней-нижней коре профильного разреза хорошо согласуются с распределением скоростей в сейсмотомографической модели И.Ю. Кулакова [Koulakov, 2011], где высокоомные объекты южной и северной части геоэлектрического разреза соответствуют высокоскоростным участкам, а центральная часть геоэлектрической модели подтверждается низкоскоростной аномалией в сейсмотомографической модели.

Построенная геоэлектрическая модель литосферы Памиро-Алая дает основу для понимания глубинного строения и физического состояния такого сложнопостроенного геологического объекта, каким является зона сочленения Памира и Тянь-Шаня. Геоэлектрические образы существенным образом способствуют качественному отражению внутренней структуры Земли в дополнение к возможностям сейсмической томографии и сейсмических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаджанов Т.Л., Басов М.Д., Гатина Р.М., Аширматов А.С., Белявский В.В., Каржауов А.Т., Таль-Вирский Б.Б., Дубровский В.Г., Бердичевский М.Н., Яковлев А.Г., Файнберг Э.Б. Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. 1986. № 7. С. 79–90.
- Сабитова Т.М., Адамова А.А., Усольцева О.А. и др. Интерпретация трехмерных скоростных моделей // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. С. 47–51.
- Koulakov I.Y. High-frequency P and S velocity anomalies in the upper mantle beneath Asia from inversion of world-wide travel time data // Journal of Geophysical Research. 2011. V. 116, № B4. B04301. doi:10.1029/2010JB007938.

СТРУКТУРА ПРИМОРСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРАСТАНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

В.Д. Мац¹, Р.М. Лобацкая²

¹ 20101, Кармиель, ул. Шаар Хагай, д. 13, кв. 10, Израиль

² Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

Приморская разломная зона (ПЗ), расположенная в ограничении западного борта Северобайкальской впадины Байкальского рифта (БР), представлена активизированными региональными разломами краевого шва Сибирской платформы, детально изучена и описана в многочисленных публикациях [Шерман и др., 1992; и мн. др.]. Изучение морфоструктуры ПЗ и геолого-структурных особенностей показало сложность ее пространственно-временной эволюции [Мац и др., 2008; Mats et al., 2007].

Главные морфоструктурные особенности ПЗ обусловлены шарнирным и листрическим характером кайнозойских разломов, развивавшихся в условиях напряжений растяжения [Шерман и др., 1992], а возраст морфоструктур ПЗ меняется от миоцена на СВ до позднего неоплейстоцена-голоцена на ЮЗ [Мац и др., 2008; Mats et al., 2007; Мац и др., 2001; Mats, 1993]. По простирацию ПЗ выделяются сегменты, разделенные поперечными разломами и отличающиеся по возрасту и строению. Наиболее древние – миоценовые [Мац и др., 2001] – сегменты расположены на СВ окончании ПЗ, последовательно сменяются все более молодыми, вплоть до позднеплейстоцен-голоценовых на юго-западном окончании ПЗ. По мере продвижения от более молодых сегментов к более древним последовательно увеличивается амплитуда ПЗ по типу «ножниц»: высота лежащего крыла растет от 1000 м над уровнем моря на ЮЗ до 2500 м на СВ и глубина погружения висячего крыла от +500 м до –900 м, общая амплитуда меняется от первых сотен метров на ЮЗ до первых километров на СВ; ширина зоны возрастает от 3–4 км до 25–26 и даже до 45 км (на траверзе м. Солонцовых).

Вкрест простираения разломной зоны группируются различные комбинации элементарного латерального ряда морфоструктур, включающего тектогенные уступы и приразломные впадины. Усложнение морфоструктур прослеживается с ЮЗ на СВ. Сухопутные элементы ПЗ по простирацию переходят в субаквальные. Наиболее молодая, юго-западная, часть ПЗ образована просто построенной субаэральной морфоструктурой – тектогенный уступ и приразломный грабен, общей шириной чуть более 2 км; в ее северо-восточной части латеральный ряд, общей шириной до 40–45 км, включает 6–7 таких пар.

Названные преобразования обусловлены шарнирным и листрическим типами разломов зоны. Их совокупное воздействие в процессе пространственно-временной эволюции ПЗ определяет общее расширение зоны, усложнение ее строения и переход прибортовых субаэральных морфоструктур в субаквальные внутривпадинные, то есть в собственно рифтовые впадины. Особенно наглядно видно развитие зоны на примере Бугульдейско-Чернорудского грабена [Мац и др., 2008; Mats et al., 2007]. Таким образом, начавшись на северо-востоке, тектоническая активизация за 20 миллионов лет продвинулась по простирацию к юго-западу на 250 км со скоростью около 125 мм/год.

ЛИТЕРАТУРА

- Мац В.Д. и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение, геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 252 с.
- Мац В.Д. и др. Механизм разрастания Байкальской впадины в ходе эволюции прибортовых морфоструктур // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. С. 141–154.
- Шерман С.И. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск: Наука, 1992. 228 с.
- Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression // Earth-Science Reviews. 1993. V. 34, № 2. P. 81–118.
- Mats V.D. et al. Evolution of faults in a continental rift: Morphotectonic evidence from the North Baikal basin // Earth Science Frontiers. 2007. V. 14, № 1. P. 207–219.

РАЗЛОМЫ ЛИТОСФЕРЫ ДО И ПОСЛЕ СИЛЬНЕЙШЕГО ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Ю.Ф. Мороз^{1,2}, Т.А. Мороз¹

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

² Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

На западной границе малой плиты Берингии (область сочленения Корякской и Олюторской складчатых зон) произошло сильное Олюторское землетрясение (20.04.2006 г.; $M_w=7.6$). Размеры очага землетрясения по сейсмологическим данным 205×75 км [Ландер и др., 2010]. Район очага пересечен профилем МТЗ с шагом 2–5 км до (2004 г.) и после землетрясения (2008 г.). Это дает возможность по глубинной электропроводности судить о разломах в литосфере до и после землетрясения.

До землетрясения в литосфере района будущего очага выявлено два разлома С-В простирания, проникающих до глубины 40 км. Расстояние между разломами около 40 км. Разломы характеризуются пониженным удельным электрическим сопротивлением от первых единиц до первых десятков Ом·м.

После землетрясения структура электропроводности литосферы в значительной мере изменилась. Глубинная зона разлома в юго-восточной части очага на глубинах более 15 км практически исчезла. Однако в верхних частях земной коры появились дополнительные разломы. Они проникли от приповерхностных частей земной коры до глубин 10–15 км. Наиболее заметные изменения электропроводности среды произошли в районе центральной части очаговой зоны. Здесь сильно изменились границы и увеличились размеры проницаемой зоны разлома. Северо-западная граница является суб-вертикальной. Юго-восточная граница зоны в пределах земной коры имеет наклон около 30° . С глубиной ширина зоны увеличилась в юго-восточном направлении. На глубине 30 км ширина зоны выросла почти в два раза. Характерно то, что значительная часть гипоцентров землетрясений приурочена к зоне разлома в юго-восточной части очага. Здесь, по-видимому, земная кора была динамически неустойчивой. На дневной поверхности в районах глубинных разломов проявились сеймотектонические разрывы С-В простирания протяженностью 80 и 140 км [Пинегина, 2007; Рогожин и др., 2007].

Глубинные разломы характеризуются повышенной электропроводностью. Она может быть обусловлена появлением жидких флюидов при увеличении пористости пород. Возникновение жидких флюидов возможно при снятии напряжений в литосфере при образовании разломов. Грубые оценки показывают, что достаточно сотен-десятых долей процента относительного объема флюида в связанных каналах, чтобы обеспечить уменьшение удельного электрического сопротивления горной породы до первых десятков – единиц Ом·м. Можно полагать, что изменение электропроводности геоэлектрической среды отражает изменение пористости пород в связи с Олюторским землетрясением. Это изменение пористости пород вызвано геодинамическими процессами, которые затронули толщи литосферы до глубины 70–80 км.

ЛИТЕРАТУРА

- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_w = 7.6$ // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 16–30.
- Пинегина Т.К. Сейсмические деформации в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2007. С. 126–169.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. и др. Олюторское землетрясение в Корякии 20(21) апреля 2006 г.: результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной области // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2007. С. 170–206.

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОЧЕ-ЛАМБИНСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ, БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

Л.Н. Морозова, Ф.П. Митрофанов

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Полигон Воче-Ламбина расположен на границе Центрально-Кольского блока и Беломорского подвижного пояса. Он обладает целым рядом специфических черт, которые определены его расположением в долгоживущей зоне пластического сдвига (shear zone [Воче-Ламбинский архейский геодинамический полигон..., 1991]). Данная зона входит в систему разломов, обрамляющих с юга Печенга-Имандра-Варзугскую зону. Заложение Воче-Ламбинской сдвиговой зоны происходило в период 2.49–2.40 млн лет [Кислицын и др., 2000], а ее повторная активизация – 1.9 млрд лет тому назад [Кислицын, 2001] в условиях регионального северо-восточного сжатия и коллизии Центрально-Кольского и Беломорского блоков [Митрофанов и др., 1997; Балаганский и др., 2006].

На основе изучения микроструктурных ориентировок кварца, плагиоклаза и биотита из архейских гранитоидов фундамента Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса было установлено [Морозова, 2012], что в течение палеопротерозойского этапа в условиях пластических сдвиговых деформаций:

а) на ранней стадии тектогенеза движения осуществлялись в плоскости сланцеватости, обладающей высокой структурно-текстурной анизотропией, вдоль направления, ориентированного параллельно минеральной линейности L_6 , воздымающейся к западу (погружающейся к востоку) под углами 30–50°; характер этих движений был запечатлен в предпочтительных ориентировках осей [0001] кварца–I, [100] плагиоклаза–I и [100] биотита.

б) на поздней стадии тектогенеза направление движений изменилось: движения происходили по тем же плоскостям расланцевания, что и на ранней стадии, но в направлении, перпендикулярном к линейности L_6 ; эти движения зафиксированы в предпочтительной ориентировке осей [0001] кварца–II, [100] плагиоклаза–II и [100] биотита; предпочтительные ориентировки кварца–II, плагиоклаза–II и биотита отражают латеральное растекание материала в направлении, перпендикулярном к линейности растяжения.

ЛИТЕРАТУРА

- Балаганский В.В., Минц М.В., Дэйли Дж.С. Палеопротерозойский Лапландско-Кольский ороген. Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE. М.: ГЕОКАРТ–ГЕОС, 2006. С. 158–171.
- Воче-Ламбинский архейский геодинамический полигон Кольского полуострова / Под ред. Ф.П. Митрофанова и В.И. Пожиленко. Апатиты: КНЦ АН СССР. 1991. 196 с.
- Кислицын Р.В. Возраст и кинематика тектонических движений в ядре раннепротерозойского Лапландско-Кольского орогена: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 2001. 21 с.
- Кислицын Р.В., Балаганский В.В., Манттари И., Ганнибал Л.Ф., Пожиленко В.И. U-Pb возраст цирконов из габброноритов и габброанортозитов полигона Воче-Ламбина, Кольский полуостров // Вестник МГТУ. 2000. Т. 3, № 2. С. 307–314.
- Митрофанов Ф.П., Баянова Т.Б., Балабонин Н.Л., Сорохтин Н.О., Пожиленко В.И. Кольский глубинный раннедокембрийский коллизион: новые данные по геологии, геохронологии, геодинамике и металлогении // Вестник СПбГУ. 1997. Сер. 7. Вып. 3. № 21. С. 5–18.
- Морозова Л.Н. Геология, геохимия и возраст гранитоидов полигона Воче-Ламбина: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 22 с.

ИНФРАСТРУКТУРА ЛИНЕАМЕНТА АМУР-СУНГАРИ-ХУАНХЭ И ПОТЕНЦИАЛЬНО СЕЙСМООПАСНЫЕ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ ПО MORFOСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ

Е.А. Мясников

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

В последние годы в пределах линеамента Амур-Сунгари-Хуанхэ (ЛАСХ) (Нижнее Приамурье РФ и С-В Китая) проведены специальные профильные и площадные геофизические работы по изучению глубинного строения региона и его связи с сейсмичностью [Бормотов и др., 2006; и др.]. Созданы соответствующие модели, и сделан вывод о высокой сейсмичности региона. В результате упомянутых и других исследований для территории Нижнего Приамурья составлены относительно подробные карты и дано описание зон вероятных очагов землетрясений и сейсмического районирования [Николаев и др., 1989], однако требуется их уточнение.

С учетом вышеуказанных и других данных [Олейников А.В., Олейников Н.А., 2001; Кулаков и др., 2001; и др.], автором выполнены морфосеймотектонические разработки по оценке современной геодинамики и сейсмической опасности на морфоструктурной основе. Были установлены связи ряда морфоструктур с прямыми признаками сейсмической активности (эпицентры землетрясений и палеосейсмодислокации), а также с косвенными признаками (повышенные градиенты аномалий силы тяжести, электропроводности, инверсии скоростей сейсмических волн, современные проявления гидротерм, а также различные формы аномально высоких эндогенных и экзогенных геоморфологических процессов). В результате основными зонами потенциальной сейсмической опасности оказались те морфоструктуры и морфотектонические участки, в пределах которых происходили неоднократные накопления и релаксации напряжений сжатия, растяжения или сдвига в пределах долгоживущих каркасных глубинных разломов преимущественно высокопорядковых морфоструктур.

В первую очередь к ним относятся фрагменты ЛАСХ. Ширина основной части ЛАСХ в пределах региона Нижнего Приамурья заметно варьируется ~450 км (в условном створе Облучье-Бикин), ~350 км (Биракан – Комсомольск-на-Амуре – Гурское), а на Сахалине ~350 км (м. Елизаветы – Тырмовское) плюс еще ~50 км к северу (предположительно на акватории Сахалинского залива). При более детальном изучении инфраструктуры данного отрезка ЛАСХ, в отношении зон повышенной сейсмической опасности, довольно уверенно выделяется осевая и две периферийные продольные подзоны, несколько поперечных подзон, а также множество локальных морфоструктур центрального типа (МЦТ).

Необходимо подчеркнуть принципиально важную, на наш взгляд, особенность – дуговые и кольцевые разломы являются одними из наиболее сейсмоопасных зон, так как именно они зачастую фиксируют кульминационные стадии развития морфоструктур центрального и линейного типа. К такому заключению автора привели многочисленные собственные исследования и литературные данные наблюдений природных объектов и экспериментальных моделей, а именно: кольцевые разломы магматогенных МЦТ образуются в период их кардинальной тектонической перестройки (опустошение глубинных и близповерхностных очагов и обрушение надочаговых построек); дугообразные разломы ротационных морфоструктур возникают при критических напряжениях сдвиговых и вращательных движений на границах монолитно-целостных линейных и изометричных блоков; дуговые формы бухт и других аналогичных тектонических нарушений в зонах растяжений континентальных окраин и мега-МЦТ окраинных морей часто формируются при максимальной степени гравитационной и сейсмогравитационной деструкции этих структурно предопределенных тектоно-денудационных зон; кольцевые и веерообразные разломы взрывообразно возникают «на конце растущей трещины» как релаксация напряжений растяжения и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

- Бормотов В.А., Гордеев Е.И., Малышев Ю.Ф., Родионов С.М., Шарафутдинов В.М. Глубинное строение и сейсмичность востока России // Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. Кн. 1 / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 47–92.
- Кулаков А.П., Мясников Е.А., Тащи С.М., Цю Шаньвень, Ван Сыкуй, Лю Юньлян, Сун Чанчунь. Трансрегиональный линеament Амур–Сунгари–Хуанхэ: морфоструктура, эволюция, геодинамика // Тихоокеанская геология. 2001. № 4. С. 47–60.

Николаев В.В., Семенов Р.М., Оскорбин Л.С. и др. Сейсмоструктура и сейсмическое районирование Приамурья. Новосибирск: Наука, 1989. 128 с.

Олейников А.В., Олейников Н.А. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмогеология Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2001. 185 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗОН АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

С.Б. Николаева¹, Д.С. Толстобров¹, Д.А. Максимов²

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

² Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

В 2013 г. на северо-востоке Фенноскандинавского щита (Кольский регион) проводились исследования, направленные на выявление следов новейшей тектонической активности в зонах разломов. Комплексные исследования, включавшие геолого-геоморфологические и геофизические работы, имели палеосейсмогеологическую направленность и сопровождалась проходкой шурфов и канав, георадарным профилированием и предпринятым впервые в регионе при исследовании новейшей тектоники изучением кернов донных осадков озер (ДО), расположенных в зонах предполагаемых активных разломов.

В результате буровых работ в пределах ключевого участка, примыкающего к юго-западному побережью крупнейшего в Европейской Субарктике озера Имандра, в осадках четырех озер выявлены различные литологические и стратиграфические нарушения и несогласия. Один из наиболее интересных результатов исследований получен при изучении кернов ДО безымянного озера, расположенного в зоне новейших сдвиговых линеаментов. Осадочные разрезы, отобранные по профилю, состоящему из четырех скважин, показали присутствие в них аномального горизонта, резко отличающегося от подстилающих и перекрывающих его отложений. Этот горизонт состоит из «обломков» гиттии и алевроита разной формы, цвета и размеров, органического материала, торфа, песка и обломков древесины, заключенных в монотонную сапропелевую матрицу. Обнаруженные горизонты интерпретируются как отражение сильного природного катастрофического события голоцена, запечатленного в осадочном разрезе. Исключение возможности образования аномальных осадков в результате гравитационного оползания, расположение озерных котловин в пределах участков развития палеосейсмодетформаций в скальных породах, аналогичные нарушения в озерных осадках, возникавших в результате известных исторических и современных землетрясений в других областях [Nomade et al., 2005; Chapron et al., 1999], свидетельствуют в пользу сейсмического триггера. Датирование осадков радиоуглеродным методом позволяет установить время возникновения события и активизации новейших разломов, тем самым способствуя выяснению основных этапов проявления геодинамической активности внутриплатформенных территорий на новейшем этапе их развития.

Исследования поддержаны грантом РФФИ №14-05-98806 p_север_a.

ЛИТЕРАТУРА

- Chapron E., Beck C., Pourchet M., Deconninck J.-F. 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps) // *Terra Nova*. 1999. V. 11, № 2–3. P. 86–92.
- Nomade J., Chapron E., Reyss J.-L., Desmet M., Arnaud F., Lignier V. Reconstructing historical seismicity from lake sediments (Lake Laffrey, Western Alps, France) // *Terra Nova*. 2005. V. 17. P. 350–357.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА В ПОСЛЕДНИЕ 12 ТЫС. ЛЕТ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РЕШЕНИЯ ПО ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ РАЗВИТИЯ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ

А.А. Никонов¹, С.В. Шварев¹, М.В. Родкин³, Ю.И. Сыстра²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

² Таллиннский технический университет, Горный институт, Таллинн, Эстония

³ Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Исследования последних десятилетий на территории Фенноскандии существенно меняют представления об истории сейсмичности региона. В результате многолетних работ на территории российской части Фенноскандинавского кристаллического щита детально изучено несколько ключевых участков с выраженными палеосейсмодеформациями в скальном субстрате и в рыхлых отложениях. Их более или менее равномерное распространение на протяжении 1000 км по меридиану с интервалами около 100 км позволяет вывести несколько заключений общего характера.

1. Вся восточная периферия Фенноскандинавского щита от Финского залива до Баренцева моря в позднеледниковье и в голоцене подвергалась очень сильным, высокомагнитудным ($I \geq VIII-IX$, $M=7.0 \pm 0.5$) землетрясениям. Местами сильные землетрясения возникали и в последние тысячелетия, а возможно и столетия. Отсюда возникает важный вопрос соотношения роли долгосрочной тектонической компоненты и затухающего процесса релаксации земной коры на снятие нагрузки последнего ледникового покрова. При этом указания на относительно недавние довольно сильные события, по видимому, не позволяют отрицать значительную роль также и тектонической компоненты.

2. В каждом из ключевых участков обнаружено и параметризовано не менее 2-х, до 3–4 сильных событий. Землетрясения выявлены по крупным нарушениям рельефа, примерам ликвифакции в обводненных осадках, некоторые события сопровождались возмущениями водной среды и другими неблагоприятными последствиями.

3. Указанные закономерности аналогичны тем, которые ранее были установлены в зарубежной части Фенноскандии, что позволяет судить о всеобщности и реальности их в пределах всего изучаемого региона. Основной результат исследований заключается в совершенно ином, чем прежде (см. Карта ОСР-97 А, В, С, D), представлении о сейсмическом потенциале и долговременной сейсмической опасности региона.

4. Нахождение в регионе нескольких региональных столиц и особо ответственных объектов (АЭС, могильники ОЯТ, крупные базы флота, оборонные заводы, пусковые установки ракет, стратегические транспортные системы и др.), строительство и функционирование которых планировались и осуществлялись в рамках прежних оценок и норм, придает новым решениям прямую практическую направленность.

Обсуждаются как результаты выявления палеосейсмодислокаций, так и новые подходы к оценке силы максимальных палеосейсмических воздействий по нарушениям в скальных породах.

СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011–2012 ГГ.

**А.Н. Овсяченко, Е.А. Рогожин, А.В. Мараханов, Ю.В. Бутанаев,
А.С. Ларьков, С.С. Новиков**

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

В докладе приводятся результаты сейсмогеологических исследований в эпицентральной зоне землетрясений 2011–2012 гг. По данным ГС РАН, первое сильное событие, произошедшее 27 декабря 2011 г., имело $M_s=6.7$. После непродолжительного афтершокового процесса, 26 февраля 2012 г., неожиданно для всех произошло второе землетрясение с $M_s=6.8$. Ранее на территории Тувы было зарегистрировано лишь одно землетрясение похожей силы – Бусийнгольское 27 декабря 1991 г. с $M=6.5$, хотя более слабые события происходят здесь регулярно.

Было выяснено, что землетрясения произошли в зоне Каа-Хемского глубинного разлома, относимого к крупнейшим концентраторам современных тектонических напряжений Алтае-Саянского сейсмоактивного региона. При обоих событиях очаг вышел на поверхность в виде сейсморазрыва. Длина сейсморазрыва, вскрывшегося при землетрясении 27 декабря 2011 г., составила примерно 1.6 км. Разрыв имеет север-северо-западное простирание и правосдвиговую кинематику смещений величиной 50–60 см. Длина сейсморазрыва, вскрывшегося при землетрясении 26 февраля 2012 г., составила немногим менее 4 км. Разрыв образует очень сложный структурный ансамбль, в целом имеет взбросо-сдвиговую кинематику и вытянут в северо-западном направлении. Максимальная величина горизонтального сокращения по разрыву достигла 1 м, величина сдвига – до 50 см, смещение в вертикальной плоскости – до 80 см. Отличительная особенность изученных сейсморазрывов – несоответствие длины и магнитуды породивших их землетрясений. Это можно объяснить сложной структурой очага.

Кроме того, вдоль зоны Каа-Хемского разлома выявлены сегменты, демонстрирующие следы древних (возрастом в сотни-тысячи лет) сеймотектонических смещений, неоднократно повторявшихся по одним и тем же индивидуальным разрывам. Разрывы имеют преимущественно правосдвиговую или взбросовую кинематику. Величины одноактных смещений достигают 2.5 м, а длины сегментов превышают 10 км, иногда достигая 40 км. Это свидетельствует о том, что здесь происходили и произойдут в будущем более мощные землетрясения с магнитудой, превышающей $M=7.0$.

ОБ ИЗУЧЕНИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРКАЛАХ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ЗОН РАЗЛОМОВ

В.В. Ружич, Л.А. Иванова, В.Я. Медведев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В последние десятилетия значительно возрастает внимание ученых разных стран к изучению зеркал скольжения, возникающих в зонах тектонических разломов при трении вследствие контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, приводящем в условиях высоких давлений, температур к глубокой физико-механической и физико-химической переработке горных пород с возникновением новых фазовых минеральных образований. Проявленный интерес многих специалистов обусловлен необходимостью получения новой ценной информации о параметрах и режимах фрикционного трения в природных геоструктурных объектах, особенно важных в алмазоносных трубках взрыва и в глубинных участках зон сейсмоактивных разломов. В докладе обсуждаются результаты исследований авторов, а также других специалистов, полученные в ходе детального изучения образцов зеркал скольжения. Из них представлены данные исследования образцов, отобранных при геологоструктурном изучении зон активных разломов в различных регионах, включая Якутию, Монголию и Восточную Сибирь. Акцент в сообщении авторов касается детально изученных разными методами образцов карбонатных пород, отобранных во вскрытом горными выработками разломе в карьере алмазоносной трубки «Удачная». Также исследованы зеркала из зоны сейсмогенерирующего Долиноозерского разлома (Монголия), где в скальных грунтах обследовались разновозрастные сейсмодислокации сильных землетрясений.

По морфологии поверхности зеркал скольжения и оперяющим трещинам установлена возможность определения направления скольжения берегов трещин скалывания [Ружич, 1989]. На поверхности зеркал из зоны Долиноозерского разлома обнаружена тонкая пленка остеклованной породы, что свидетельствует о быстром скольжении при палеоземлетрясениях, когда из-за трения в породе достигались температуры плавления [Ружич, 2009]. По нашим данным, в образце зеркала скольжения в существенно карбонатной породе из разлома в алмазоносной трубке «Удачная» установлено, что кварц, выделившийся позднее кальцита, интенсивно деформирован, обладает облачным погасанием, изоморфен и дезинтегрирован. Анализ формы полос ИК-спектров показал, что размеры деформированных микрокристаллов кварца на поверхности зеркала, размер которых составляет 19 нм, сжаты на 5.9 %, что соответствует напряжению ~ 220 МПа, что дает представление о динамических нагрузках при скольжении (анализы сделаны во ФТИ). Подобные сведения характеризуют фрикционный механизм возникновения глинки трения в разломах при температурах порядка 100–200 °С. Подробнее трибохимическое преобразование горной породы в зеркалах детально рассмотрено, например, в работе [Соболев, 2012].

Авторы благодарят за проведение сложных и трудоемких анализов образцов З.Ф. Ущиповскую, Г.В. Орлову (ИЗК СО РАН, г. Иркутск), а также за любезно предоставленные результаты анализов зеркала – Г.А. Соболева, Ю.А. Морозова, А.И. Смутьскую (ИФЗ, г. Москва), И.В. Веттегрена, В.Б. Кулика, Р.И. Мамалимова (ФТИ, г. Санкт-Петербург).

ЛИТЕРАТУРА

- Ружич В.В. Физико-механические условия формирования зеркал скольжения в зонах разломов // Геология и геофизика. 1989. № 11. С. 39–45.
- Ружич В.В. Очаг землетрясения как объект геологического изучения // Физика Земли. 2009. № 11. С. 1–9.
- Соболев Г.А. и др. Исследование нанокристаллов в зоне динамической подвижки // Физика Земли. 2012. № 9–10. С. 17–25.

ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИЕ СДВИГИ ЮГА СИБИРИ И МОНГОЛИИ: ПАРАГЕНЕЗЫ СТРУКТУР И ПОЛЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

В.А. Саньков^{1,2}, А.В. Парфеевец¹

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Данная работа посвящена результатам сопоставительного исследования парагенезов разрывных структур и позднекайнозойских полей тектонических напряжений в зонах крупных левосторонних сдвигов Южной Сибири и Монголии – Долиноозерского, Северо-Хангайского, Байкало-Мондинского (Тункинского), Главного Саянского. Все эти разломы способны генерировать катастрофические землетрясения, что и происходило неоднократно на протяжении голоценового и современного этапов. Различия в скоростях современных и голоценовых горизонтальных смещений блоков по разломам незначительны.

Зона Долиноозерского разлома характеризуется парагенезом сдвигов, взбросо-сдвигов и надвигов. На отдельных сегментах зоны отмечаются масштабные складчатые деформации чехла позднекайнозойских впадин, указывающие на интенсивное сжатие поперек структур, отмечаются также более мелкие присдвиговые складки. Поле тектонических палеонапряжений характеризуется преобладанием режима сжатия и транспрессии. В зоне Северо-Хангайского разлома ярко выражена смена парагенезов структур по ее простиранию. На западном сегменте преобладают взбросо-сдвиги и параллельные главной структуре надвиги, на центральном сегменте главную роль играют сдвиги, на восточном окончании проявлены сдвиги и сбросы в северной части и сдвиги и надвиги – в южной [Parfeevets, Sankov, 2012]. Байкало-Мондинский разлом характеризуется той же тенденцией изменения с запада на восток условий транспрессии (Иххорогольский сегмент), сдвига (Мондинский сегмент) и транстенсии (Тункинский сегмент), с новым проявлением транспрессии на восточном Торско-Быстринском сегменте [Парфеевец, Саньков, 2006]. Наиболее доступный для изучения юго-восточный сегмент Главного Саянского разлома характеризуется сдвиговым и надвиговым парагенезом структур, развивающихся в поле напряжений сдвига и транспрессии.

Нами выделяются три главных фактора, контролирующие пространственные соотношения парагенезов структур и полей палеонапряжений в зонах исследуемых сдвигов:

- характер регионального поля напряжений, связанный с пространственным положением структуры относительно главных источников тектонических сил, определяющих позднекайнозойскую тектонику исследуемого сегмента Евразии – зоны коллизии Индостана и Евразии и зоны дивергентного взаимодействия Евразийской и Амурской плит;
- простирание разлома относительно генерального направления тектонических сил;
- геометрия разлома, контролирующая локальные вариации структурных парагенезов и типов напряженного состояния.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-01097) и программы ОНЗ РАН 7.7.

ЛИТЕРАТУРА

- Парфеевец А.В., Саньков В.А. Геодинамические условия развития тункинской ветви Байкальской рифтовой системы // Геотектоника. 2006. № 5. С. 61–84.
- Parfeevets A.V., Sankov V.A. Late Cenozoic tectonic stress fields of the Mongolian microplate // Comptes rendus – Geoscience. 2012. V. 344. P. 227–238. doi:10.1016/j.crte.2011.09.009.

СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ЛИНЕАМЕНТЫ ЧУКОТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Б.М. Седов

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия

Чукотский полуостров практически лишен древесно-кустарниковой растительности и покрова мощных рыхлых отложений. Эти факторы благоприятствуют использованию материалов аэро- и космических съемок для выявления линеаментов, их геологической типизации и определения степени сейсмотектонической активности.

Анализ аэро- и космоснимков Чукотского полуострова позволил установить существование нескольких систем линеаментов, характеризующихся преобладающими азимутами простирания и протяженностью. Эти признаки выявляются на азимутальных диаграммах, на которых, в соответствии с принятым масштабом, показывается протяженность каждого линеамента.

Большинство линеаментов совпадает с тектоническими нарушениями, указанными на средне-масштабных (1:200000) геологических картах. Очень часто линеаменты отражены в особенностях геоморфологии, гидросети, в частности изгибами русел, прямолинейными цепочками узких, заполненных водой впадин и другими признаками.

Главным основанием для выделения среди линеаментов активных разломов является приуроченность к ним эпицентров землетрясений. На этом основании установлено, что практически только линеаменты северо-восточного простирания связаны с сейсмогенерирующими разломами. Как правило, к наиболее протяженным разломам приурочены участки концентрации эпицентров землетрясений, образующих эллипсовидные области, которые отражают существующие зоны ВОЗ. В этих зонах, как правило, параллельно самому протяженному линеamentу располагаются менее протяженные тектонические нарушения. Некоторые зоны ВОЗ располагаются на прямых линиях, протяженностью в десятки и первые сотни километров. К этим линиям приурочены многочисленные (более 50) гидротермальные источники, а также частично сохранившиеся постройки нескольких четвертичных вулканов [Акинин, Апт, 1997].

На основании температурных замеров воды предполагается, что глубина разломов достигает 4.5–5.0 км. По сейсмологическим данным, плоскости разрыва активных разломов круто наклонены или вертикальны. В частности, это подтверждено данными глубокого бурения на наиболее высокотемпературных (96 °C) и высокодебитных (1000 м³/с) Куэкуньских термальных источниках.

В рельефе поверхности Чукотского полуострова активные разломы практически не выражены. Представляется, что это связано с характером геодинамики – растяжением, имеющим северо-западное направление. Это подтверждается в частности и тем, что активные разломы практически не выражаются в гравимагнитных полях, что обусловлено как отсутствием вертикальных смещений, так и тем, что структуры растяжения, например рифтовое озеро Коолён, при значительной протяженности имеет ширину менее 1 км.

Вторая система разломов, имеющих северо-западное простирание, т.е. являющаяся ортогональной по отношению к рассмотренным линеаментам, на Чукотском полуострове сейсмически не активна.

ЛИТЕРАТУРА

Акинин В.В., Апт Ю.Е. Позднекайнозойский щелочно-базальтовый вулканизм на северо-востоке России // Магматизм и оруденение северо-востока России / Ред. С.Г. Бялобжеский. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 155–175.

СПЕЦКАРТИРОВАНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ЗЕМНОЙ КОРЫ: ПРИНЦИПЫ, ЭТАПЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ *

К.Ж. Семинский

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Цель доклада – рассмотреть проблемы и перспективы современных методов картирования разломных зон, а также представить впервые в полном объеме формализованный метод спецкартирования разломной структуры земной коры, базирующийся на парагенетическом анализе массовых замеров повсеместно распространенной трещиноватости и тектонофизических закономерностях формирования разрывных сетей в регионах, испытавших тектоническое воздействие. Метод назван *спецкартированием*, во-первых, вследствие его специальной структурной направленности в отличие от традиционного геологического картирования и, во-вторых, из-за специфичности подхода с использованием трещин без признаков смещений в качестве исходного звена для выявления разломно-блоковой структуры природных регионов.

В начале картирования на изученной территории в соответствующем масштабе организуется сеть пунктов, в каждом из которых делается массовый замер элементов залегания трещин и проводятся другие наблюдения, способствующие решению задач структурной съемки. Далее по стандартной методике отстраиваются диаграммы трещиноватости, которые затем сопоставляются с трафаретами, отражающими идеализированные трещинные сети в разломных зонах разного морфогенетического типа. В основе эталонного набора разрывных систем лежат оригинальные представления о парагенезисе из трех направлений трещин, которые составляют основу строения небольшого разлома земной коры. Полученные в результате сопоставления реальных диаграмм с трафаретами решения о присутствии в пункте наблюдения разломной зоны определенного типа и ориентировки выносятся в соответствующем месте на схему территории, после чего по точкам с однотипными парагенезисами отстраиваются границы разломных зон.

Кроме составленной таким способом схемы разломной структуры устанавливаются типы полей напряжений, в которых на отдельных этапах формировались или активизировались ее отдельные элементы. Для этого проводится анализ мелких разломов, в рамках которого все полученные на первом этапе картирования при изучении трещин решения о их типе и пространственной ориентировке сопоставляются с членами идеализированных парагенезисов разломов 2-го порядка, составляющих известную из тектонофизики структуру более крупного дизъюнктива (системы сколов Y -, R -, R' -, n -, n' -, t -, t' - и T -типа). Полученные в итоге данной процедуры решения о наличии разнотипных разломных зон соответствуют локальному уровню поля напряжений, существовавшему в истории развития изучаемого участка земной коры. Далее эти решения используются в качестве основы для следующей итерации с идеализированными парагенезисами разломов, пока не будет исчерпана возможность объединения разломных зон в рамках сетей, соответствующих определенному полю напряжений. Нескольким (обычно 3–5) оставшимся решениям об ориентировке разломной зоны и динамической обстановке ее формирования отражают самый низкий уровень (региональный, трансрегиональный и т.д.) процесса деструкции в регионе. Они не могут активно существовать в одно время и, таким образом, соответствуют разным этапам разломообразования, проявившимся на изучаемой территории. Далее эти этапы располагаются в последовательности, отражающей относительный возраст их проявления в зависимости от оценок, сделанных по косвенным (статистическая информация о частоте встречаемости, угловых соотношениях разрывных систем и пр.) или прямым (априорная информация) признакам.

В заключение спецкартирования для каждого из главных этапов формирования структуры составляются схемы разломных зон, на которых из общей сети выделяются те дизъюнктивы, которые возникли или активизировались в соответствующем поле напряжений. Эти схемы представляют информативную основу для разнотипных геодинамических построений, а также незаменимы при проведении многих видов прикладных исследований (поиски и разведка рудных месторождений, анализ распространенности опасных инженерно-геологических процессов, оценка проницаемости нарушенных пород и др.).

Работы выполнены при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00322) и ОНЗ-7.6.

* Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ *

А.А. Спивак

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

В докладе приведен анализ результатов инструментальных наблюдений за геофизическими полями в зонах влияния тектонических разломов. Показано, что разломные зоны характеризуются существенно более высокими по сравнению с серединными участками структурных блоков земной коры вариациями геофизических полей, интенсивным откликом на слабые внешние воздействия в виде твердого лунно-солнечного прилива и барических вариаций атмосферы, а также интенсивностью релаксационных процессов. Преимущественно в разломных зонах наблюдается трансформация энергии между геофизическими полями разной природы.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ГЛАВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ И КРАЯ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ю.И. Сыстра

Горный институт Таллиннского технического университета, Таллинн, Эстония

Юго-восток Фенноскандинавского щита представлен вытянутым на СВ (325°) крупным Карельским кратоном, длиной 620 км, шириной на севере 220 км и до 360 км на юго-востоке. Древнее тоналит-гранодиоритное основание имеет возраст 3.40–3.98 млрд лет, а врезанные в него узкие зеленокаменные пояса мезоархейских вулканогенно-осадочных пород моложе, 2.944–2.850 млрд лет [Светов, 2009]. Вдоль края кратона в ядрах реликтовых синклиналий сохранился более молодой чехол из палеопротерозойских слабометаморфизованных вулканогенно-осадочных пород, а платформенный осадочный чехол эдиакара-палеозойского времени (650–254 млн лет) перекрывает только ЮВ край кратона [Сыстра, 1991, 2004].

Первым этапом образования крупных разрывов в основании можно считать внедрение огромной вулканической массы через линейные зоны вулканических центров 3.05–2.85 млрд лет назад в мезоархейских зеленокаменных поясах, по составу от комагматитов до адацитов [Светов, 2009]. Пояса достаточно глубоко врезаны в палеоархейское основание, чтобы их ядерные части сохранились в течение 3 млрд лет.

В период 2.5–2.1 млрд лет все архейское ядро щита было вовлечено в рифтогенные процессы. В зоне сочленения кратона с Беломорской складчатой областью в Паанаярвской синклинали происходили обильные излияния кислой магмы, а их комагматиты, щелочные граниты нуоруненского типа (2.45 млрд лет), заполнили глубинный разлом, длиной 50 км, вытянутыми на север телами. Вдоль южной границы синклинали расслоенные перидотит-габброноритовые массивы (2.44 млрд лет) образуют СВ зону длиной 30 км и шириной до 3 км. Бураковско-Монастырская зона аналогичных расслоенных интрузий известна на восточном берегу Онежского озера. Более молодые вытянутые тела оливинитов образуют цепь в ядерной части Кукаозерской синклинали, и некоторые расположены в архейском фундаменте. Они секут раннепротерозойские (2.45–2.06 млрд лет) вулканогенно-осадочные породы и могут быть одновозрастными с офиолитами Йормуа (1.95 млрд лет) в Финляндии.

Начиная с неогархея до конца мезопротерозоя (1.0 млрд лет) внедрились дайки разных магматических пород. Особенно много их в архейском гранитогнейсовом основании. Даек основных пород на границе с Финляндией в палеопротерозое выявлено пять генераций, с возрастом 2.45, 2.32, 2.2, 2.1 и 1.98 млрд лет [Vuollo, Huhma, 2005]. По логике, перед каждым внедрением должны были открываться трещины. Дайки новой генерации обычно другой ориентировки и пересекают старые под разными углами. Превалируют дайки СЗ простирания. Такой же ориентировки основная часть разломов, длина которых нередко достигает сотен километров. ЮВ часть Фенноскандинавского щита характеризует густая сеть разломов разного масштаба, как и всех древних щитов.

ЛИТЕРАТУРА

- Светов С.А. Древнейшие адакиты Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2009. 115 с.
- Сыстра Ю.И. Тектоника Карельского региона. СПб.: Наука, 1991. 176 с.
- Сыстра Ю.И. Основные черты геологического строения Карельского региона // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2004. С. 14–29.
- Vuollo J., Huhma H. Paleoproterozoic mafic dikes in NE Finland // Precambrian Geology of Finland. Amsterdam: Elsevier, 2005. P. 195–236.

ВОЗРАСТ ТРЕЩИН, ЛИНЕАМЕНТОВ И ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ

Т.Ю. Тверитинова

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Возраст практически всех трещин, которые мы наблюдаем в разновозрастных породных массивах в приповерхностной зоне Земли (за исключением трещин с древним жильным выполнением), является современным. В разных массивах возраст пород и возраст трещин могут существенно различаться. Мы знаем, что без трещин пород не бывает – породы, сформировавшись, сразу приобретают трещиноватую структуру. Это первичные трещины осадочных пород, прототектонические трещины магматических пород, закономерно расположенные относительно структурно-текстурных элементов трещины метаморфических толщ, то есть можно говорить о том, что развитие пород во времени состоит и в развитии их трещиноватости, которая претерпевает в истории развития геологических объектов определенную эволюцию.

Нельзя говорить, что в архейских породах архейские трещины, а в меловых – меловые и т.д. Ни архейских, ни меловых трещин уже нет, а есть трещины современные, но, несомненно, эволюция архейских трещин и меловых была разной.

Время формирования трещин – процесс разрушения – формирование, в первую очередь, трещин отрывного и сколового типа. Первичные трещины в подавляющем большинстве являются трещинами отрыва – их формирование связано с переходом вещества в породу, с литификацией, когда происходит уплотнение и уменьшение общего объема породы. Частично этот объем используют флюиды. Если объемы пород попадают в область действия полей тектонических напряжений, то к первичным трещинам прибавляются тектонические, среди которых присутствуют уже и отрывы, и сколы, а также более сложные структуры, формирующиеся поперечно к направлению главного сжатия (сдвиги, структуры сшивания и т.д.). Формирование трещин при этом происходит уже не просто в породе, но в структурно-вещественных комплексах со сложными структурными формами и определяется как особенностями вещественных неоднородностей, так и неоднородным распределением тектонических напряжений в тектонической структуре.

В геологических объемах в изменяющемся динамическом поле тектонических напряжений формируются разнообразные системы трещин (сколов, отрывов, сдвигов), закономерно ориентированные относительно элементов локальной и региональной структур, а также планетарного поля напряжений.

Все это касается и разломов более крупных геологических тел и тектонических структур, так как трещинно-разрывная сеть – элемент общей фрактальной системы делимости геологической среды.

Главные этапы формирования трещиноватости и разломов – эпохи диастрофизма, эпохи рифтогенеза и складчатости, когда происходят существенные изменения структуры геологической среды – от заложения структур растяжения (рифты) до формирования на их месте структур сжатия (орогены).

История геологического развития разных регионов разная. Древние платформы отражают спокойное развитие на протяжении фанерозоя. Подвижные пояса более мобильны. Здесь есть области полициклического развития, и поэтому существуют структуры разного возраста складчатости.

Возраст трещин (и разломов) приповерхностной зоны при этом остается «современным» каждой тектонической эпохе. В стабильных областях морфологический облик исходных трещин (одновозрастных субстрату) изменяется мало. Здесь практически нет новообразованных трещин. В подвижных областях облик трещин меняется с каждой эпохой структурных преобразований. Например, в полициклической области каледоно-герцинского развития современные разрывно-трещинные структуры будут отражать своей морфологией особенности докаледонских (возраст исходных деформируемых комплексов), каледонских (возраст каледонских структур), герцинских и, наконец, постгерцинских структур. Каждая эпоха оставит свои следы, но в составе единой современной структуры, которую мы и наблюдаем сейчас.

Каждой существующей в ту или иную эпоху системе разрывно-трещинных структур соответствует более общая система линеаментов (включающая как проявленные элементы (разрывно-трещинные структуры), так и еще непроявленные зоны концентрации деформаций). Линеаменты – всегда «современные» линейные (полосчато-линейные) объекты, отражающие текстурно-структурную неоднородность геологической среды в «современном» поле тектонических напряжений.

СТАДИИ НАДВИГОВОГО ЭТАПА ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ

Ф.Ф. Третьяков

Институт геологии алмаза и благородных металлов РАН, Якутск, Россия

Формирование Верхояно-Колымской орогенной области происходило в позднем мезозое [Тектоника..., 2001] в два основных этапа деформаций: первый – надвиговый и второй – сдвиговый. Складчато-надвиговые структуры первого этапа деформаций, определяющие строение всех главных тектонических элементов данной области, нередко находятся в сложных взаимоотношениях между собой и характеризуются наложением друг на друга. Анализ этих данных позволяет вместо сложной схемы структурообразования с рядом разновозрастных этапов надвиговых деформаций построить более простую схему: один надвиговый этап, включающий в себя структуры трех стадий однотипных деформаций.

Структуры первой стадии деформации – это послойные пологие надвиги и малые взбросо-складки, складки срыва и рамповые F_1^1 (нижний индекс – этап, верхний индекс – стадия деформации), сформированные на уровне слоя или группы смежных слоев. Они возникают с началом действия регионального латерального сжатия и с зарождением межслоевых срывов, пологих надвигов вдоль некомпетентных слоев горизонтально залегающей осадочной толщи с контрастной вязкостью.

Вторая стадия деформаций знаменует собой формирование главной складчатости или складчато-надвиговых структур F_1^2 и происходит по мере нарастания усилий регионального сжатия и вовлечения в деформации все больших масс осадочных пород, а затем и всей осадочной призмы в процессе срыва его с фундамента. Складки F_1^2 по отношению к структурам F_1^1 являются наложенными, так как в эту стадию субгоризонтально залегающие осадочные толщи, содержащие на разных горизонтах малые послойные структуры F_1^1 , подвергаются региональной складчатости. В результате послойные F_1^1 оказываются в своде, крыльях крупных складок F_1^2 . Нередко наблюдаются нестандартные положения пологих послойных надвигов и складок срыва F_1^1 в крутых крыльях крупных складок F_1^2 . У надвигов F_1^1 вергентность и смещение висячих блоков направлены не вверх, а вниз по падению слоев, и характеризуются они как «ныряющие» или «поставленные на голову». Вергентность вниз по падению слоев устанавливается и для послойных складок срыва F_1^1 .

Структуры третьей стадии также выявляются во взаимоотношении с пликативами второй стадии, а конкретно с их разрушением. Согласно М.В. Гзовскому [1964], складки F_1^2 , которые образуются в надвиговом поле напряжений, позже в этом же поле напряжений деформируются надвигами и взбросами F_1^3 . Таким образом, структуры третьей стадии F_1^3 в основном представлены надвигами разного ранга от зеркал до покровов. Все они по отношению к складкам F_1^2 являются наложенными.

Предложенная схема структурообразования позволяет точнее обосновать этапность и стадийность развития складчато-надвиговых дислокаций, показать роль, место и характер взаимоотношения малых и крупных структур данного типа в процессе их формирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Гзовский М.В. Перспективы тектонофизики // Деформации пород и тектоника. М.: Наука, 1964. С. 128–146.
Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 571 с.

ПАРАГЕНЕЗЫ СДВИГОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОЙ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА

В.П. Уткин, В.К. Попов

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

Главная особенность тектоники Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода (АТЗП) – развитие в мезозое и кайнозое транзитных, главным образом левых, сдвигов ССВ простирания, образующих Восточно-Азиатскую глобальную сдвиговую зону (ВАГСЗ) [Уткин, 1978, 1985]. В ВАГСЗ доминируют три разломные системы [Уткин, 2013]: продольная (стержневая ВАГСЗ) – левые сдвиги, параллельные краю континента (ССВ 25–30°), и две диагональные – приконтинентальная (левые взбросо-сдвиги СВ 50–70°) и приокеаническая (преимущественно левые меридиональные сдвиги). Парагенез разломных систем исследован в центральной части ВАГСЗ, где сформированы главные левые сдвиги продольной системы – Тан-Лу и Центральный Сихотэ-Алинский с опережающими их разломами диагональной системы (СВ 50–70°), которые в юре – раннем мелу формировались как дуплексы сжатия (надвиги, взбросы) левых сдвигов. К позднему мелу взбросы приконтинентальной диагональной системы трансформировались в левые сдвиги, что привело к раскрытию сдвига Тан-Лу как дуплекса растяжения несоосных левых сдвигов диагональной системы. Рифтогенное раскрытие Тан-Лу с формированием в позднем мелу – кайнозое рифтовой долины S-образной формы шириной до 80 км и примыкающих к ней осадочных бассейнов происходило в результате левостороннего смещения СЗ крыльев несоосных сдвигов на ЮЗ, отражая смещение в этом направлении континентальных масс. Начальная стадия рифтогенеза с образованием синсдвиговых бассейнов в пределах сдвиговых зон Тан-Лу и Сихотэ-Алинской сопровождалась проявлением известково-щелочного, а в максимальную стадию растяжения – толеитового и щелочного вулканизма [Попов, 2013].

По аналогии с рифтогенным раскрытием сдвига Тан-Лу как дуплекса растяжения несоосных сдвигов рассмотрено формирование Центрально-Японского рифта (ЦЯР) как дуплекса растяжения несоосных Сихотэ-Алинской и Восточно-Японской левосдвиговых зон. Показано, что в результате сосдвигового раскрытия ЦЯР Юго-Западная Япония смещалась на юг в сторону океана с генерацией в позднем мелу – кайнозое фронтального сжатия, результатом которого было наложение на юрскую аккреционную зону динамометаморфизма и формирования мел-кайнозойского пояса чешуйчато-надвиговых структур. Таким образом, развитие пояса динамометаморфизма, как и формирование аккреционного пояса Шимано, обрамляющего Юго-Западную Японию с юга, является не следствием субдукции океанической коры под континент, как считается, а результатом смещения континентальных масс вдоль левых сдвигов на ЮЮЗ.

Установленные левосдвиговые смещения на сотни километров в юго-западном направлении северо-западных крыльев транзитных сдвигов – прямое свидетельство смещения в этом направлении континентальных масс, что и определило геодинамику развития, особенности осадконакопления и магматизма Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода.

ЛИТЕРАТУРА

- Попов В.К. Рифтогенная природа кайнозойского кислого вулканизма восточной активной континентальной окраины Азии // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. Т. 2. С. 21–25.
- Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, вулканический пояс и окраинно-континентальные моря // ДАН. 1978. Т. 240, № 2. С. 400–403.
- Уткин В.П. Геодинамика растяжения земной коры в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану // Геотектоника. 1985. № 1. С. 73–87.
- Уткин В.П. Сдвиговый структурный парагенез и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 21–43.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛОМНЫХ ЗОН ПРИБАЙКАЛЬЯ

Е.Н. Черных, А.В. Ключевский

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В последнее время при изучении разломных зон все чаще применяются методы очаговой сейсмологии, основанные на статистическом исследовании пространственно-временных параметров и характеристик разрывных процессов [Ребецкий, 2007; Демьянович и др., 2008]. Полученные результаты позволяют в первом приближении рассматривать зону разлома как неоднородное объемное тело высокой степени трещиноватости, разделяющее монолитные блоки литосферы. Разломные зоны часто заполнены флюидом и являются основными элементами геофлюидных систем, через которые осуществляется перенос жидкого флюида [Киссин, 2002; Голубев, 2003] и газа [Seminsky, Demberel, 2013]. Как трехмерные геологические тела, они описываются набором параметров, характеризующих их линейные размеры, направления и величины перемещений крыльев, ориентировку и распределение в пространстве [Шерман, 1977].

Даже у хорошо изученных на поверхности основных разломов Прибайкалья диагностика параметров, свойств и состояния среды в глубинных зонах затруднена. В настоящей работе для исследования в глубинах разломных зон нами использованы записи микросейсмических колебаний, которые рассматриваются как интерференционно-модулированный сигнал, генерируемый источниками разной природы и прошедший амплитудно-частотные преобразования в результате распространения в сложноорганизованной структурно-неоднородной геологической среде. В основе исследования лежат экспериментально-теоретические результаты по выделению и параметризации медленных сейсмических волн в модельных конструкциях типа узкой щели, заполненной флюидом. На основании этих результатов можно полагать, что в заполненном флюидами неоднородном объемном теле высокой степени трещиноватости будут формироваться низкочастотные сейсмические волны, выделение и исследование которых позволят оценить параметры и состояние разломных зон. Структура геоматериала, размеры и стратификация разломной зоны будут предопределять низкую доминантную частоту, к которой перекачивается энергия по мере движения сейсмической волны сквозь горные породы. Поскольку реальные разломы имеют обычно сложную конфигурацию, по-видимому, можно говорить лишь об эффективных (характерных) параметрах разломной зоны в целом как зоны повышенной трещиноватости.

ЛИТЕРАТУРА

- Голубев В.А. О недооценке тепловыноса из недр Байкальской рифтовой зоны при использовании традиционных методов геотермии // ДАН. 2003. Т. 390, № 2. С. 247–250.
- Демьянович В.М., Ключевский А.В., Черных Е.Н. Напряженно-деформированное состояние литосферы и сейсмичность в зоне Белино-Бусийнгольского разлома (Южное Прибайкалье) // Вулканология и сейсмология. 2008. № 1. С. 46–61.
- Киссин И.Г. Геофизические неоднородности и флюидная система консолидированной земной коры континентов // Геотектоника. 2002. № 5. С. 3–18.
- Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2007. 406 с.
- Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов в земной коре. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.
- Seminsky K.Zh., Demberel S. The first estimations of soil-radon activity near faults in Central Mongolia // Radiation measurements. 2013. V. 49. P. 19–34.

ПРИЧИНЫ ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ О СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ «РИФТОВОЙ» ЗОНЫ

А.В. Чипизубов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Прямые данные по палеосейсмологии (кинематика активных разломов) и структурной геологии доголоценовых отложений впадин по ОГТ и НСП свидетельствуют, что впадины байкальского типа не являются рифтовыми. Большинство из них, в том числе Байкальская и Баргузинская, являются односторонними рампами, контролирующимися взбросами и взбросо-сдвигами, что возможно только при режиме сжатия (Чипизубов, 2009, 2012).

В противоположность этому, косвенные сейсмологические данные по механизму очагов центральной части Байкальской «рифтовой» зоны указывают на режим растяжения и, соответственно, на сбросовую кинематику разломов. Несмотря на то, что в последнее время стали устанавливаться и сбросовые механизмы очагов индивидуальных землетрясений в зоне Северобайкальского разлома (Мельникова и др., 2005, 2012), основная масса решений фокального механизма указывает на растяжение и сбросы. Такое глубокое противоречие требует объяснения.

Не будем настаивать на приоритете прямых данных. Отметим лишь, что определение фокальных механизмов базируется на неестественных допущениях, основанных на экспериментах по разрушению образцов. Например, плоскости скалывания (аналоги нодальных) образуются в экспериментах под углом до 45° к оси сжатия для однородных веществ и под углом 25–30° для образцов горных пород и неизвестно под каким углом в природной среде. Серьезное допущение относится к использованию двух жестко связанных нодальных плоскостей, тогда как в природе формируется только одна плоскость скалывания, использующая уже существующую неоднородность в виде зоны активного разлома. При таких условиях должны рассматриваться не связанные между собой нодальные плоскости, а каждая по отдельности. В этом случае определение механизма очага становится более чем проблематичным или даже невозможным.

Основное допущение касается принятого, но не доказанного положения о том, что противоположные (вверх или вниз) направления первых вступлений *p*-волны соответствуют сжатию и разряжению. Проверкой этого положения могла бы быть ситуация со взрывами. При взрывах совершенно определено во всех направлениях должна наблюдаться одинаковая картина (однообразность первых вступлений), что служило бы основным критерием отличия взрывов от землетрясений. В действительности такого признака вообще не существует. Следовательно, проявление первых вступлений на сейсмостанциях носит чисто случайный характер, и определять по ним квадранты сжатия и разряжения бессмысленно, как и устанавливать, соответственно, механизм очага землетрясений.

Возникновение сбросовых разрывов при режиме сжатия – абсолютно нормальное явление, что и имело место при Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г. и других сильнейших сейсмических событиях. В одних случаях они являются локальными элементами структур сжатия, а в других – действительными, но гравитационными сбросами. В виде самостоятельных разрывных структур они не находят объяснения, но могут формироваться на отдельных фрагментах сдвигов с соответствующей ориентировкой (структуры типа pull-apart) или как компенсационные (листрические) смещения при взбросах, когда сползшему блоку есть куда опускаться, или как отражение вторичного поля напряжений. Невозможно даже представить, что при субвертикальном сжатии, направленном снизу вверх и превышающем тангенциальные напряжения и тем более литостатическое давление, какому-либо блоку пород удастся проникнуть в недоступные для него глубины. Такое возможно только при «заталкивании блока» (поддвиг или надвиг) при режиме субгоризонтального сжатия.

Из всего вышеприведенного следует, что сбросовый тип механизма очагов не может быть у сильных ($M \geq 7$ или даже $M \geq 6.5$) разрывообразующих землетрясений. Очаги такого типа могут наблюдаться у отдельных слабых ($M \leq 5$) событий или у некоторых афтершоков сильнейших землетрясений, а не у основной массы слабых землетрясений любого района.

КРУПНЫЕ РАЗЛОМЫ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА, ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ И В КРОВЛЕ ФУНДАМЕНТА

Ф.Л. Яковлев

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Крупные разломы, нарушающие структуру смятого в складки осадочного чехла, могут иметь разную морфологию и амплитуду смещения на разной глубине. Результаты восстановления сбалансированной структуры альпийского чехла Большого Кавказа позволяют дать систематическое описание некоторых крупных разрывов [Яковлев, 2009, 2012]. Для этого структурные пересечения (24 разреза) делятся на домены, в которых измеряются параметры (сокращение складок, наклон осевой плоскости и др.), имеющие отношение к описанию эллипсоида деформации. Ряд кинематических операций с этими параметрами позволяют восстановить доскладчатое положение каждого домена и крупных частей профиля. Квазитрехмерная модель структуры в пределах осадочного чехла была получена при сопоставлении этих данных вкрест и по простиранию.

С севера на юг в изученной полосе наиболее интенсивной складчатости первым крупным разломом является Главный Кавказский надвиг (ГКН), представленный в Юго-Восточном Кавказе (ЮВК) и на Северо-Западном Кавказе (СЗК). В ЮВК пересечение разлома на двух профилях может быть показано в амплитудах. По кровле фундамента около г. Шахдаг смещение Шахдагской и Тфанской зон (ТЗ) минимально ($-7.6 / -10.3$ и $-13.3 / -13.0$ км), по расчетной кровле чехла – заметное ($+7.9 / +14.5$ км). Плоскость ГКН падает на юг $50-80^\circ$, надвигаются более молодые J_2 на более древние J_{1-2} . К востоку амплитуда ГКН на поверхности минимальна, и далее за с. Конахкенд он не виден. На СЗК в районе г. Фишт ГКН представляет собой на поверхности надвигание с севера на юг пород Pz на J_{1-2} , с амплитудой поднятия по кровле фундамента северного блока в $5-7$ км, а по кровле чехла – опускание в $5-8$ км. Далее на запад ГКН в структуре не выражен.

В центре ТЗ выделяется субвертикальный разлом, в котором по кровле фундамента северный блок в пяти профилях поднят на $8-10$ км, на поверхности – около 1 км, а по кровле чехла опущен с амплитудой от 12 км (запад, $+12 / +24$ км) до 2 км (восток, $+20 / +22$ км).

Тфанская зона граничит с Чиаурской (ЧЗ) на юге по Тибскому надвику. В ЮВК разлом разрезами не пересекается. В районе р. Ардон это надвиг на юг (J_{1-2} на J_3 , 60°) с горизонтальным смещением в $4-6$ км. По фундаменту смещение слабое ($-10, -18$ км / $-14, -18$ км). На запад к р. Риони он сливается с ГКН, это крутая флексура, а не надвиг.

В широкой ЧЗ в кровле фундамента есть амплитуды смещения соседних блоков до $5-8$ км, которые можно соотносить с разломами в фундаменте и на поверхности. ЧЗ отделяется от Закавказского массива (ЗМ) на юге Рача-Лечхумским (РЛ) и Уцерским разломами. По кровле фундамента блок ЧЗ опущен на 10 км, по поверхности это кинематический надвиг K_2 на J_{1-2} , по кровле чехла блок ЧЗ поднят на $8-10$ км. ЧЗ погружена по уровню бывшей Мохо (от 40 до 110 км) относительно ЗМ (от 40 до 60 км) по РЛ до 50 км. Наличие общего detachмента с пододвиганием ЗМ под ЧЗ отрицается.

ЛИТЕРАТУРА

- Яковлев Ф.Л. Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. 2009. № 11. С. 100–112.
- Яковлев Ф.Л. Опыт построения сбалансированной структуры восточной части альпийского Большого Кавказа по данным количественных исследований линейной складчатости // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1. С. 191–214.

3

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ И ДРУГИХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

ВЗАИМОСВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ И ВУЛКАНИЗМА КАК ПРОЯВЛЕНИЙ ВОЛНОВОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Д.Р. Акманова, А.А. Долгая

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

На протяжении нескольких лет авторами проводятся исследования временных, пространственно-временных и энергетических закономерностей распределения очагов землетрясений и вулканических извержений. Для исследований был составлен электронный сейсмический и вулканический каталог. Каталог содержит данные о 12725 землетрясениях, произошедших за последние 4.1 тыс. лет, а также данные о 617 вулканах мира, извергавшихся 6959 раз за последние 12 тыс. лет: 9650 г. до н.э. – 2013 г. [Викулин и др., 2012].

Проведенные авторами исследования пространственно-временных закономерностей сейсмического и вулканического процессов показали, что для наиболее геодинамически активных регионов планеты (окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта) миграция сейсмической и вулканической активности является характерным процессом, имеющим волновую природу. Кроме того, данные указывают на существование вполне определенных изменений скоростей миграции V , величины которых пропорциональны граничным значениям M_0 и W_0 рассматриваемых совокупностей событий.

Выявленные зависимости между логарифмами скоростей миграции сейсмических и вулканических событий и их энергетическими характеристиками имеют разные по величине наклоны: положительные для областей сжатия (субдукции) и отрицательные для зон растяжения (спрединга) [Vikulin et al., 2012], то есть пространственно-временные особенности распределений сейсмической и вулканической активности являются достаточно «чувствительными» к характеру геодинамических (сейсмических и вулканических) движений в активных поясах и вблизи них.

Методами спектрального и спектрально-корреляционного анализа временных рядов исследовалась периодичность геодинамического процесса в пределах всей планеты и наиболее геодинамически активных ее регионов: окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта [Долгая и др., 2014]. В результате и для сейсмического и для вулканического процессов были выявлены общие периоды $T_0 \approx 250 \pm 25$, $2T_0 \approx 450 \pm 50$, $4T_0 \approx 1000 \pm 100$ и $8T_0 \approx 2000 \pm 200$, что представляется неслучайным.

Полученные данные о скоростях миграции, зависимостях $\text{Lg} V(M, W)$ и периодах сейсмического и вулканического процессов могут рассматриваться как подтверждение вывода: сейсмичность и вулканизм являются проявлениями единого волнового геодинамического процесса.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 12-III-A-08-164.

ЛИТЕРАТУРА

- Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 3. С. 34–54.
- Долгая А.А., Акманова Д.Р., Викулин А.В. О периодичности геодинамического процесса // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различия, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: Материалы XLVI Тектонического совещания. Т. I. М.: ГЕОС, 2014. С. 124–128.
- Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3, № 1. P. 1–18.

ГЕОДИНАМИКА КАК ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА БЛОКОВОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СРЕДЫ *

А.В. Викулин

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

В работе в рамках концепции блоковой геосреды – вращающейся блоковой среды – показывается, что возникающие в такой геосреде напряжения имеют момент силы и определяют, таким образом, одно из основных ее свойств – энергонасыщенность. Рассматривается волновая природа геодинамического планетарного процесса, реализуемого в такой среде, для которой характерно существование нового типа волн – медленных и быстрых ротационных волн деформации. Такие движения могут осуществляться и реидным способом, реализация которого в геосреде, скорее всего, связана с ее энергонасыщенностью.

Анализ большого объема материала позволил показать, что магматические очаги, питающие извержения вулканов планеты, имеют постоянную небольшую «толщину», величина которой (0.5 км) не зависит от вулканического процесса и определяется свойствами земной коры. Описана новая модель магматического очага, в основе которой заложены представления о «тепловом взрыве», реализуемом интенсивными объемными пластическими движениями вдоль границ блоков в условиях малой теплопроводности геосреды. За счет перегрева твердого вещества магматического очага выше точки плавления в окружающей его области могут создаваться большие по величине напряжения, до 10^{15} Дж на 1 км^3 перегретой породы. Такие напряжения позволяют объяснить как взаимодействие вулканов между собой (миграцию вулканической активности вдоль вулканической дуги), так и взаимодействие вулканизма и сейсмичности.

Представления о тонких перегретых прослоях под вулканами распространяются на всю земную кору. Формулируется гипотеза, согласно которой свойства границы Мохо определяются фазовым переходом от блокового строения коры к неблоковому строению верхней мантии.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 12-III-A-08-164.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИИ И ДЕНУДАЦИИ

И.А. Гарагаш

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Неоднородность строения осадочной толщи есть результат не только вариаций физического состава осадков, но прежде всего неоднородного распределения трещиноватости. Одна из причин возникновения трещиноватости может быть связана с неоднородным уплотнением осадочной толщи в процессе ее формирования и развитием неупругих деформаций в результате скольжения по существующим трещинам и образования большого числа новых дефектов. Ключевым фактором является неустойчивость поведения реальных горных пород, связанная с тем, что после достижения максимальной прочности деформирование продолжается при уменьшающемся напряжении. Уменьшение прочности при возрастании деформации происходит до тех пор, пока напряжение не установится на некотором остаточном уровне. Такое поведение горных пород обусловлено накоплением в них микротрещин по мере увеличения интенсивности деформаций.

Для горных пород неустойчивое развитие пластического течения наблюдается при достижении критического уровня необратимых деформаций и ведет к локализации деформаций в полосах сдвига. Системы полос сдвига с высокой плотностью трещин облегчают фильтрацию флюида, и их исследование важно для понимания фильтрационных свойств коллекторов. Сгущение трещин также характерно для зон разломов, разделяющих среду на блоки.

Для исследования деформаций в процессе осадконакопления рассмотрено пластическое деформирование упругопластического элемента, сначала погружающегося вместе с осадочной толщей по мере накопления сверху осадков, а затем поднимающегося в результате денудации. Анализ упругопластического поведения элемента выполнен с использованием уравнений Прандтля-Рейсса для материала с внутренним трением и дилатансией. Аналитическое решение показало, что до определенной глубины элемент ведет себя упруго, а затем переходит в упругопластическое состояние, в котором и находится, пока в результате денудации не начинается процесс разгрузки. Элемент при этом сначала деформируется упруго. Однако по мере приближения к поверхности опять наступает момент перехода в упругопластическое состояние. Такое поведение осадочной толщи позволяет предположить, что процесс осадконакопления вызывает растрескивание толщи и локализацию трещин на протяжении всей истории формирования осадочной толщи, что и подтвердил численный эксперимент. Расчеты, выполненные с учетом разупрочнения, показали, что растрескивание толщи локализуется в зонах сдвига в виде более или менее регулярных структур как при осадконакоплении, так и при денудации.

МОДЕЛИ КОМПОЗИТНЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

А.А. Гладков, О.В. Лунина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Термин «сейсмогенный источник» характерен для работ зарубежных исследователей [Basili et al., 2008; Caputo et al., 2012], которые на основе анализа региональных геолого-геофизических данных выделяют индивидуальные и композитные сейсмогенные источники, представляющие собой, по сути, параметризованные модели разломов, их сегментов или систем. На картах они изображаются в виде проекций трехмерной структуры на земную поверхность и характеризуются полным набором геометрических, кинематических и сейсмологических параметров. Индивидуальный источник соответствует одному активному разлому или его сегменту, движения по которому могут привести к землетрясению с магнитудой 5.5 и выше. Композитный источник (КСИ), в свою очередь, включает несколько индивидуальных источников, которые не всегда выделяются по объективным причинам. В связи с этим создание моделей КСИ представляется необходимым шагом при подготовке сейсмотектонических проектов нового поколения.

Набор параметров, характеризующих КСИ, которые в некоторой степени могут быть ассоциированы с зонами ВОЗ (возможных очагов землетрясений), схож в различных мировых базах данных, однако не является строго формализованным. Нами предлагается новый подход к выделению КСИ и построению их моделей для территории юга Восточной Сибири, основанный на разностороннем анализе сейсмичности региона, баз данных сейсмогенерирующих разломов [Лунина и др., 2012a] и косейсмических эффектов [Лунина и др., 2012b], а также опубликованных литературных данных.

В настоящее время в рамках создания информационной системы «ActiveTectonics» [Гладков и др., 2013], работающей в среде ГИС MapInfo, разработан программный комплекс для построения моделей КСИ, который будет включать соответствующую базу геопространственных данных для юга Восточной Сибири. Эта разработка позволит автоматизировать процессы сбора, хранения, обработки, визуализации и анализа информации и может стать удобным инструментом для создания обширных баз данных КСИ различных территорий. Программный комплекс планируется сделать доступным для широкого круга пользователей в сети Интернет, что позволит использовать его для непосредственного анализа сейсмического потенциала территорий, построения моделей распространения сейсмического эффекта и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 14-17-00007).

ЛИТЕРАТУРА

- Гладков А.А., Лунина О.В., Андреев А.В. Некоторые аспекты разработки информационной системы для интегрирования данных по активной тектонике // Геоинформатика. 2013. № 4. С. 6–14.
- Лунина О.В., Андреев А.В., Гладков А.А. Косейсмические эффекты в природной среде: новый подход к организации данных для их анализа и визуализации // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. Т. 2. С. 42–44.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Гладков А.А. Систематизация активных разломов для оценки сейсмической опасности // Тихоокеанская геология. 2012a. Т. 31, № 1. С. 49–60.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P. et al. The Database of Individual Seismogenic Source (DISS), Version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology // Tectonophysics. 2008. V. 453. P. 20–43.
- Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S., Sboras S. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece // Annals of Geophysics. 2012. V. 55. P. 859–894.

В настоящее время не вызывает сомнений тот факт, что геодинамический процесс является циклическим, с характерными периодами от нескольких лет до миллионов и миллиардов лет.

Исследование временных закономерностей геодинамического процесса проводилось авторами на основании сейсмического (за последние 4 тыс. лет) и вулканического (за последние 12 тыс. лет) планетарных каталогов. С помощью методов спектрального и спектрально-корреляционного (С) анализа временных рядов [Долгая и др., 2014] для сейсмического и вулканического процессов были выявлены следующие общие «геофизические» периоды: $T_{C1} \approx 250 \pm 25$, $T_{C2} \approx 450 \pm 50$, $T_{C3} \approx 1000 \pm 100$ и $T_{C4} \approx 2000 \pm 200$. Наличие таких общих периодов представляется неслучайным и может служить подтверждением того, что сейсмичность и вулканизм являются, по сути, отражением единого волнового геодинамического процесса.

Авторами разработана достаточно общая методика [Викулин, 2003], позволившая адаптировать метод построения фазовых (Ф) плоскостей в механике к исследованию закономерностей геодинамического процесса (прежде всего, сейсмической и вулканической его составляющих). «Фазовыми» координатами при наших геодинамических построениях являются энергии землетрясений и извержений вулканов, их магнитуды M и временные интервалы ΔT между исследуемыми событиями. Выполненные расчеты показали, что на плоскостях $M - \Delta T$ выявляются системы замкнутых изолиний, определяющих для сейсмического процесса в пределах окраины Тихого океана циклические движения с периодом $T_{\Phi} \approx 250 \pm 50$ лет.

Равенство «фазового» и «спектрального» периодов $T_{\Phi} \approx T_{C1} \approx 250$ лет $\approx T_0$ показывает, что такой статистически достоверный период T_0 является физически обоснованным «основным» периодом геодинамического процесса, четные гармоники которого $2T_0 \approx T_{C2}$, $4T_0 \approx T_{C3}$ и $8T_0 \approx T_{C4}$ – очевидное следствие замкнутости активных областей планеты друг на друга. Такой вывод «обязывает» исследователей проводить изучение закономерностей геодинамического процесса в планетарном масштабе.

Исследование процессов миграции сейсмической и вулканической активности в пределах трех наиболее геодинамически активных поясов планеты (окраина Тихого океана, Альпийско-Гималайский пояс и Срединно-Атлантический хребет) позволило выявить геодинамический параметр p , чувствительный к геодинамическим обстановкам в регионах: $p_+ > 0$ – положительный для областей сжатия и $p_- < 0$ – отрицательный для областей растяжения [Vikulina et al., 2012]. Оказалось, что такой параметр имеет тенденцию сохраняться: $p_+ + p_- \rightarrow 0$, что позволило предложить модель геодинамического планетарного процесса, опирающуюся на наиболее общие законы природы – законы сохранения.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 12-III-A-08-164.

ЛИТЕРАТУРА

- Долгая А.А., Акманова Д.Р., Викулин А.В. О периодичности геодинамического процесса // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различия, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания. Т. I. М.: ГЕОС, 2014. С. 124–128.
- Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КПУ, 2003. 151 с.
- Vikulina A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3, № 1. P. 1–18.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ

М.О. Еремин^{1,2}, П.В. Макаров^{1,2}, А.Ю. Перышкин¹

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

В работе проведено численное моделирование современного сейсмического процесса во внутри-континентальных сейсмоактивных зонах – Алтае-Саянской складчатой области и в Байкальской рифтовой системе как результата латерального воздействия обрамляющих тектонических плит по границе Евразийской тектонической плиты.

В соответствии с имеющимися данными о зонно-блоковом строении верхних слоев литосферы в Центральной и Восточной Азии [Семинский, 2008], в Алтае-Саянской складчатой области, а также ранее полученными результатами численного моделирования эволюции напряженно-деформированного состояния (НДС) земной коры в обозначенном регионе в работе построены уточненные структурные модели верхних слоев литосферы. На основе GPS-измерений горизонтальных смещений блоков коры в работе определены соответствующие граничные условия: субмеридиональное сжатие коры в Алтае-Саянской складчатой области, и в частности Чуйско-Курайской зоне, а также в Байкальской рифтовой зоне, связанное с движением удаленного индентора в виде Индо-Австралийской плиты.

Математическая модель сейсмического процесса основана на идеях математической теории эволюции нагружаемых твердых тел и сред [Макаров, 2008]. Сейсмический процесс рассматривается как стадия неустойчивого развития деформационного процесса в геологических средах. В расчетах отдельное сейсмическое событие рассматривается как катастрофическая стадия эволюции НДС на конкретном участке геосреды. На этой стадии деформационный процесс развивается в автокаталитическом режиме за счет дестабилизирующей роли положительной обратной связи. На неустойчивой стадии развития деформационного процесса физико-механические свойства геосреды деградируют практически до нуля в режиме с обострением, что является характерной чертой эволюционных процессов в нелинейных динамических системах [Курдюмов, 2006].

В работе показано, что моделируемый сейсмический процесс удовлетворяет фундаментальным законам Гутенберга-Рихтера и Омори. С использованием уточненных структурных моделей геосреды, а также качественно верно определенных граничных условий в обозначенных регионах воспроизведены пространственно-временные особенности современной сейсмичности – локализация деформационных процессов и активизация разломной сети в неоген-четвертичное время, направления миграции деформационной (сейсмической) активности. Также показано, что расчетный сейсмический процесс находится в хорошем согласии с наблюдаемой региональной сейсмичностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Курдюмов С.П. Режимы с обострением. Эволюция идеи. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 312 с.
- Макаров П.В. Математическая теория эволюции нагружаемых твердых тел и сред // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, № 3. С. 19–35.
- Семинский К.Ж. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 10. С. 1018–1030.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД В РАМКАХ АВТОВОЛНОВОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Л.Б. Зуев, С.А. Баранникова, М.В. Надежкин, В.В. Горбатенко

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

Явления, сопутствующие разработкам месторождений полезных ископаемых (горные удары, землетрясения и пр.), стимулируют исследования геомеханики горных пород. Однако для оценки эволюции напряженно-деформированного состояния подработанного массива недостаточно знаний о механических свойствах материалов, требуется понимание механизмов деформирования. В связи с этим очевидную пользу могут представлять знания о макроскопическом характере деформирования материалов, полученные авторами и обобщенные в [Зуев и др., 2008]. Анализ поведения материалов за пределом упругих напряжений выявил склонность материалов к макролокализации деформации согласно закону деформационного упрочнения (ходу деформационной кривой). На основании полученных данных была разработана автоволновая модель пластического течения, согласно которой каждой стадии пластического течения соответствует определенный тип автоволнового процесса.

В данной работе рассматривается возможность описания деформационного поведения горных пород в рамках автоволновой теории. Схожие попытки распространения физических представлений о природе деформации на горные породы предпринимались и ранее [Введенская, 1969; Веттегрень и др., 2012].

Исследования были проведены на образцах горных пород: песчаника, мрамора и сильвинита. Выбор данных материалов обусловлен влиянием различных механизмов деформирования (зернограничное смещение, двойникование и дислокационное скольжение) на процесс локализации и разрушения горных пород. Образцы размерами $12 \times 10 \times 25$ мм деформировались по схеме одноосного сжатия при комнатной температуре при различных скоростях подвижного захвата испытательной машины. Методом записи цифровых спеклограмм в ходе нагружения исследовалась эволюция зон локализации деформации на регистрируемой поверхности испытываемых образцов.

В ходе экспериментов было установлено, что процесс деформирования горных пород склонен к локализации. Анализ распределений локальных деформаций позволил установить скорости движения очагов локализации, которые составили для мрамора $V_{aw} = 4.2 \cdot 10^{-5}$ м/с, песчаника $V_{aw} = 3.0 \cdot 10^{-5}$ м/с и сильвинита $V_{aw} = 2.8 \cdot 10^{-5}$ м/с, что по порядку величины соответствует скоростям, наблюдаемым в металлических материалах, $V_{aw} = 10^{-5} - 10^{-4}$ м/с [Зуев и др., 2008].

Наблюдения напряженно-деформированных состояний горных массивов вокруг подземных выработок позволили установить существование определенных последовательностей зон повышенной нарушенности массива (зон дезинтеграции) [Опарин, 2008]. Данные участки распределяются в глубь массива на глубину до 11 м с пространственным периодом около 3 м.

В то же время исследования металлических материалов позволили выявить общность закономерностей деформации разного масштаба, связанной с длиной волны локализации деформации λ от размера образца L , в виде $\lambda \sim \ln L$. Так, при размере образца в $L = 25$ мм пространственный период составляет $\lambda = 5$ мм [Зуев и др., 2008]. Тогда при характерном размере блока горной породы $L = 10$ м размер неоднородности оказывается $\lambda = 3$ м [Опарин, 2008]. Это позволяет утверждать, что закономерности автоволнового процесса деформирования горных пород сохраняются на различных масштабах.

Таким образом, экспериментально подтверждается универсальность автоволнового подхода к деформированию различных материалов, в том числе и горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

- Введенская А.В. Исследование напряжения и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969. 136 с.
- Веттегрень В.И., Куксенко В.С., Щербаков В.А. Динамика микротрещин и временные зависимости деформации поверхности гетерогенного тела (гранит) при ударе // Физика твердого тела. 2012. Т. 54, № 7. С. 1345–1346.
- Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения. Новосибирск: Наука, 2008. 327 с.
- Опарин В.Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 278 с.

ПРИЛИВНО-ВОЛНОВОЙ ФАКТОР – ПРИЧИНА СЕЙСМИЧНОСТИ И ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ ЗЕМНОЙ ОБОЛОЧКИ

В.Л. Ильченко

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Лунный приливно-волновой импульс вызывает колебание пород внешней земной оболочки и, при наличии в геоблоках плоскопараллельных отражающих поверхностей, ведет к появлению поля стоячих волн, превращая геоблоки в колебательные системы. По мере затухания колебаний пространство блока заполняется множеством узловых точек, к которым «отжимается» часть напряжений из колеблющихся пучностей стоячей волны, превращая их в компактные концентраторы избыточно высоких напряжений. Эти точки образуют линии и сетки, формирующие объемную структуру волнового поля, под контролем которой происходит дальнейшее разрушение блока с динамическими эффектами: землетрясениями и тектоническим расслоением пород. Закон тектонического расслоения пород земной коры: $M_n = M/2^n$ (M_n – мощность n -го элемента расслоения, M – мощность земной коры).

По закону всемирного тяготения, тела с массой m_1 и m_2 взаимодействуют с силой, которая равна произведению их масс и убывает пропорционально квадрату расстояния R между ними. Масса зависит от плотности ρ и объема V : $m = V\rho$, а объем планеты (шар): $V = 4\pi r^3/3$ (r – радиус), т.е. переменные ρ и r – ключевые параметры. Физический смысл произведения $\rho r = R_{gp}$ (Н/м²): импульс, создаваемый стержнем с сечением $S = 1$ м², высотой (длиной) r и плотностью ρ , т.е. R_{gp} – это аналог вертикальной компоненты σ_z поля напряжений в толще, сложенной слоями горных пород разной плотности и мощности: $\sigma_z = \sum \rho_i h_i$ (ρ_i – плотность i -го слоя, h_i – мощность слоя). Таким образом, Луна контролирует поле напряжений в земной оболочке.

Приливная волна имеет свойства солитона, т.е. это приливно-волновой солитон (ПВС), который образует с Луной гравитационный диполь (систему Луна-ПВС = Л-ПВС); ПВС питает гравитационная энергия Луны, и, следовательно, его масса эквивалентна лунной. Поскольку части диполя равны по массе, масса ПВС = 0.5 массы Луны; движение ПВС в породах земной оболочки с хаотичными пространственными вариациями плотности вызывает хаотичную пульсацию его объема – по принципу эквивалентности гравитирующих масс (принцип ЭГМ): область приливных возмущений – следствие гравитационного взаимодействия – имеет массу, эквивалентную массе источника возмущений; размер (радиус, объем) приливной области обратно пропорционален средней плотности вещества в ее составе.

По теории Гигантского столкновения [Hartmann, Davis, 1975], тела в системе Земля–Луна взаимно удаляются с ускорением и ее эволюционная динамика описывается соотношением $ma = m_a a$ (m , a – эталоны [Яворский, Детлаф, 1974]); ничтожность ускорения позволяет им пренебречь и рассматривать взаимодействие напряженностей Земли ($R_{gpz} = r_z \rho_z$) и Луны ($R_{gpl} = r_l \rho_l$). Луна повернута к Земле всегда одной стороной, т.е. ее воздействие постоянно и может служить эталоном. Если знать плотность пород вдоль радиуса ПВС, из формулы: $r_{ПВС} = R_{gpl}/\rho_{ПВС}$ получаем длину радиуса, а если узнать размер радиуса (сейсмологическим путем), можно легко найти среднюю плотность вещества в его составе. Плотность пород внешней земной оболочки отличается пространственными вариациями и, по принципу ЭГМ, обуславливает прерывистость ее сейсмических границ. Долговременное нахождение земной оболочки под влиянием лунных приливов привело к обособлению тектонически расслоенной толщи с переменной латеральной мощностью – Главной колебательной системы (слой ГКС); средняя мощность слоя ГКС – $M_{ГКС} = 1600$ км. Закон тектонического расслоения позволяет провести «обратное» вычисление мощности земной коры (и прочих параметров расслоения) по размеру «конечной» моды расслоения: $M_k = M_n$ по формуле $M_0 = M_k \cdot 2^k$ (M_0 – мощность земной коры); M_k можно получить из графика ГИС (профилеметрия и др.) измерением расстояния между соседними интервалами с равным диаметром скважины в однородной толще.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №14-05-00443.

ЛИТЕРАТУРА

- Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Изд. 6-е, испр. М.: Наука, 1974. 942 с.
- Hartmann W.K., Davis D.R. Satellite-Sized Planetesimals and Lunar Origins // Icarus. 1975. V. 24. P. 504–515.

ОСНОВНЫЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ

А.А. Кирдяшкин, А.Г. Кирдяшкин

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

На основе данных экспериментального и теоретического моделирования представлена схема свободно-конвективных течений в астеносфере и слое *C* в зоне субдукции. Описаны основные силы, действующие на океаническую литосферную плиту в субдукционной зоне. Суммарная величина сил, имеющих горизонтальную направленность, $F_a + F_{xp} = 2.7 \cdot 10^{12}$ Н/м, где F_a – сила трения, действующая со стороны астеносферного свободно-конвективного потока на океаническую литосферу, F_{xp} – сила, обусловленная возвышением срединно-океанического хребта (сила гравитационного соскальзывания) [Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А.Г., 2014]. Эти силы обеспечивают транспорт литосферной плиты к зоне субдукции. Величина горизонтально направленных сил, приложенных к океанической литосферной плите, составляет 5 % от суммарной величины силы тяжести, приложенной к субдуцирующей литосферной плите, $F = F_{тр} + F_g + F_{фп} = 5.5 \cdot 10^{13}$ Н/м. В этом равенстве $F_{тр}$ – тепловая гравитационная сила, возникающая вследствие того, что субдуцирующая литосферная плита имеет более низкую среднюю температуру, чем окружающая ее мантия (сила отрицательной плавучести), F_g – сила, обусловленная эклогитизацией корового слоя субдуцирующей плиты, $F_{фп}$ – сила, возникающая вследствие подъема фазовой границы «оливин–вадслеит».

Экспериментальные исследования реологии перидотита и рингвудита показывают, что зону субдукции в первом приближении можно моделировать вязкими средами в условиях свободной конвекции [Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А.Г., 2014]. Как показывает экспериментальное моделирование, зона субдукции является областью встречных верхнемантийных свободно-конвективных течений, вызванных горизонтальными градиентами плотности, которые, в свою очередь, определяются в основном горизонтальными градиентами температуры. Субдуцирующая плита представляет собой нисходящее свободно-конвективное течение, вызванное встречными горизонтальными потоками в области, где горизонтальный градиент температуры равен нулю. В условиях свободной конвекции в астеносфере и слое *C* слева и справа от субдуцирующей плиты возникают горизонтально направленные силы, обусловленные горизонтальными градиентами температуры. Суммарная горизонтальная сила соизмерима по величине с силой тяжести, приложенной к погружающейся плите. Угол наклона субдуцирующей плиты определяется векторной суммой горизонтально направленных сил и гравитационной силы.

Представлены результаты экспериментального моделирования влияния встречных астеносферных свободно-конвективных течений на формирование и устойчивость зоны субдукции. На основе данных лабораторного моделирования можно сделать вывод, что положение опускного свободно-конвективного потока и, следовательно, зоны субдукции зависит от отношения тепловых мощностей встречных астеносферных потоков в континентальном и океаническом крыльях Q_2/Q_1 . С увеличением отношения Q_2/Q_1 опускной субдукционный поток смещается от континента в океаническую область.

Как показывают эксперименты, происходит растекание субдукционного потока в противоположных направлениях от лобовой точки при встрече потока с ограничивающей поверхностью – подошвой слоя. Растекание вдоль нее вызвано горизонтальными силами, возникающими вследствие горизонтальных градиентов температуры, противоположно направленными от лобовой точки. Силы давления, вызывающие растекание нисходящего потока субдуцирующей плиты вдоль границы 670 км от лобовой точки, имеют такой же порядок величины, как и сила тяжести, действующая на плиту.

ЛИТЕРАТУРА

Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А.Г. Силы, действующие на субдуцирующую океаническую плиту // Геотектоника. 2014. № 1. С. 62–76.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД ЩЕЛОЧНО-ЗЕМЕЛЬНОЙ СЕРИИ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО И ПЕТРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Г. Кирдяшкин, Н.В. Сурков, А.А. Кирдяшкин, В.Э. Дистанов, И.Н. Гладков

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

На основе теплофизического моделирования субдукции установлено, что плавление корового слоя субдуцирующей океанической плиты происходит у границы верхняя–нижняя мантия, и определена область плавления корового слоя в зависимости от величины температуры плавления. Предложена модель образования канала термохимического плюма в зоне субдукции, и установлены основные параметры плюма в зависимости от температуры плавления корового слоя, его толщины и скорости субдукции. На основе экспериментального моделирования показано, что канал плюма имеет ячеистую структуру, а также определены размеры конвективных ячеек. Ячейки разделены между собой сужениями. В зависимости от тепловой мощности на подошве плюма, скорости субдукции и скорости выплавления у кровли плюма определена глубина образования первичного очага. В зависимости от глубины образования очага плавления изменяется характер выхода плюма (вулкана) на поверхность. В качестве критерия, характеризующего режим прорыва плюма (вулкана) на поверхность, используется относительная тепловая мощность $Ka = N/N_T$, где N – тепловая мощность на подошве плюма, N_T – мощность, передаваемая каналом плюма окружающему массиву в условиях стационарной теплопроводности. Согласно данным экспериментального моделирования, при $Ka > 1.6$ плюм прорывается на поверхность в континентальном крыле зоны субдукции на некотором удалении от желоба, с последующим образованием грибообразной головы. Создаются геодинамические условия, при которых образуются батолиты (в западных районах Северной Америки и южных районах Южной Америки). При $1.15 < Ka < 1.6$ плюм (вулкан) прорывается на поверхность, смещаясь от желоба по мере уменьшения Ka .

На основе петрологического и геодинамического моделирования представлен фациальный состав пород щелочно-земельной серии в зоне субдукции. Формирование этих пород связано с процессами кристаллизационной дифференциации, химический характер которых меняется в зависимости от глубины нахождения магматического очага – конвективной ячейки. На глубинах до 100 км (давления до 40 кбар) происходят главные изменения в химическом характере кристаллизующихся фаз. Для первичного ультраосновного магматического расплава в интервале глубин от 100 до 600 км эволюция состава контролируется фундаментальной эвтектикой $L=Fo+Cpx+Opx+Ga$, и при подъеме к поверхности происходит осаждение оливина, а состав остаточного расплава изменяется в сторону увеличения концентрации кремнезема до средних составов, близких к эклогитам. В интервале давления 15–26 кбар характер плавления и кристаллизации расплава меняется на перитектический, из расплава осаждаются магнезиошпинели, оливины и ортопироксены, расплав обогащается кремнеземом и кальциевым компонентом. При давлениях ниже 15 кбар характер плавления снова меняется на эвтектический (эвтектика $L=An+Cpx+Opx+Sp$ и $L=Fo+An+Cpx+Opx$). В этом интервале давлений в процессе кристаллизационной дифференциации происходит отделение плагиоклаза анортитового состава, состав остаточного расплава смещается в сторону повышенного содержания щелочных компонентов и оказывается в области щелочных кварцнормативных составов, близких по своему характеру к гранитам. Таким образом, в верхней части плюма можно выделить минимум три зоны кристаллизационной дифференциации, существование которых в сочетании с конвективными ячейками канала плюма позволяет получить набор кристаллических пород от ультраосновных до гранитов в качестве продукта кристаллизационной дифференциации единого магматического расплава.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВРЕМЕН ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ НАГРУЖАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Ю.А. Костандов¹, М.О. Еремин^{2,3}, П.В. Макаров^{2,3}

¹ Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

В работе проведено экспериментальное определение характерного времени предразрушения в образцах из габбро и цементно-песчаной смеси при испытаниях на трехточечный изгиб. Полученные значения были использованы для определения параметров в моделях хрупких и квазихрупких сред. С использованием верифицированной модели проведено численное моделирование эволюции напряженно-деформированного состояния и разрушения, включая катастрофическую стадию в образцах из этих материалов при трехточечном изгибе. Показано, что прогиб балок как в эксперименте, так и в численных расчетах развивается в режиме с обострением на заключительной стадии деформирования.

Было установлено, что простая модель, учитывающая вид напряженного состояния, а также внутреннее трение и дилатансию, качественно и количественно хорошо описывает время перехода разрушения в катастрофический режим. В расчетах оказалось достаточным согласовать с экспериментом только одну точку, остальные экспериментальные точки хорошо легли на теоретическую кривую, полученную моделированием разрушения при различных уровнях нагрузки. Эти результаты свидетельствуют о том, что реальный процесс разрушения является полностью коррелированным детерминированным процессом. При заданных условиях нагружения (в данном случае это трехточечный изгиб) и в заданном диапазоне масштабов характерное время предразрушения (его можно также назвать временем обострения) полностью определяет долговечность образцов при заданном уровне напряжений. Этот процесс формирования очага разрушения однозначно описывается уравнениями механики деформируемого твердого тела при соответствующем задании параметров кинетики накопления повреждений и обратных связей (положительной и отрицательной), управляющих деформационным процессом.

РАЗВИТИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД

Р.А. Лементуева, Н.Я. Бубнова, А.В. Треусов

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Изучалось развитие процесса трещинообразования при длительном нагружении с помощью невзрывной разрушающей смеси. В качестве образцов использовались блоки из мрамора и доломита (5×5×10 см). Для регистрации акустических сигналов (АС) применялся системный комплекс Aline. Одновременно осуществлялся тензометрический контроль. Первые вступления акустических волн использовались для определения координат источников излучения АС. С помощью разработанной программы [Лементуева и др., 2014] определялись координаты локальных центров разрушения, их миграция и момент возникновения магистральной трещины разрушения.

Развитие трещины происходит в несколько этапов. В начале нагружения образуются дефекты, которые возникают под действием напряжений в зоне растяжения. АС имеют достаточно большую амплитуду, а их источники возникают в разных местах образца. Расчет координат источников излучения показал, что происходит миграция АС, приводящая к скоплению дефектов в виде групп по разные стороны от возникшей впоследствии магистральной трещины. Это явление можно назвать миграцией АС в связи с изменением напряженного состояния внутри образца. Наблюдается образование объемного кластера, шириной по координате X примерно 15 мм. Возникновение двух зон ослабленного за счет микродефектов материала в образце создает в центральной зоне образца условия для образования будущей магистральной трещины. Расчет координат центров излучения показал, что расстояния между дефектами в мраморе составляют 5–10 мм, а в доломите – 4–8 мм на стадии предразрушения. Возникающие на этой стадии АС имеют малую амплитуду по сравнению с наблюдаемыми на стадии деформирования. Скорее всего, на этой стадии АС возникают при перемещении укрупненных дефектов, и энергия тратится на трение. Шумы, возникающие на начальном этапе нагружения, показывают, что возникновение дефекта часто сопровождается попутным разрушением совсем мелких структур. Доля этих малых АС значительно уменьшается по мере приближения стадии «затишья». Для этой стадии характерно существование сигналов малой амплитуды, но с малым количеством шумовых эффектов. На завершающем этапе нагружения образца возникает макротрещина, представляющая собой сумму микротрещин, объединенных между собой за очень короткий промежуток времени (начало-конец 1–3 с). Прибор регистрирует это явление как суммарный сигнал АС очень большой амплитуды, превышающей амплитуду АС, ранее исследуемых в процессе нагружения, на два порядка. Траектория движения трещины искривляется.

К развитию магистральной трещины приводит возникшее на стадии предразрушения неупругое состояние горной породы в центральной зоне образца (сближение источников излучения при кластеризации) и действие сдвиговых и «нормальных» напряжений.

Различия при деформировании мрамора и доломита связаны, скорее всего, со структурным строением исследуемых блоков. Можно предположить, что трещина возникает на границе растяжение-сжатие. Интересно, что возникающие далее в магистральной трещине АС, как правило, не имеют шумовых эффектов (или они очень малы). По-видимому, по уровню шума можно говорить о внутреннем состоянии образца при нагружении. Совместное изучение периода предразрушения акустическими и тензометрическими методами весьма перспективно для конкретизации физических процессов на этой стадии.

ЛИТЕРАТУРА

Лементуева Р.А., Бубнова Н.Я., Треусов А.В. Особенности динамики формирования магистральной трещины // Физика Земли. 2014. № 1. С. 33–39.

УСКОРЕННЫЙ СИНЕРГИЗМ ВДОЛЬ РАЗЛОМА: ВОЗМОЖНЫЙ ИНДИКАТОР ПРЕДСТОЯЩЕГО СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ *

Ма Дзинь¹, Гуо Яншуанг¹, С.И. Шерман²

¹ Институт геологии Министерства по изучению землетрясений, Пекин, Китай

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

ACCELERATED SYNERGISM ALONG A FAULT: A POSSIBLE INDICATOR FOR AN IMPENDING MAJOR EARTHQUAKE

Ma Jin¹, Guo Yanshuang¹, S.I. Sherman²

¹ Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing, China

² Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

It is generally accepted that crustal earthquakes are caused by sudden displacement along faults, which rely on two primary conditions. One is that the fault has a high degree of synergism, so that once the stress threshold is reached, fault segments can be connected rapidly to facilitate fast slip of longer fault sections. The other is sufficient strain is accumulated at some portions of the fault which can overcome resistance to slip of the high-strength portions of the fault. Investigations to such processes would help explore how to detect short-term and impending precursors prior to earthquakes. A simulation study on instability of a straight fault is conducted in the laboratory. From curves of stress variations, the stress state of the specimen is recognized and the meta-instability stage is identified. By comparison of the observational information from the press machine and physical parameters of the fields on the sample, this work reveals differences of temporal-spatial evolution processes of fault stress in the stages of stress deviating from linearity and meta-instability. The results show that due to interaction between distinct portions of the fault, their independent activities turn gradually into a synergetic activity, and the degree of such synergism is an indicator for the stress state of the fault. This synergetic process of fault activity includes three stages: generation of strain release patches, expansion and increase of strain release patches, and connection between strain release segments. The first stage begins when the stress curve deviates from linearity, different strain variations occur at every portions of the fault, resulting in isolated areas of stress release and strain accumulation. The second stage is associated with quasi-static instability of the early meta-instability when isolated strain release areas of the fault increase and stable expansion proceeds. And the third stage corresponds to the late meta-instability, i.e. quasi-dynamic instability as both the expansion of strain release areas and rise of strain level of strain accumulation areas are accelerated. The synergism is accelerated when the quasi-static expansion transforms into quasi-dynamic expansion, with interaction between fault segments as its mechanism. The essence of such transform lies in that the expansion mechanism has changed, i.e. expansion of isolated fault segments changes into connection of these segments under interaction when the fault enters the critical state of the potential earthquake. Based on these experimental results, coupled with temporal-spatial evolution of earthquakes along the Laohushan-Maomaoshan fault, west of the Haiyuan fault zone in northwestern China, this work analyzed the synergism process of this fault before the 6 June 2000 M6.2 earthquake.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСРЕДЫ КАК НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

П.В. Макаров

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

В работе представлен анализ экспериментальных данных по изучению особенностей формирования очагов разрушения в горных породах и геосредах и установлению типичных сценариев эволюции НДС при их разрушении. Проанализированы также особенности эволюционных сценариев сейсмических процессов. Все эти эксперименты однозначно свидетельствуют, что все нагружаемые твердые тела и геосреды являются типичными нелинейными многомасштабными динамическими системами, а сценарии эволюции НДС демонстрируют все характерные черты эволюционных сценариев, открытых нелинейной динамикой. Наиболее характерными чертами сценариев эволюции очага разрушения являются стадии динамического хаоса, самоорганизованной критичности и глобальной потери устойчивости системой при формировании в нагружаемой среде магистральной трещины (разлома) на заключительной катастрофической стадии разрушения.

Обсуждается общая постановка задачи описания процессов деформации и разрушения как задачи эволюционной. Показано, что одним из ключевых положений такой постановки является корректное задание обратных связей, регулирующих развитие деформационного процесса: 1) отрицательной обратной связи, стабилизирующей деформационный процесс и отвечающей состоянию динамического равновесия, которое определяется условиями нагружения и свойствами среды; 2) положительной обратной связи, дестабилизирующей его на заключительной катастрофической стадии в сверхбыстром автокаталитическом режиме.

Приведены результаты численного моделирования деформационных процессов в нагружаемых модельных образцах горных пород и в геосредах под действием сил тяжести и тектонических напряжений. Описаны особенности формирования разломов в элементах земной коры в зависимости от вида их нагружения. Проведен статистический анализ флуктуаций параметров НДС от среднего тренда с целью как установления характерных черт эволюционных сценариев, так и выявления предвестников перехода процесса разрушения в сверхбыструю катастрофическую стадию.

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННЫХ СЕАНСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ (АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ) ОБРАЗЦОВ МРАМОРА

В.А. Мубассарова¹, Л.М. Богомолов², А.С. Закупин¹

¹ Научная станция РАН, Бишкек, Киргизия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Исследование влияния внешних электромагнитных (ЭМ) полей в лабораторных условиях на нагруженные образцы горных пород в настоящее время не потеряло своей актуальности. В работах (обзор в [Богомолов и др., 2011]) было показано, что активность акустической эмиссии (АЭ), обусловленная воздействием электромагнитного поля, проявляется при значениях осевого сжимающего напряжения выше 0.8 от разрушения. Последующие работы [Zakupin et al., 2012, 2012a] продемонстрировали влияние электромагнитных полей (в дополнение к реакции материала в акустической эмиссии) на объемную деформацию мраморных образцов. По результатам испытаний также было отмечено, что для серий образцов, изготовленных из пород одних и тех же месторождений, достигается лучшая воспроизводимость характеристики нагружения (σ – ϵ характеристики) при одноосном сжатии, что увеличивает достоверность выявления откликов среды как в акустической эмиссии, так и в деформации. В данной работе представлены результаты серии экспериментов на одноосное сжатие образцов мрамора в режиме с постоянной заданной скоростью увеличения усилия 2 кН/час. В процессе деформирования и разрушения образцов в дополнение к записи волновых форм сигналов акустической эмиссии регистрировались значения трех компонент деформации и действующей на образец нагрузки. В течение экспериментов дополнительно к упругому (одноосному) сжатию на образцы действовало ЭМ поле в виде сеансов воздействия, длительностью 1 час каждый и интервалом/шагом подачи воздействия 7.85 кН. Были получены следующие результаты. Установлены характер зависимостей активности АЭ и деформации, максимальные значения деформации и предел прочности, выявлены стадия линейного деформационного упрочнения и стадия нелинейного деформирования, предшествующая разрушению, рассчитаны упругие модули. В экспериментах с воздействием ЭМ поля показано, что на стадии линейного деформационного упрочнения ЭМ поле в 61 % сеансов воздействия вызывает изменения скорости продольной деформации более чем на 10 %. Данное значение превышает усредненную величину изменения продольной деформации в серии экспериментов, когда образцы не подвергались действию ЭМ поля. Подобные изменения, стимулированные ЭМ воздействием, могут быть как положительной динамики, так и отрицательной и сопровождаться небольшими откликами акустической эмиссии. На стадии нелинейного деформирования продемонстрировано, что ЭМ поле способствует увеличению скорости и продольной и поперечной деформации более чем на 20 %. При этом изменениям деформации могут сопутствовать значительные (лавинообразные) приросты акустоэмиссионной активности.

ЛИТЕРАТУРА

- Богомолов Л.М., Закупин А.С., Сычев В.Н. Электровоздействия на земную кору и вариации слабой сейсмичности. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 408 с.
- Zakupin A., Bogomolov L., Mubassarova V. et al. Acoustic emission and electromagnetic effects in loaded rocks // Acoustic emission / Ed. W. Sikorski. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. P. 173–198.
- Zakupin A.S., Mubassarova V.A., Borovsky B.V., Kachesova G.S. Electromagnetic effects in loaded marble // Fracture mechanics for durability, reliability and safety. Kazan: Esis, 2012a. P. 107–114.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

А.Ю. Перышкин¹, П.В. Макаров^{1,2}, М.О. Еремин^{1,2}

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

В работе представлены тестовые расчеты современных тектонических течений в Центральной и Юго-Восточной Азии, включая Байкальскую рифтовую зону и Курайско-Чуйский регион. Проведены также тестовые расчеты сейсмических событий в этих областях. Расчетные сейсмические события соответствуют закону повторяемости сейсмических событий Гутенберга-Рихтера. Нагружаемая геосреда рассматривается как многомасштабная нелинейная динамическая система.

В качестве структурной модели была принята современная карта зонно-блоковой делимости Центральной и Восточной Азии, составленная К.Ж. Семинским [2008]. Согласно выводам работы [Добрецов и др., 2001], коллизия Индийской и Евразийской плит определяет характер деформационных процессов в Центральной и Восточной Азии. Для моделирования этого процесса принципиальным является то, что в результате субмеридионального сжатия коры в исследуемом регионе сформировалось два типа неотектонических единиц – жесткие домены (микроплиты, например Тарим, Джунгарская впадина и т.д.) и податливые зоны милонитизации коры с различной степенью дробления (например Большой Алтай), обрамляющие жесткие домены [Семинский, 2008]. В численных экспериментах относительные значения прочностных параметров жестких блоков по отношению к податливым зонам характеризуются параметром δ , который варьировался в пределах $\delta=1.1–1.8$ для различных групп элементов зонно-блоковой делимости. Поле смещений, вычисленное относительно г. Иркутска, демонстрирует глобальную схему тектонического течения в Центральной Азии. Ярко выражен поворот Амурской плиты, а в области Байкальского рифта наблюдается глобальный сдвиг с растяжением. Расчетное тектоническое течение находится в хорошем согласии с данными наблюдений о характере смещений элементов земной коры в Центральном-Азиатском регионе.

Расчетный тектонический рельеф для части Горного Алтая также качественно соответствует реальному. Отличия реального рельефа от расчетного обусловлены в основном действием эрозионных процессов и сформировавшимися в результате речными долинами. На картинах расчетного рельефа хорошо прослеживаются общие поднятия поверхности, включая жесткий Чаган-Узунский блок, Чуйский и Курайский хребты, а также области опускания поверхности – Чуйская и Курайская впадины. Сравнение пространственной локализации расчетных сейсмических событий с соответствующими наблюдениями свидетельствует об адекватности структурной модели Центральной и Юго-Восточной Азии, а также о верно выбранных условиях нагружения. В представленных расчетах необходимым оказалось учесть также давление Аравийской плиты в субмеридиональном направлении. В целом, расчеты, воспроизводящие тектонические течения и сопровождающий их сейсмический процесс в модельной геосреде, на основе развиваемого эволюционного подхода [Макаров, 2008] показали, что смоделированный деформационный процесс развивается в полном соответствии с эволюционными сценариями нелинейной динамики.

ЛИТЕРАТУРА

- Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. 2-е изд., доп. и перераб. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.
- Макаров П.В. Математическая теория эволюции нагружаемых твердых тел и сред // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, № 3. С. 19–35.
- Семинский К.Ж. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 10. С. 1018–1030.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НЕРОВНОСТЕЙ В РАЗЛОМАХ *

В.В. Ружич, Е.Н. Черных, Е.И. Пономарева

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Большинство сильных коровых землетрясений генетически связано с деформационными динамическими явлениями в зонах тектонических разломов. Однако механизмы возникновения очагов землетрясений остаются недостаточно изученными из-за сложности проведения прямых измерений параметров глубинных геомеханических процессов в сейсмофокальных областях. При интерпретации сейсмических данных остаются невыясненными многие вопросы, связанные с повышением точности прогноза землетрясений. Для дальнейшего решения поставленных вопросов становится актуальным применение новых видов экспериментов в натурных геологических условиях с большей степенью масштабного и геомеханического подобия. Заметим, что существующие на сегодня модели очагов землетрясений были созданы сейсмологами, физиками и механиками еще в 60–70-е годы прошлого века на основе лабораторных экспериментов с использованием небольших образцов горных пород или других материалов.

Авторами в 2012–2013 гг. проведена серия натурных экспериментов с применением созданного испытательного стенда «Трибо», представленного в виде перемещаемой плиты, рассматриваемой как искусственное аллохтонное крыло на шероховатой плоскости сегмента Ангарского разлома в Прибайкалье. Фиксируемые эффекты контактного взаимодействия неровностей в зоне скольжения изучались с применением высокоточной деформометрической и динамометрической аппаратуры, а также четырех сейсмических станций «Байкал-7HR», широко используемых для регистрации землетрясений. Изучалось влияние ударных воздействий на параметры сейсмических колебаний от возникающих источников сейсмических импульсов в процессе меняющегося фрикционного трения. Указанный способ физического моделирования и полученные данные представляют интерес для разработки новых физических моделей формирования разномасштабных очагов сейсмической диссипации в тектонических разломах. На основании полученных материалов предложено экспериментально обоснованное физическое объяснение механизма возникновения сейсмического цикла при подготовке значимого сейсмического события, состоящего из таких известных эффектов, как сейсмическая «брешь» и «затишье», форшоковая, шоковая и афтершоковая активность. Во многих случаях они могут быть объяснены механизмом многоактного разрушения крупных неровностей в зонах долгоживущих тектонических разломов. С этих позиций объясняется многократно фиксируемое проявление сейсмических активизаций примерно в одних и тех же сегментах зон разломов на протяжении многих сотен или тысяч лет. Полученные при рассмотренном способе моделирования сведения могут быть полезными для интерпретации сейсмологических данных, а также для различных видов прогноза землетрясений или горных ударов. Их можно использовать при разработке новых создаваемых моделей очагов землетрясений, более адаптированных к реальным физико-механическим условиям, существующим в зонах сейсмогенерирующих разломов.

* Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕКТНИКА НА СЛУЖБЕ ПОИСКА И ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

М.К. Турапов¹, Х.А. Акбаров¹, Н.Ю. Дулабова², Б.О. Жанибеков¹

¹ Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан

² Государственный комитет по геологии и минеральным ресурсам, Ташкент, Узбекистан

Методы экспериментальной тектоники для целей изучения закономерностей формирования гидротермальных месторождений Средней Азии начали применяться в конце 70-х годов XX в. Эти исследования осуществлялись в лаборатории моделирования структур рудных полей и месторождений САИГИМС (ныне ГП «НИИМР»). К этому времени в институте велись исследования по изучению геологии, минералогии рудных месторождений, закономерностей их формирования и условий размещения оруденения. Появились первые классификации структурных типов рудных полей Средней Азии, и была разработана методика количественного прогнозирования с составлением прогнозной карты, основу которой составлял геолого-структурный анализ условий размещения оруденения.

Использование методов тектонофизических исследований в этих условиях позволило расширить диапазон познания формирования месторождений полезных ископаемых и условий размещения оруденения в их пространстве.

Экспериментальным работам по моделированию полей напряжений в структурах площадей проявления оруденения были подвергнуты эталонные объекты складчатого, разрывного, контактового и сложного структурных типов рудных полей и месторождений Тянь-Шаня. По результатам этих исследований были разработаны принципы моделирования структур рудных полей и месторождений Тянь-Шаня и методика прогнозирования оруденения с выделением перспективных площадей.

В начале 90-х годов XX столетия начали развиваться исследования в области создания многофакторных моделей месторождений с целью разработки эффективных методов поисков, разведки и геолого-экономической оценки. В рамках этих исследований проведены работы по созданию многофакторных моделей, в том числе и тектонофизических, золоторудных месторождений Чаткало-Кураминского региона. Создание тектонофизических моделей послужило основой прогнозирования скрытых руд на флангах и глубоких горизонтах золоторудных месторождений. Проведенные работы по моделированию тектонических напряжений в структурах регионов, рудных районов, рудных полей и месторождений в комплексе с геолого-структурными исследованиями позволили установить, что характер напряженности и распределение напряжений связаны с разрывной тектоникой и блоковым строением изучаемых объектов.

Проведенные тектонофизические исследования моделей структур Чадакского рудного поля, его месторождений и рудопроявлений позволили установить, что его рудоконтролирующий структурный каркас (Гузаксайский грабен) образован региональной деформацией под воздействием субмеридиональных усилий сжатия. Главной структурой, контролировавшей формирование месторождения Гузаксай и рудных участков Мазар, Бометсай, Каракутан и др., явился Гузаксайский грабен, а именно его граничные и внутренние структуры, которые под действием горизонтальных усилий сжатия тектонически ослабли, приоткрылись, что явилось благоприятным условием локализации в полостях приоткрывания жилообразных рудных тел.

Исчерпание лимита поверхностных и близповерхностных месторождений полезных ископаемых создало проблему в расширении минерально-сырьевой базы республики. В связи с этим исследования были направлены на изучение закрытых территорий Центральных Кызылкумов, а также в обрамлении выходов палеозойского фундамента (горы Тамдытау, Букантау, Бельтау, Ауминзатау) до глубины 300 м. Комплексное использование геолого-структурных, геофизических, аэрокосмических и тектонофизических исследований позволило в пределах закрытых территорий региона выделить тектонофизические позиции, благоприятные для обнаружения новых промышленных объектов. Выделенные позиции включены в кадастр Госкомгеологии РУз для инвестиционных проектов.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДРЕВНИХ ОБЛАСТЕЙ РАЗРЯДКИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

В.Т. Филатова

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Работа выполнена с использованием методов численного моделирования для объяснения динамики становления системы деформационно-магматических структур северо-востока Балтийского щита в период 3.0–1.6 млрд лет назад. Были построены количественные модели напряженно-деформированного состояния земной коры региона с учетом ее эволюционного развития, определены структуры, благоприятствующие подъему мантийных магм и выявлена взаимосвязь локализации глубинных разломов (областей активизации) и напряженно-деформированного состояния коры, обусловленного действием региональных тангенциальных напряжений. Северо-восточная часть Балтийского щита на весь период геологической истории представляла собой неоднородное упругое тело, подверженное действию объемных сил и заданных напряжений на его границе. Область состоит из нескольких конечных подобластей, каждая из них считается однородно изотропной и линейно-упругой с линейно-упругими постоянными. При численном решении данной краевой задачи в напряжениях использовался метод граничных элементов. Были рассмотрены три временных этапа развития Кольского региона (мезоархей, неоархей, палеопротерозой), и на каждом этапе задавалась определенная базовая модель, описывающая исследуемую область с учетом сформировавшихся к тому времени геологических структур и существующего на тот период геотектонического режима. Для каждой базовой модели были рассчитаны максимальные по абсолютному значению скалывающие напряжения, и области, отмеченные аномальными значениями, рассматривались как ослабленные зоны в фундаменте, предопределившие локализацию магматических процессов в регионе.

По аномальным значениям скалывающих напряжений были выделены ослабленные зоны региона, которые имеют вид поясовых структур и коррелируются как с областями распространения базит-гипербазитовых интрузий, так и с зонами тектонических нарушений в Кольском регионе. Все главные магмовыводящие структуры региона отмечаются аномальными значениями скалывающих напряжений, и прослеживается унаследованность положения магмопроводящих структур от архея до раннего протерозоя, а в некоторых случаях – от раннего протерозоя до палеозоя. На активных этапах развития древней коры заложение глубинных разломов (областей активизации) могло иметь место именно в ослабленных зонах, контролирующих размещение рудных поясов. Следовательно, предрасположенность к локализации линейных и очаговых зон повышенной проницаемости земной коры северо-востока Балтийского щита возникла уже в архее. Сформировавшиеся в коре региона мобильно-проницаемые зоны можно рассматривать как каркасные тектоногены – линейные деформационно-магматические структуры. Выявленные структуры как каркасные тектоногены являлись областями разрядки напряжений в коре, вдоль которых в течение каждого тектонического цикла шла перестройка коры, ее качественное изменение, имели различие в возрасте формирования, а некоторые развивались наследованно. В итоге древние архейские блоки региона прошиваются системой каркасных тектоногенов, контролирующих локальное накопление энергии и приводящих к резкой активизации тектонических, термических и магматических процессов. Следовательно, развитие мобильно-проницаемых зон обусловлено не только влиянием глубинных подвижных зон, уходящих корнями в мантию, но и напряженно-деформированным состоянием земной коры, подверженной воздействию внешних тектонических сил.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА В СДВИГОВОЙ ЗОНЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.С. Черемных

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Предыдущие исследования [Черемных, 2013] показали, что при проведении физического эксперимента на формирование рельефа сдвиговой разломной зоны в различной степени влияют вязкость пасты, скорость деформирования и толщина модели. Изменение в серии опытов первых двух параметров показало их устойчивую связь с амплитудой рельефа и вертикальными перемещениями по разрывам, что отражалось в характере распределения градиента вертикальных движений. Целью данной работы было изучение влияния толщины модели на формирование рельефа и амплитуду вертикальных перемещений по разрывам в сдвиговой зоне. Для этого была проведена дополнительная серия экспериментов.

Эксперименты проводились на специальной установке «Разлом», предназначенной для моделирования различных тектонических структур. В качестве модельного материала использовалась однородная глинистая паста, удовлетворяющая основным критериям подобия при таких экспериментах [Шерман и др., 1983]. Модель состояла из одного слоя глинистой пасты и размещалась в прямоугольных в плане рамках 130×25 см. Вязкость и скорость деформирования были неизменны для каждого эксперимента и равнялись $6.17 \cdot 10^6$ Па·с и 0.5 мм/мин, соответственно. При анализе сравнивался рельеф экспериментальных моделей с толщиной 5, 8.5 и 11 см. Деформирование происходило до стадии полного разрушения модели [Семинский, 2003], т.е. до формирования в разломной зоне магистрального сместителя. Следует отметить, что время до формирования магистрального сместителя отличалось. Чем меньше толщина модели, тем быстрее происходит разрушение модели и формирование структуры сдвиговой разломной зоны [Шерман и др., 1983]. Построение цифровой модели рельефа и ее анализ выполнялись по изложенной ранее методике [Черемных, 2013].

В результате работы были получены следующие выводы, которые в первом приближении могут быть справедливы и для природных сдвиговых зон.

1. Высота рельефа и амплитуда вертикальных движений практически не зависят от толщины деформируемого слоя, что имеет отражение в величине относительных превышений рельефа над уровнем первоначальной модели и в средней величине градиента вертикальных движений.

2. Образование рельефа модели происходит преимущественно за счет формирования магистрального сместителя сдвиговой разломной зоны, что подтверждается ростом истинной ширины сдвиговой зоны [Черемных, 2013] относительно ширины зоны по градиенту вертикальных движений при увеличении толщины экспериментальной модели.

ЛИТЕРАТУРА

- Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. 244 с.
- Черемных А.С. Особенности построения и анализа цифровых моделей рельефа сдвиговой разломной зоны на основе данных физического эксперимента // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXV Всероссийской молодежной конференции. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. С. 106–108.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 112 с.

4

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЕ ЛИТОСФЕРЫ

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ГЛУБИНОЙ ПЛОТНОСТНОЙ ГРАНИЦЫ РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ)

Н.К. Гайдай^{1,2}

¹ Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия

² Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

Неоднородности различной природы, определяющие особенности глубинной структуры любой территории, являются одним из определяющих факторов ее сейсмической активности. Увеличение детальности трехмерных плотностных моделей земной коры позволяет на количественной основе исследовать закономерности распределения гипоцентров землетрясений.

В данной работе представлены результаты исследования распределения гипоцентров землетрясений в земной коре южной части зоны сочленения Аян-Юряхского антиклинория и Иньяли-Дебинского синклинория (62° – 63° с.ш. и 148° – 152° в.д., общая площадь 23.3 км^2). Земная кора представлена разнообразными образованиями широкого возрастного диапазона с преобладанием юрских отложений [Геологическая карта, 1999]. Здесь широко распространены интрузивные и субвулканические образования (преимущественно в виде крупных гранитоидных массивов).

За период с 1968 по 2013 г. зарегистрировано 252 землетрясения с энергетическим классом от 5.6 до 13.0 [Шарафутдинов, Малиновский, 2011] (землетрясения с меньшим энергетическим классом не учитывались). Для 70 землетрясений имеется информация о глубине гипоцентров, 66 % из которых зафиксированы до 10 км.

Определен рельеф плотностной границы расслоения в земной коре, разделяющий ее на две области: верхнюю часть, в которой наблюдается изменение плотности в горизонтальном направлении при переходе от одного блока к другому, и нижнюю, в которой отсутствуют различия в плотности соседних блоков.

Анализ распределения гипоцентров показывает, что подавляющая их часть находится в областях с резким изменением рельефа плотностной границы. Причинами формирования такого рельефа могло быть, в частности, тектоническое движение отдельных блоков земной коры или локальный повышенный тепловой поток, породивший фазовые переходы вещества. Последующее изменение положения плотностной границы в пространстве могло послужить причиной возникновения механического напряжения, сопровождающегося дальнейшей разрядкой энергии в виде землетрясения. 74 % гипоцентров располагаются выше установленной плотностной границы. Возможно, повышенный тепловой поток, ставший причиной образования плотностной границы, способствовал переводу вещества, находящегося ниже нее, в более пластичное состояние, препятствующее накоплению механической энергии. Энергетический класс всех землетрясений с гипоцентрами, расположенными ниже плотностной границы, не превышает 9 – пластическое состояние вещества на данных глубинах препятствует накоплению энергии и разрядке ее в виде мощных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. Масштаб 1:500000. Объяснительная записка в 4-х книгах. Кн. 1. Геологическое описание. Полезные ископаемые, минерагеническое районирование и прогнозная оценка территории / Под ред. Г.М. Сосунова. Магадан: ГП «Магадангеология», 1999. 181 с.

Шарафутдинов В.М., Малиновский С.Б. Геоинформационная система «Сейсмичность Магаданской области». Свидетельство о государственной регистрации Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011615022 от 24.06.2011.

ПАРАМЕТРЫ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В РАЙОНЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011–2012 ГГ.

В.И. Герман¹, А.А. Добрынина², В.В. Чечельницкий³

¹ ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», Красноярск, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

³ Байкальский филиал ГС СО РАН, Иркутск, Россия

В районе хребта Академика Обручева на территории Республики Тыва в 2011–2012 гг. произошло два парных сильных землетрясения, имеющих малое удаление друг от друга и близкие значения магнитуд. Они получили название Тувинских землетрясений. Первое из них – Тувинское-I землетрясение с магнитудой $MS=6.6$ – зафиксировано 27.12.2011 г. в 15:21:55 UT на расстоянии 95 км к северо-востоку от г. Кызыла. Спустя два месяца 26.02.2012 г. в 06:17:16 UT в 20 км к северо-востоку от него было зарегистрировано Тувинское-II землетрясение с $MS=6.7$.

Сила Тувинских землетрясений, а также сопровождающий их мощный афтершоковый процесс (около 50 афтершоков имели магнитуду 4.0 и выше) позволили изучить снижение интенсивности сотрясений с удалением от их гипоцентров, а также затухание кода-волн с определением его параметров и добротности геологической среды.

Анализ собранных данных по макросейсмическим проявлениям Тувинских землетрясений показал, что они достаточно хорошо могут быть описаны на основе использования формулы Н.В. Шебакина со средними коэффициентами. Для Тувинского-I землетрясения около 2/3 наблюдаемых интенсивностей отличаются от расчетных значений не более чем на 0.5 балла. В случае Тувинского-II землетрясения соответствующая доля составляет около 85 %.

На основе анализа кода-волн 28 землетрясений с магнитудой 4.0 и выше из Тувинской афтершоковой последовательности была выполнена предварительная оценка параметров затухания сейсмических волн в районе Саяно-Тувинской горной области. Использовались записи с сейсмостанций Тиберкуль (TBRР), Аршан (ARS), Орлик (ORL), Монды (MOY), Закаменск (ZAK), Талая (TLY), среднее удаление которых от эпицентров землетрясений составило 390 км.

Результаты расчетов показывают, что для района Тувинских землетрясений значения частотного параметра n лежат в диапазоне 0.63–1.21. В целом же область характеризуется значением $n=0.72$. Полученные для Саяно-Тувинской горной области значения частотного параметра характерны для высокоактивных и тектонически раздробленных районов. Полученные оценки параметра n хорошо согласуются с аналогичными определениями, установленными ранее для юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы, где n варьируется от 0.84 до 0.97.

Дополнительно была получена функциональная зависимость добротности от частоты для разных глубин формирования коды. Установлено увеличение добротности с глубиной, что объясняется уменьшением неоднородности среды по мере удаления от поверхности.

Результаты работы рекомендуется использовать для получения оценок интенсивности в населенных пунктах сразу после определения пространственного положения землетрясения и его магнитуды в рассматриваемом районе, для расчета искусственных сейсмограмм и решения других задач инженерной сейсмологии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-01097-а и 13-05-00158) и гранта Президента РФ (проект № МК-1171.2014.5).

МЕГАСКОЛЫ РИДЕЛЯ R' И ТЕНДЕНЦИЯ К ГРАВИТАЦИОННОМУ РАВНОВЕСИЮ КАК ГЛАВНЫЕ ФАКТОРЫ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ *

М.А. Гончаров¹, **Е.А. Рогожин**^{1,2}, **Н.С. Фролова**¹, **П.Н. Рожин**¹, **В.С. Захаров**¹

¹ Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

Проведено обобщение и анализ литературы по формированию и эволюции сколов Риделя R и R' в обстановке сдвига (в механическом, а не геологическом смысле) в совокупности с их физическим и численным моделированием. Получил теоретическое подтверждение давно установленный факт преобладания сколов R над сколами R' в этой обстановке.

Проведен сбор, анализ и обобщение литературы по местоположению и кинематике сильных цунамигенных и нецунамигенных землетрясений [Рогожин, 2012]. Анализ очаговых параметров сильных землетрясений северо-западной части Тихого океана показывает, что высокомагнитудные землетрясения не всегда бывают цунамигенными. Цунами возникают в основном в связи с сильными землетрясениями, очаги которых характеризуются крутым падением плоскости сместителя в сторону океана и имеют взбросовый характер. Сильные межплитные землетрясения (плоскость сместителя очага совпадает с кровлей субдуцирующей плиты) порождают в худшем случае лишь небольшое цунами.

С позиций тектонофизики эти два типа очагов могут быть квалифицированы, соответственно, как сколы Риделя R' и R , формирующиеся в геодинамической обстановке субгоризонтального сдвига вдоль субгоризонтальной же плоскости; эта обстановка характерна для зон субдукции.

Как сказано выше, в обстановке сдвига преобладают сколы R . Однако особенность зоны субдукции заключается в том, что в ней наблюдается резкое нарушение гравитационного равновесия – отрицательная аномалия силы тяжести в области желоба и положительная аномалия в зоне дуги, что обусловлено самим процессом субдукции, который способствует поднятию островной дуги и углублению глубоководного желоба. Данные сравнительного анализа гравитационного поля и GPS на примере Японского цунамигенного землетрясения 2011 г. указывают на тенденцию к восстановлению гравитационного равновесия в виде опускания островной дуги и поднятию глубоководного желоба во время землетрясения, которое и способствует формированию мегаскола Риделя R' . Таким образом, фактор гравитационного равновесия и является вероятной первопричиной формирования очагов цунамигенных землетрясений.

Непосредственно само цунами возникает в результате резкого опускания поверхности океана при опускании дна вблизи островной дуги; это опускание сопровождается отступанием моря, которым любуются будущие жертвы на пляже. Одновременно происходит столь же резкое поднятие поверхности океана за счет поднятия дна вблизи желоба. В результате вода устремляется в виде цунами из области поднятия ее уровня в область опускания уровня, сметая все на своем пути. Это также является восстановлением гравитационного равновесия, но в гораздо более подвижной среде.

Рекомендацией по прогнозу цунамигенных землетрясений, в соответствии с выводами авторов, может являться непрерывный мониторинг высокоточных и высокочастотных измерений GPS и гравитационного поля для выявления намечающейся тенденции к инверсии тектонических движений и гравитационных аномалий в «тектонопарах» островная дуга – глубоководный желоб.

ЛИТЕРАТУРА

Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012. 339 с.

* Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРИОДОВ ФОНОВОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

И.Л. Гуфельд, О.Н. Новоселов

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия
Московский государственный университет леса, Москва, Россия

Проблемы физики сильных сейсмических явлений и их прогноза оказываются существенно сложнее, чем предполагалось многие десятилетия. Причины этого связаны с особенностями структуры геологической среды на различных масштабных уровнях и процессами в ней, которые в своей совокупности нельзя моделировать в лабораторных условиях. К тому же накоплен значительный объем данных, которые не могут быть интерпретированы в рамках механических представлений о разрушении среды и ее деструкции. В основе авторских представлений лежит совокупность следующих данных: блоковая делимость среды, непрерывные движения блоков – реидное (объемное) течение среды, процессы взаимодействия блоков как основы сейсмического процесса, деструкция среды за счет процессов взаимодействия восходящих потоков водорода и гелия с твердой фазой, аморфизация и текстурирование межблоковых структур.

Для мониторинга процессов в геологической среде необходим подбор специальных методов и методологии обработки данных. Один из методов мониторинга – измерение скоростей сейсмических волн, являющихся структурно чувствительными параметрами. При этом метод относится к интегральным и позволяет контролировать любой участок среды. Для анализа эволюции состояния различных систем мы используем класс разностных нелинейных уравнений, как правило, второго порядка. Такое уравнение в своих коэффициентах аккумулирует эффекты взаимодействия различных процессов со средой: массообмена, энергообмена, действие физических полей.

В качестве иллюстрации результатов новой методологии приведены особенности вариаций ОНС среды Камчатского региона, в том числе в период подготовки и протекания Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. В основе анализа лежат исследования особенностей колебательного режима объемно-напряженного состояния, контролирующих динамику движений в сейсмофокальной зоне Камчатки: устойчивое, неустойчивое и распадное состояния. Показан сложный характер колебательных движений, отражающих непрерывный процесс прохождения легких газов через сейсмофокальную зону Камчатки.

Для сейсмофокальной зоны Камчатки обосновывается модель сейсмического процесса, не связанная с непрерывным трещинообразованием и разрушением среды. Предложена модель бегущих деформационных волн, обусловленных действием структурных преобразований в среде. Реально мы имеем геологическую среду с распределенными локальными источниками энергии, возбуждаемыми неоднородным восходящим потоком водорода. Действие этих источников может быть пространственно синхронизировано или рассинхронизировано этим же потоком. Переход от рассинхронизированных локальных состояний среды, свойственных фоновому периоду, к пространственно синхронизированным может быть условием проявления сильных сейсмических явлений. Мониторинг этих процессов представляет в настоящее время интерес для прогнозирования сейсмобезопасных периодов в сейсмофокальной зоне Камчатки и подобных областях. Мониторинг разломно-блоковых структур платформенных зон требует специального рассмотрения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН РАЗУПЛОТНЕНИЯ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ КОРЕННЫХ ОБНАЖЕНИЙ В ПРИБАЙКАЛЬЕ И ОЦЕНКА ИХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

В.И. Джурик, Е.В. Брыжак, С.П. Серебренников, А.Ю. Ескин, А.Н. Шагун

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

По результатам инженерно-сейсмологических работ определяются ослабленные зоны коренных пород и проводится оценка их сейсмической опасности в рамках реализации проекта «Реконструкция станции Слюдянка-2 Восточно-Сибирской железной дороги».

Работы заключались в определении зон относительного разуплотнения и трещиноватости коренных пород горы Шаманка и оценке ее однородности по геофизическим и сейсмическим параметрам. В пределах склона (обнажения коренных пород) были оценены относительные изменения геофизических параметров, параметров колебаний основания выемки и ее гребня и на этой основе выделены ослабленные участки и участки наиболее вероятного обрушения пород. Дана оценка относительных изменений вероятных сейсмических воздействий на участке горы Шаманка, включая участок расположения высоковольтной опоры (согласно СНиП II-7-81* [СНиП..., 2011]).

Дополнительно в перечень работ включены измерения скоростей ультразвука на образцах, расчетные методы (теоретические расчеты) и регистрация взрывов, которые позволяют оценить параметры относительных сейсмических воздействий на случай сильных землетрясений. Для этого был сформирован сейсмический сигнал, соответствующий по своим параметрам установленной исходной сейсмичности района [Джурик и др., 2012], и рассчитаны значения сейсмических ускорений, преобладающих периодов и резонансных частот. Регистрация взрывов дает наиболее важную информацию по сравнению с регистрацией микросейсм и данных записей сейсморазведкой импульсных возбуждений, поэтому им уделяется особое внимание, как и результатам теоретических расчетов [Оценка..., 1988].

Дана комплексная инженерно-сейсмологическая оценка зон относительного разуплотнения и трещиноватости коренных пород горы Шаманка и прогноз ожидаемых сейсмических воздействий на случай сильных землетрясений, соответствующих исходной сейсмичности района.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-05-00200-а и № 14-05-31359 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

- Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Брыжак Е.В., Ескин А.Ю. Методика формирования сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций (на примере г. Иркутска) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2012. Т. 5, № 2. С. 96–110.
- Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М.: Наука, 1988. 224 с.
- СНиП II-7-81* (Актуализированная редакция). Строительство в сейсмических районах. М.: Министерство регионального развития, 2011. 71 с.

ГЛУБИННЫЕ ВАРИАЦИИ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЗОНЕ ДЕСТРУКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Добрынина¹, В.А. Саньков¹, В.В. Чечельницкий²

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН, Иркутск, Россия

К настоящему времени получено достаточное количество данных о том, что под Байкальской рифтовой системой (БРС) не существует единой мантийной аномалии, что не позволяет считать более продуктивной гипотезу пассивного рифтинга при объяснении формирования этой структуры. Это позволяет предполагать, что растяжение инициирует постепенные изменения свойств по всему разрезу литосферы, выражающиеся в появлении локальных аномалий, выраженных, в частности, в глубинных вариациях затухания сейсмических волн.

Нами исследуются особенности затухания кода-волн в литосфере северо-восточного фланга БРС. По кода-волнам сильных и умеренных локальных землетрясений (эпицентральные расстояния до 50 км) методами огибающей сейсмической коды и скользящего окна построены глубинные разрезы сейсмической добротности Q_c для одиннадцати локальных областей рассматриваемого региона. Для анализа глубинных вариаций затухания использовались значения добротности на частоте 1 Гц, так как на этих частотах лучше всего проявляется неоднородность поля затухания [Копничев, 1992]. На глубинном разрезе Q_c наблюдаются достаточно сильные вариации добротности (от 50 до 170), при этом отмечается неравномерное изменение величины Q_c с глубиной – наблюдается чередование слоев с повышенным и пониженным затуханием. Это явление может быть объяснено влиянием скоростных границ в литосфере. В частности, практически на всех одиннадцати профилях выделяется переходная зона на глубине примерно 100 км. В то же время анализ скоростных аномалий продольных волн, полученных по результатам телесеismicкой 2D-томографии вдоль БРС [Мордвинова, 2009], показывает, что под многими структурами рифтовой системы на глубине 100 км также прослеживается скоростная граница. Сопоставление полученных разрезов Q_c с одномерными профилями скоростей S-волн [Ананьин и др., 2009] показывает, что изменения значений добротности приурочены к скоростным границам среды, причем для областей с повышенными скоростями сейсмических волн также характерны повышенные значения Q_c и наоборот.

Многослойная модель сейсмической добротности литосферы северо-восточного фланга БРС с чередованием слоев с повышенным и пониженным затуханием совместно с аналогичными результатами, полученными ранее для юго-западного фланга [Копничев, 1992] и отсутствие единой крупной аномалии в поле затухания сейсмических волн могут являться свидетельствами пассивного механизма формирования рифтовой системы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-01097) и гранта Президента РФ (проект № МК 1171.2014.5).

ЛИТЕРАТУРА

- Ананьин Л.В., Мордвинова В.В., Гоць М.Ф., Канао М., Суворов В.Д., Татьков Г.И., Тубанов Ц.А. Скоростное строение коры и верхней мантии Байкальской рифтовой зоны по долговременным наблюдениям широкополосных сейсмостанций // ДАН. 2009. Т. 428, № 2. С. 211–214.
- Копничев Ю.Ф. Новые данные о строении верхней мантии Байкальской рифтовой зоны // ДАН. 1992. Т. 325, № 5. С. 944–948.
- Мордвинова В.В. Строение земной коры и верхней мантии Центральной Азии по данным телесеismicких объемных волн: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. 35 с.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БЛОКАХ ЛИТОСФЕРЫ ОСТРОВА ИТУРУП (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

Т.К. Злобин, А.Ю. Полец

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Литосфера в целом и отдельные геологические структуры разбиты на блоки различной величины. Закономерность чередования размеров блоковых моделей земной коры впервые применил в сейсмологии и геодинамике академик М.А. Садовский [Садовский, Писаренко, 1989]. Помимо тектонических границ (разломов, тектонических нарушений) существуют геофизические основания для выделения на разной глубине в земной коре и мантии сейсмических разделов [Пушаровский, 2001]. Границы между блоками могут быть выделены по изменениям значений сейсмических скоростей, по сейсмическим данным на основе видимых смещений сейсмических границ, нарушений сплошности и непосредственно видимых на разрезах разломных зон. Положение таких границ, разделов и блоков подробно описано в работах Т.К. Злобина [Злобин и др., 2011; Злобин, 1987, 1989; и др.].

В настоящей работе показана делимость на блоки литосферы о. Итуруп и прилегающих акваторий, рассмотрены подвижки в этих блоках и проявление в них сейсмических процессов, выразившихся в землетрясениях. По сейсмическим данным в литосфере были выявлены разломы и блоки. Движение блоков рассматривалось на основе изучения механизмов очагов землетрясений. Сейсмические процессы, выраженные в подвижках при землетрясениях, проявляются в блоках литосферы поразному. На большей части разреза имели место взбросовые подвижки. Однако в блоках верхнего слоя земной коры и в западной части подкоровой мантии отмечены сдвиговые и надвиго-поддвиговые перемещения. В земной коре сдвиговые, надвиговые и поддвиговые перемещения происходили в центральной части острова в двух блоках. По краям острова в земной коре сейсмические процессы проявлялись в виде сбросов. Сбросовые подвижки имели место также в западной части и в нижнем «базальтовом» слое коры. В верхней мантии землетрясения с подвижками типа сдвиги, поддвиги и надвиги были установлены в западной части острова на глубинах 60–80 км. Ниже клинообразно залегает область со сбросовыми подвижками. В остальной части мантии в основном преобладали взбросы.

ЛИТЕРАТУРА

- Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.
- Злобин Т.К. Строение земной коры в районе о. Итуруп по сейсмическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 3. С. 33–41.
- Злобин Т.К., Полец А.Ю., Поплавская Л.Н., Сафонов Д.А. Особенности современной глубинной сейсмотектоники литосферы Южных Курил (в районе о-ва Итуруп) по механизмам очагов землетрясений // Вестник ДВО. 2011. № 3. С. 35–40.
- Пушаровский Ю.М. Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. 520 с.
- Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Дискретные иерархические модели геофизической среды // Комплексные исследования по физике Земли: ИФЗ – 60 лет. М.: Наука, 1989. С. 9–26.

УТОЧНЕНИЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СТРАТЕГИЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ КООРДИНАТ МЕТЕОРИТНОЙ МИШЕНИ

В.Л. Ильченко

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Приливы на Земле подчиняются лунному календарю; гравитационное поле Солнечной системы – результат взаимодействия всех массивных тел в ее составе; гравитационные «струны» образуют сложную плоскую «паутину» с переменной геометрией, вариациями расстояний между телами и изменением сил взаимного притяжения. Гравитационный импульс Луны вызывает возмущение в строго определенном объеме земных пород, т.е. Луна – это «антенна-ретранслятор»: принимает энергетические импульсы от всех массивных объектов Солнечной системы и модулирует (калибрует) отправляемый на Землю заряд энергии. Луна предохраняет часть поверхности Земли, отклоняя астероиды и принимая удары на себя.

Ретроспективный прогноз методом А.А. Любушина для Великого Японского землетрясения ($M=9$) 11.03.2011 г. в р-не о. Хонсю имел поправку – «первые месяцы» [Левин и др., 2011]. Материал из этой работы использован в «новом ретропрогнозе». Для определения времени накопления энергии в породах очага землетрясения использована сейсмогенная энергетика и триггерность приливов, «точка отсчета» – предыдущее сильное событие ($M=8.3$) 25.09.2003 г. в этом районе. Между двумя событиями прошло 2725 суток, поскольку на Земле наблюдается два прилива в сутки, за которые она получила $2n = 5450$ «зарядов» упругой приливной энергии. Динамику сейсмического процесса описывает степенной закон Рихтера-Гутенберга, а степенные ряды используют в математической статистике случайных процессов [Горобец, 2013] и, поэтому можно использовать разложение числа приливов в степенной ряд: $k_n = 2^{2n}$: $5450 = 2^{2 \cdot 6} + 2^{2 \cdot 5} + 2^{2 \cdot 4} + 2^{2 \cdot 3} + 2^{2 \cdot 2} + 2^{2 \cdot 1} + 2^{2 \cdot 0} + (-12)$. Вывод из результата разложения («новый ретропрогноз»): событие 11.03.2011 г. случилось на 12 приливов (6 суток) раньше «предсказанного срока»; эта ошибка определяет порядок поправочного коэффициента $\pm \varphi$. Старший в степенном ряду член всегда больше суммы остальных членов этого ряда на 1 (вершина в «треугольнике Паскаля»). Любой член степенного ряда k_n служит старшим членом в других рядах, которые (в т.ч. $2^0=1$) также содержат эту единицу; их сумму используем в формуле поправочного коэффициента: $\pm \varphi_n = 2(n+1)$, где n – количество членов в ряду. Подставив значение $n = 7$, получим поправку $\pm \varphi_n = 16$ приливов (8 суток), близкую к «остатку» (12 приливов), что намного точнее поправки в прогнозе [Левин и др., 2011], причем по размеру поправки, по формуле $M = (\varphi_n + 2)/2$, можно оценить силу прогнозируемого события ($M=9.0$).

Взаимодействие массивных объектов (метеориты в т.ч.) происходит по принципу ЭГМ: область приливных возмущений эквивалентна массе их источника; ее радиус обратно пропорционален средней плотности. Радиус области возмущений от астероида можно вычислить по формуле: $r_{ov} = r_a \rho_a / \rho_{ze}$ (r_a, ρ_a – радиус и плотность астероида, ρ_{ze} – плотность земного грунта). Наблюдения за природой дают повод предполагать, что импульс атакующего астероида приходит в породы мишени заранее и активизирует их, вызывая типичные признаки подготовки землетрясения (форшоки). Излучаемый астероидом сигнал поступает на Луну с прочими, и его импульс будет незаметен в микросейсмическом шуме прилива на Земле до прохождения астероидом защитного экрана – гравитационного поля Луны (ее околоземная орбита). Затем импульс переключится с Луны на Землю и создаст в земной коре акустический всплеск, который для станций слежения – вне области возмущений от лунного прилива и на фоне «белого шума» – может показаться как «гром среди ясного неба» и, теоретически, поддается обнаружению.

Развитая сеть сейсмостанций может по микросейсмическому «трэку» определить азимут полета астероида и координаты мишени, а принцип ЭГМ позволит оценить масштаб возможной катастрофы, что, в целом, дает шанс для оповещения (и м.б. эвакуации) населения с опасной территории.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №14-05-00443.

ЛИТЕРАТУРА

- Горобец В.С. Теория вероятностей, математическая статистика и элементы случайных процессов: упрощенный курс. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 232 с.
Левин Б.В., Родкин М.В., Тихонов И.Н. Великое Японское землетрясение // Природа. 2011. № 10. С. 14–22.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ПЛОТНОСТНАЯ ГРАНИЦА РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА ЧЕРСКОГО

Л.Ю. Калинина, Н.К. Гайдай

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,
Магадан, Россия

В работе представлены результаты исследования связи сейсмической активности юго-восточного фланга сейсмического пояса Черского (район исследования ограничен координатами 61° – $63^{\circ}20'$ с.ш. и 147° – 150° в.д.) с выделенной методами новой интерпретационной гравиметрии (НИГ) [Гайдай, 2010] плотностной границей расслоения земной коры. Методы НИГ позволяют установить плотностные характеристики элементов земной коры. Результаты моделирования показывают, что их дифференциация по плотности наблюдается не по всему объему земной коры, а преимущественно только в ее верхних слоях. И лишь в зонах тектономагматической активизации, а также в зонах разрывных нарушений плотностные аномалии прослеживаются до глубин, превышающих иногда сотни километров. Таким образом, в земной коре существует плотностная граница расслоения, которая разделяет две области: в верхней наблюдается латеральное изменение плотности при переходе от одного блока к другому, в нижней отсутствуют различия в плотности соседних блоков, что свидетельствует об однородности вещества в данной области пространства.

Для исследования закономерности распределения сейсмичности относительно установленной плотностной границы расслоения в земной коре использовались методики, предложенные Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1979]. Для этого рассчитывались значения сейсмической активности A – плотности очагов землетрясений в данной пространственно-временной области, то есть их число, отнесенное к единице пространства, времени и приведенное к определенному энергетическому классу K землетрясений (в нашем случае $K=10$) [Брачун и др., 2013].

В качестве дополнительного показателя сейсмической активности использовалось удельное количество землетрясений δN , равное количеству землетрясений, отнесенному к единице площади.

Построенные схема изолиний сейсмической активности A_{10} и плотностной границы расслоения в земной коре и диаграмма зависимости удельного количества землетрясений δN от глубины погружения плотностной границы раздела в земной коре позволили сделать следующие выводы:

- зоны повышенной сейсмической активности, так же как и максимальное удельное количество землетрясений, в основном приурочены к районам с максимальной глубиной заложения плотностной границы расслоения в земной коре;
- эпицентр крупнейшего сейсмического события (Кулинское землетрясение 1972 г. магнитудой 5.6) тяготеет к району с максимальной глубиной заложения плотностной границы.

ЛИТЕРАТУРА

- Брачун Т.А., Калинина Л.Ю., Беспалов Д.А. SeismoAc- программа для расчета сейсмической активности в Магаданской области. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618006 от 28.08.2013.
- Гайдай Н.К. Новая интерпретационная гравиметрия. Понятия. Возможности. Перспективы использования // Вестник Северо-Восточного государственного университета. Спецвыпуск. 2010. № 13. С. 10–14.
- Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. М.: Наука, 1979. 192 с.

СООТНОШЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ И СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ БУСИЙНГОЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ НА ЮГО-ЗАПАДЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

А.В. Ключевский, В.М. Демьянович, А.А. Ключевская, Ф.Л. Зуев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Одной из основных задач статистического исследования сейсмичности является изучение особенностей группирования в разных сейсмических зонах различных по энергии землетрясений и создание моделей для описания систематической («фоновой») и случайной («наведенной») составляющих сейсмического процесса. Группирующиеся толчки, как и сильные землетрясения, характеризуют системные свойства сейсмогенеза и современной геодинамики в обобщенном виде и при соответствующем подходе могут быть надежно выделены. В отличие от единичных сейсмических событий, отражающих в целом стохастичность дискретного сейсмического процесса, группы толчков являются некоторого рода аномалией в пространственно-временном распределении землетрясений: они могут быть с высокой степенью вероятности выделены и проинтерпретированы как отдельные статистические ансамбли. Энергетические и количественные соотношения случайной и систематической составляющих сейсмичности могут быть использованы для оценки и характеристики локальных активизаций геофизической среды.

Оценки соотношения случайной и систематической составляющих сейсмичности выполнены нами для площадки с координатами $\varphi=51-52^\circ$ с.ш., $\lambda=98-99^\circ$ в.д. (юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны, район Бусийнгольской впадины). Эта площадка имеет высокие показатели по группированию землетрясений (афтершоки трех бусийнгольских землетрясений 1974, 1976 и 1991 гг.) и сложную пространственно-временную структуру группирования. В начальной выборке толчков, зарегистрированных в пределах этой площадки с 1966 по 2002 г. было 7421 землетрясение. На первом шаге декластеризации из выборки были удалены основные группы – афтершоки трех бусийнгольских землетрясений и роевые толчки (2000–2002 гг.), и в выборке осталось около двух тысяч землетрясений. В результате детальной поэтапной 4-шаговой декластеризации выборок данных в итоговых 8 массивах не осталось группирующихся толчков, а в каждом из полученных массивов оказалось примерно одинаковое количество толчков. В целом это указывает на однородность процедуры выделения групп толчков и стационарность систематической сейсмичности.

Всего на исследуемой территории выделено более пятидесяти групп с разным количеством толчков в кластере, каждой из которых приписаны временные пределы, координаты площадок и прочие идентификаторы. В конечной «очищенной» выборке данных оказалось 1034 землетрясения (систематическая составляющая сейсмичности), что составляет менее 15 % от первоначального объема выборки (7421). Отношение случайной (6387) и систематической (1034) составляющих сейсмичности равно $A \approx 6.2$, что позволяет охарактеризовать локальную активизацию среды как очень высокую, так как среднее значение активизации по Байкальскому региону равно $A \approx 0.3$. Анализ площадного распределения групп показывает, что группирующиеся толчки происходили почти на всей территории, как в очаговых зонах сильных землетрясений, так и вне этих зон. В пределах площадки в разной мере постоянно присутствует режим группирования толчков.

Представленные выше результаты показывают, как велико может быть количественное отношение случайной сейсмичности к систематической. Следовательно, параметры пространственно-временной и энергетической структуры сейсмичности будут существенно изменяться в зависимости от того, учитывается или нет случайная сейсмичность в ее оценках. Можно отметить, что, исходя из различной физической природы «фоновой» и «наведенной» сейсмичности, для корректного решения многих геофизических задач необходимо разделять случайную и систематическую сейсмичность.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПАМИРО-ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО РЕГИОНА

М.Е. Козина¹, О.А. Кучай², З.А. Кальметьева³

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Киргизия

Памиро-Тянь-Шаньский регион характеризуется как одна из высокоактивных сейсмических областей внутриконтинентальных орогенов. Появление в последние годы дополнительных материалов по данным механизмов очагов землетрясений позволило восстановить поле напряжений и сейсмотектонические деформации как всего района в целом, так и участков проявления афтершоковых последовательностей сильных землетрясений. Для восстановления современного поля напряжений использовался катакластический метод Ю.Л. Ребецкого (МКА) [Ребецкий, 2007], для реконструкции сейсмотектонических деформаций (СТД) – методика Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1985]. Использовался массив данных из 5830 землетрясений (1962–2005 гг. с $M \geq 2.8$), и при расчетах преимущество отдавалось параметрам механизмов сильных землетрясений, полученных в Гарвардском центре [GlobalCMT].

При анализе временного хода сейсмичности с 1962 по 2005 г. обнаруживается спад сейсмической активности после Суусамырского землетрясения 1992 г., поэтому были рассмотрены два временных периода: 1962–1992 гг. и 1993–2005 гг. По очагам событий с $M \geq 2.8$ наблюдается более хаотичная картина по азимутальному простиранию проекций главных осей СТД на горизонтальную поверхность, чем только по сильным событиям ($M \geq 4.5$). В то же время в первый период ориентация осей укорочения несколько отличается по обе стороны от 74-го меридиана, во второй период наблюдается большее отклонение от меридионального простирания. Памир, надвигаясь на Тянь-Шань, деформируется таким образом, что близгоризонтальное растяжение контролирует его контур на севере и западе по данным как коровых, так и глубоких землетрясений. Для внутренней части Памира растяжения ближе к субширотным. Близгоризонтальное положение осей укорочения восточной части незначительно изменяется от простирания их в западной.

Отличительной особенностью полей напряжений афтершоковых последовательностей землетрясений 1978 г. ($M=6.8$) и 2008 г. ($M=6.5$), зарегистрированных в районе Дарваз-Каракульского разлома, является наследование ими ориентации осей механизмов очагов главных событий в начальный период афтершоковой деятельности (8–10 дней). После этого происходит переориентация осей напряжений за счет повторных толчков.

ЛИТЕРАТУРА

Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 406 с.

Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.

GlobalCMT. <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.htm>.

ДЕФОРМАЦИИ ЗОНЫ КОНТАКТА ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ В РАЙОНЕ ОСТРОВА СУМАТРА

О.А. Кучай¹, Н.А. Бушенкова¹, А.А. Татаурова²

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Сильнейшее Суматранское землетрясение 26 декабря 2004 г. ($M=9.0$) способствовало появлению интересных статей как за рубежом [Vallee, 2007], так и в России [Ребецкий, Маринин, 2006; Шевченко и др., 2006]. После этого события произошел целый ряд значительных землетрясений в зоне острова Суматры, и возникла идея детально исследовать особенности сейсмотектонических деформаций (СТД) за счет землетрясений с $M>4.8$, произошедших за период с 1977 по 2012 г. [Catalog CMT]. Были рассмотрены СТД на разных глубинах: 0–35 км, 36–70 км, 70–105 км, 106–150 км и 150–300 км по методике [Ризниченко, 1985; Костров, 1975]. Определялись поля широтной, меридиональной и вертикальной компонент и коэффициент Лодэ-Надаи. Объемы земной коры в поле широтной компоненты СТД испытывают преимущественно деформации укорочения, при этом деформации удлинения проявляются в окраинных частях субмеридиональной зоны. Поле меридиональной компоненты деформаций характеризуется отрицательными значениями. Небольшие области положительных значений располагаются только в окраинных зонах. Особенностью поля вертикальной компоненты деформаций являются положительные значения; области с отрицательными значениями располагаются за пределами разлома, ограничивающего с запада и юго-запада Зондскую дугу, а также с восточной стороны Суматранского разлома. Из трех компонент наибольшие значения характерны для поля вертикальной компоненты.

В погружающейся плите на глубинах 70–105 км и 105–150 км объемы горных масс испытывают преимущественно широтные и вертикальные удлинения с меридиональным сокращением, на глубинах 150–300 км наблюдается широтное и меридиональное сокращение и вертикальное удлинение. Таким образом, на всех глубинах наиболее устойчиво ведет себя компонента вертикального удлинения СТД объемов горных масс.

На основе данных об эпицентрах сильнейших землетрясений, произошедших в западной части Зондской субдукционной дуги (зоне контакта Индийской и Евразийской плит), был рассмотрен вопрос о величине энергии максимального землетрясения, реализующегося в зоне контакта этих плит, в зависимости от угла между направлением горизонтального смещения Индийской плиты и простиранием зоны контакта. Предполагается, что землетрясения попадают в зону влияния контакта двух плит, если очаг удален от контакта не более чем на 100 км. Эта зона разделена на интервалы, в которых простирание разломов сохраняется постоянным. Так как землетрясения с $M=6$ происходят по всей выбранной территории, то использовались землетрясения с $M\geq 6$ (за 1977–2008 гг.). Было получено, что максимальная магнитуда коровых землетрясений, возникающих в зоне контакта плит, зависит от угла между горизонтальным смещением плиты и простиранием зоны контакта и является одним из дополнительных критериев определения предельной магнитуды в этом районе.

ЛИТЕРАТУРА

- Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 174 с.
- Ребецкий Ю.Л., Маринин А.Б. Напряженное состояние земной коры западного фланга Зондской субдукционной зоны перед Суматра-Андаманским землетрясением 26.12.2004 г. // ДАН. 2006. Т. 407, № 1. С. 106–110.
- Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
- Шевченко В.И., Лукк А.А., Прилепин М.Т. Суматранское землетрясение 26.12.2004 – проявление неплейттекtonического процесса в литосфере // Физика Земли. 2006. № 12. С. 55–76.
- Catalog CMT (1976–2007). <http://www.seismology.harvard.edu>.
- Vallee M. Rupture properties of the Giant Sumatra Earthquake imaged by empirical greens function analysis // Bulletin of the Seismological Society of America. 2007. V. 97, № 1A. P. S103–S114.

СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ МИГРАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ

Е.А. Левина, В.В. Ружич

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Для более углубленного изучения миграции эпицентральных полей сейсмической активизации усовершенствовано специальное программное обеспечение – разработанная ранее ГИС «Prediction» [Левина, Ружич, 2010; Ружич и др., 2010]. Любой район, где предполагается изучать сейсмомиграцию, рассматривается как ориентированная в любом направлении полоса заданной ширины, центральная линия которой задается координатами ее начальной и конечной точек. Выделившаяся в пределах такой полосы вся зарегистрированная сейсмическая энергия рассматривается в виде функции двух переменных:

$$E=f(r,t),$$

где r – расстояние от начальной точки вдоль центральной линии зоны, а t – время. Обе переменные изменяются дискретно с заданным шагом. Для дальнейшего анализа строится сечение полученной поверхности плоскостью $K=K_{\text{const}}$ (где K_{const} – заданное значение энергетического класса) и ее проекция на плоскость «расстояние–время». В результате получается пространственно-временная диаграмма. Для дальнейшего анализа этой и других аналогичных диаграмм использовалось сочетание кластерного и регрессионного анализа. Для совокупности точек, входящих в соответствующий кластер, строится линейная регрессия, по коэффициентам которой оцениваются такие параметры миграции, как скорость и периодичность. Полученные данные могут использоваться для оценок параметров деформационных волн в земной коре, инициирующих сейсмомиграционные явления в зонах разломов, и соответственно для идентификации возможной природы энергетических источников диссипации волновых деформаций.

Рассмотрены примеры применения указанного способа для изучения режимов миграции при сейсмотектоническом взаимодействии Байкальской рифтовой зоны с межплитными деструктивными областями: Индо-Евразийской коллизией и Западно-Тихоокеанским сегментом зоны Беньофа.

ЛИТЕРАТУРА

- Левина Е.А., Ружич В.В. Миграция землетрясений как проявление волновых деформаций твердой оболочки Земли // Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы Всероссийского семинара-совещания. М.: ГЕОС, 2010. С. 71–78.
- Ружич В.В., Левина Е.А., Терновская Т.А. Миграция эпицентров землетрясений в Байкальской рифтовой зоне и сопредельных регионах: методы изучения, механизмы и причины // Кайнозойский континентальный рифтогенез: Материалы Всероссийского симпозиума с международным участием. В 2-х томах. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. Т. 2. С. 91–97.

Т.В. Меркулова

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Понимание закономерностей достаточно сложной и во многом не ясной современной сейсмической активности крупных региональных разломов разного возраста Восточного Приамурья требует ранжирования их по количественному индексу сейсмичности. Методика количественной оценки сейсмической активности разломов была предложена С.И. Шерманом [Шерман, 2005]. Под количественным индексом сейсмичности разлома понимается число сейсмических событий определенных энергетических классов, приходящихся на единицу длины разлома при принятой ширине области его динамического влияния за заданный промежуток времени. Для расчета индекса сейсмической активности разломов Восточного Приамурья использованы землетрясения из каталога ИТиГ ДВО РАН с $K=8$ и более за период с 1970 по 2013 г. Выполнены расчеты для региональных разломов, установленных по работам [Тектоника..., 2004; Схема..., 2008]. Наиболее сейсмически активны (2.2038–0.5000) разломы субширотной ориентировки, разграничивающие Евроазиатскую и Амурскую плиты или проходящие близко к этой границе – Становой, Северо-Тукурингский, Южно-Тукурингский, Западно-Туранский, а также разлом северо-восточного направления Дунми. К разломам со средней сейсмической активностью (0.2862–0.2020) относятся в основном разломы северо-восточного направления Баладегский, Селемджинский, Ишу-Харпинский, Хинганский, Мельгинский и субширотный Тугурский разлом, менее сейсмически активны (0.1200–0.1589) Тастахский и Дукинский разломы. Практически сейсмически не активны (0.0893–0.0580) Курский, Куканский, Наолихэ, Центрально-Сихотэ-Алинский разломы.

На основе индекса сейсмической активности изучено пространственно-временное изменение сейсмической активности региональных разломов по периодам: 1970–1980, 1980–1990, 1990–2000, 2000–2012 и по каждому году. Большинство региональных разломов характеризовались наибольшей сейсмической активностью в 1990–2000 гг., за исключением Селемджинского, Дукинского, Дигдаланского, Буссе-Норской разломных зон, наибольшая сейсмическая активность которых имела место в 1980–1990 гг. Разлом Дунми характеризуется двумя пиками сейсмической активности – в 1970–1980 и 1990–2000 гг. На основе анализа индекса сейсмичности по годам выявлены как общие закономерности в активизации близкорасположенных разломов, так и их различия.

Кроме крупных региональных разломов исследована сейсмическая активность разломов северо-западного направления, выделенных по анализу рельефа [Уфимцев и др., 2009]. Коэффициент сейсмической активности разломов этого направления изменяется от 0.189 до 0.018.

ЛИТЕРАТУРА

- Схема геолого-структурного районирования Приамурья, Западного Приохотья, о. Сахалин. (1:3000000). Хабаровск: ФГУП «Дальгеофизика», 2008.
- Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / Отв. ред. Г.А. Шатков, А.С. Вольский. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 190 с.
- Уфимцев Г.Ф., Алексеев С.Н., Онухов Ф.С. Морфотектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 6. С. 81–93.
- Шерман С.И. Новые методы классификации сейсмоактивных разломов литосферы по индексу сейсмичности // ДАН. 2005. Т. 401, № 3. С. 395–398.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЯПОНИИ ПЕРЕД КАТАСТРОФИЧЕСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ТОХОКУ 11.03.2011 *

Ю.Л. Ребецкий¹, А.Ю. Полец²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

В работе представлены результаты тектонофизической реконструкции поля тектонических напряжений для северо-западного фланга Тихоокеанской сейсмофокальной области в районе подготовки очага землетрясения Тохoku 2011 г. Реконструкция опиралась на сейсмологические данные о механизмах очагов землетрясений в период, предшествовавший катастрофическому землетрясению. Поле напряжений, в котором формировался очаг землетрясения Тохoku, имело высокий уровень градиента вдоль погружения сейсмофокальной области. Установлено, что развитие очага этого землетрясения происходило в области сочленения участков коры с высоким и низким уровнем эффективного давления. На глубинах, близких к 30 км, присутствовала обширная область пониженного уровня эффективного давления, которая является наиболее предпочтительной для развития хрупкого разрушения. Существенные размеры области землетрясения Тохoku связываются нами с большой протяженностью участков коры с высоким уровнем градиента напряжений, расположенных вдоль всего восточного участка коры о. Хонсю.

Реконструкция напряжений также показала, что ось Японского океанического желоба разделяет сейсмофокальную область на зоны горизонтального сжатия (к западу) и горизонтального растяжения (к востоку). Согласно расчетам, наибольший уровень латерального сжатия наблюдается в коре на глубинах 0–20 км к западу от оси желоба. Здесь оси максимального латерального сжатия ориентированы перпендикулярно к оси желоба. К востоку от оси желоба ортогонально ему ориентированы оси наименьшего горизонтального сжатия. При этом скачок в уровне напряжений при переходе через Японский желоб составляет около 5–8 значений внутреннего сцепления (τ_f) пород. Для Идзу-Бонинского желоба этот скачок менее выражен, хотя явно существует и составляет 3–5 τ_f .

*Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

ПРОБЛЕМА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: СТАТИСТИКА И ПОРОЖДАЮЩИЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ

М.В. Родкин¹, В.Ф. Писаренко¹, Нго Тхи Лы², Т.А. Рукавишникова¹

¹ Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

² Институт геофизики при Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Вьетнам

При расчете сейсмической опасности основной интерес представляют редкие сильнейшие события. Характер их распределения исследовался нами ранее методом предельных распределений теории экстремальных значений. Было показано, что при анализе мировых каталогов сейсмичности поведение хвоста функции распределения в области сильнейших событий описывается конечным законом распределения. При переходе к региональным же каталогам иногда выявляется эффект так называемых характеристических землетрясений. Наиболее часто такие события регистрируются в областях зон субдукции. В частности, по данным регионального каталога Юго-Восточной Азии, такие землетрясения зафиксированы в большинстве расположенных здесь зон субдукции. Наблюдались такие события и на Японских островах и на Камчатке. При малом числе (или даже единичности) сильнейших «отскакивающих» характеристических распределений метод предельных распределений не работает.

Представляет интерес численное моделирование эффекта характеристических землетрясений. Как известно, типичное степенное распределение землетрясений (закон распределения Гуттенберга-Рихтера) может быть получено в рамках модели мультипликативного каскада. Загиб графика повторяемости вниз и конечность закона распределения могут быть получены добавлением отрицательного квадратичного слагаемого в кинетическое уравнение мультипликативного каскада. Появление характеристических событий при соблюдении условия конечности распределения может быть следствием добавления положительного кубического и отрицательного члена четвертой степени в кинетическое уравнение; отсюда видно, что появление экстремальных характеристических событий связано с развитием в процессе сейсмогенеза дополнительных нелинейных положительных обратных связей. Учитывая, что характеристические землетрясения чаще реализуются в области зон субдукции, можно предположить, что такие связи порождаются активным флюидным режимом, свойственным областям зон субдукции.

О ВАРИАЦИЯХ СООТНОШЕНИЙ ЭНДОГЕННОЙ И КОСМОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ ДАННЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПЕРЕД КУЛТУКСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ

Д.В. Салко¹, С.А. Борняков^{1,2}

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Целью работы является поиск во временных рядах данных деформационного мониторинга признаков подготовки сильных землетрясений. Проведен анализ данных деформационного мониторинга, выполненного в штольне на сейсмостанции «Талая» перед Култукским землетрясением 27 августа 2008 г. Эпицентр землетрясения располагался в 50 км от пункта мониторинга.

Для обработки данных была создана компьютерная программа, позволяющая проводить для длинных временных рядов медленно меняющихся данных следующие виды анализа: спектральный, корреляционный, автокорреляционный.

Предполагается, что сигнал, получаемый с деформационных датчиков, содержит в себе две основные составляющие: космогенную и эндогенную. Первая составляющая обусловлена лунно-солнечными приливами и является периодической с периодом 24 часа. Вторая составляющая связана с процессами в земной коре и является случайной.

Для изучения соотношений этих составляющих во временном ряду данных деформационного мониторинга перед Култукским землетрясением применен метод автокорреляции, позволяющий оценивать статистическую взаимосвязь между последовательностями величин одного ряда, взятыми со сдвигом. В данном случае автокорреляция считалась окном от данных, взятых за 24 часа, сдвиг также составляет 24 часа. Окно плавающее, шаг, с которым анализируются данные, составляет 1 час.

Данный вид анализа позволяет выявить совсем небольшие аномалии в сигнале. Поскольку космогенная составляющая принимается условно постоянной, предполагается, что вариации в расчетных данных обусловлены главным образом вариациями эндогенной составляющей. При аномальном влиянии процессов в земной коре, в том числе непосредственно связанных с подготовкой сильного землетрясения, нарушается суточная периодичность. При этом уровень автокорреляции падает ниже нуля. При отсутствии влияния эндогенной составляющей уровень корреляции составляет 1, то есть сигнал полностью повторяет себя с периодом одни сутки. По результатам анализа во временном ряду данных с 25.06.2008 до 27.08.2008 г. выявлено семь крупных аномалий с отрицательными значениями коэффициентов автокорреляции. В остальные временные интервалы уровень корреляции составлял от +0.6 до +0.9. За период с 11.05.2008 по 25.06.2008 г. уровень самокорреляции оставался положительным, сильных аномалий не выявлено. За два месяца до Култукского землетрясения начались сильные вариации коэффициента автокорреляции, что указывает на активизацию эндогенных процессов, связанных с его подготовкой. Таким образом, использованный метод автокорреляции позволяет выявить скрытые процессы в земной коре, предшествующие землетрясению. В данном случае за два месяца до землетрясения увеличилось количество и сила аномалий.

ПОВЫШЕННАЯ СРАБОТКА УРОВНЯ КАК ВАЖНЫЙ ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР В ФОРМИРОВАНИИ НАВЕДЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА НЕКОТОРЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ РОССИИ И ИНДИИ

Т.А. Ташлыкова

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Соотношением приходной и расходной частей водного баланса создаваемых водохранилищ определяются два периода в годовом цикле их водного режима – наполнения и сработки. Рассмотрим детальнее режим сработки уровня на некоторых водохранилищах России и Индии, имеющих разные морфометрические показатели, типы регулирования стока и глубину сработки уровня. В ходе исследования проанализирована эксплуатация глубоководных Братского, Усть-Илимского и Саяно-Шушенского водохранилищ, а также водохранилищ Койна и Варна в Западной Индии.

Выяснено, что крупные землетрясения 26.02.1996 г. (с $K=11.6$) и 15.12.2005 г. (с $K=11.5$) в районе Братского водохранилища произошли в период зимней повышенной сработки его уровня в энергетических целях аналогично складывающейся ситуации и в районе Саяно-Шушенского, где ряд зарегистрированных землетрясений имел более высокую магнитуду ($M>5$), нежели на Братском [Ташлыкова, 2012, 2014; Tashlykova, 2012].

При анализе опубликованного каталога землетрясений в районе водохранилищ Шиваджисагар–Варна и графиков эксплуатации водохранилищ обнаружено, что произошедшие три сейсмособытия в приплотинной части Варны (1984, 2005, 2007 гг.) приурочиваются также к зимней сработке его уровня (с M от 4.2 до 4.6) [Смирнов и др., 2013; Завьялов и др., 2013]. Рассматривая землетрясение 11.12.1967 г. с $M=6.4$ в районе плотины Койна водохранилища Шиваджисагар (по материалам Х. Гупта и Б. Растоги [1979]), выявлено, что оно, как классический пример наведенного землетрясения, произошло также при режиме активной сработки высокого уровня воды августа–декабря 1967 г.

В ходе проведенного исследования обнаружена общая для рассматриваемых водохранилищ закономерность: M землетрясений, произошедших при повышенной (в отдельных случаях «залповой») сработке уровня, значительно выше M землетрясений, произошедших в режиме их наполнения. Кроме того, при детальном исследовании характера сейсмопроявления на Братском водохранилище обнаружен полуметровый интервал в эксплуатационных значениях, являющийся критическим для инициации наведенной сейсмичности [Ташлыкова, 2012]. Таким образом, повышенная сработка уровня при эксплуатации созданных водохранилищ может рассматриваться как один из важных техногенных факторов при формировании наведенной сейсмичности.

ЛИТЕРАТУРА

- Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979. 253 с.
- Завьялов А.Д., Смирнов В.Б., Пономарев А.В., Чада Р.К., Шринагеш Д. Алгоритм КОЗ в районе водохранилищ Койна-Варна, Индия: первые результаты // Материалы 4-й научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 377–381.
- Смирнов В.Б., Chfdha R.K., Пономарев А.В., Srinagesh D. Прогностические аномалии наведенной сейсмичности в области водохранилищ Койна-Варна, Западная Индия // Физика Земли. 2013. № 2. С. 94–109.
- Ташлыкова Т.А. Доказательства факта присутствия наведенной сейсмичности в районе эксплуатирующихся глубоководных водохранилищ ангарского каскада // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: Труды IX Российско-Монгольской конф. «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Вып. 7. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, ИЗК СО РАН, 2012. С. 74–81.
- Ташлыкова Т.А. К дискуссии о наведенной сейсмичности на енисейских водохранилищах // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг.: Материалы науч. совещ. по базовому проекту ТуВИКОПР СО РАН VIII/78.1.4 «Напряженное состояние сейсмоопасных зон ТУВЫ: оценка сейсмической безопасности на основе сейсмологических исследований и данных сети сейсмических станций». Кызыл: ТуВИКОПР СО РАН, 2014. С. 86–90.
- Tashlykova T.A. Specific features of manifestation of induced seismicity in the Bratsk reservoir // Book of abstracts European Seism. Commission 33-rd General Assambly. Moscow–Obninsk, 2012. P. 233–234.

ДИНАМИКА ФОНОВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

С.В. Трофименко, В.Г. Быков

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Район исследований охватывает северную, северо-восточную и восточную границы Амурской плиты. На севере это области сочленения Алданского щита Сибирской платформы и Становой складчатой системы, где по данным инструментальных наблюдений выделена Олекмо-Становая сейсмическая зона. В региональном плане по распределению эпицентров землетрясений данная сейсмогенерирующая зона представляет собой полосу шириной до 200 км, которая в широтном направлении протягивается от меридиональных Темулякитских разломов до Удской губы Охотского моря. Восточная граница связана с частью Сахалино-Японского сейсмического пояса.

Для статистического анализа использованы сейсмологические каталоги ГС РАН и региональные каталоги Сахалинского и Якутского филиалов ГС РАН. Координаты области исследований составили от 54.5 до 59.0° N и от 120 до 145° E. К расчетам принимались все зарегистрированные землетрясения, в том числе непредставительных классов. Если в течение суток зарегистрировано более одного землетрясения, то к расчету принималось событие максимальной энергии.

Для изучения формы кривых статистического распределения количества землетрясений в течение года, поиска особенностей их пространственного распределения и возможной временной взаимосвязи сейсмическая область вдоль северной и северо-восточной границы Амурской и Евразийской литосферных плит была условно разделена на отдельные блоки. При выделении блоков принимался критерий группирования землетрясений вблизи активных разломов, геоморфологические и тектонические особенности составляющих элементов геологического строения. Важной характеристикой при разделении всей области на блоки являлось также наличие в пределах выделенных зон меридиональных разломов первого порядка. При статистическом анализе для каждого выделенного блока рассчитывалось количество землетрясений за каждый месяц всего инструментального периода наблюдений.

Установлено, что максимумы сейсмической активности по меридиональным сейсмоактивным зонам образуют устойчивые цепочки из четырех звеньев общей протяженностью до 12°. На границах исследуемой области и в области 132° форма кривых распределения количества землетрясений идентична. В промежуточных зонах форма кривых распределения землетрясений в течение года соответствует прохождению максимумов деформационной волны с постоянной скоростью, но с изменяющейся фазой.

На основе полученных результатов была определена скорость смещения максимумов сейсмической активности, которая в среднем оказалась равной 4.14–5.70 км/сут. При расчете скорости длина дуги принималась равной 1° – 60 км при длительности цикла 120–150 суток.

Идентичность распределения количества землетрясений в течение года на границах и в центре исследуемой области со значениями долгот 144°, 132° и 120°, соответственно, позволила рассчитать длину волны деформации сжатия.

Разработанная модель движения блоков земной коры по результатам GPS-наблюдений на полигоне в Южной Якутии показала: динамика сейсмического процесса может определяться прохождением нелинейных деформационных волн, что выражено в виде последовательной активизации сегментов разломов.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЦИКЛОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ГРАНИЦ СЕЙСМОАКТИВНЫХ БЛОКОВ

С.В. Трофименко^{1,2}, В.Г. Быков¹, Н.Н. Гриб²

¹ Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

² Технический институт (филиал) «Северо-восточный федеральный университет» им. М.К. Амосова, Нерюнгри, Россия

На основе исследования пространственно-временных характеристик динамики сейсмичности в области взаимодействия Амурской и Евразийской литосферных плит выделены зоны с различными геодинамическими условиями развития деформационных процессов и установлен ряд общих особенностей их пространственного положения. В рамках концепции блокового строения геофизической среды построена модель формирования уединенных деформационных волн при взаимодействии блоков земной коры. Рассчитанные кривые движения блока на основе GPS-наблюдений приводят к модели, в которой внешнее квазисинусоидальное возмущение трансформируется в зонах активных разломов в уединенные волны. Форма уединенной деформационной волны зависит от реологии разломных зон и представляет собой динамическую структуру в виде бризера, одного из решений уравнения синус-Гордона.

Показано, что динамика годовой активности в разработанной модели определяется формой и скоростью прохождения уединенной волны через активную область. Для всех изучаемых зон в характерных областях тектонических структур (чувствительные участки к внешним воздействиям) в годовых распределениях количества землетрясений отмечается 1–2 максимума.

Для количественной оценки влияния движения блока на сейсмический режим вычислены коэффициенты корреляции между средними значениями амплитуд смещения блока с количеством землетрясений на западной (121.5–122.5° в.д.) и восточной (122.5–124.0° в.д.) границах блока кряжа Зверева, усредненных по пятимесячным циклам. В предположении, что движение блока определяет сейсмический процесс, при сдвиге кривой смещения GPS-пункта на три месяца назад относительно кривой сейсмической активности получено значение коэффициента корреляции «смещение-сейсмичность», практически не зависящее от времени. Запаздывание сейсмической активности по отношению к деформации определяется конечной скоростью распространения деформационных волн, генерируемых в зонах активных разломов при кинематическом взаимодействии связанных блоков.

На основе проведенного анализа показано, что инициирование сейсмического процесса в годовых циклах может определяться прохождением деформационных волн в форме бризера. Рассчитанные значения коэффициента корреляции компоненты «восток-запад» наблюдаемой кривой смещения для пункта NRGR с теоретическими значениями для бризера составляют 0.85.

Циклы сейсмической активности в скалярном виде проявляются в динамике активизации очагов на энергетическом уровне и в векторном виде – при миграции очагов землетрясений в пределах отдельных частей сейсмических зон.

5

**РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЕ И РУДОГЕНЕЗ. РАЗЛОМЫ И
КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

РАЗЛОМЫ КАК ЭНДОГЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

И.Ив. Антипин, И.Ин. Антипин

Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

При переходе к поискам на закрытые территории мы потеряли пироповую нить, приводившую нас на открытых площадях к кимберлитовым трубкам. Этот факт связан с тем, что для основного (среднепалеозойского) алмазоносного этапа кимберлитового магматизма невозможно восстановить в необходимом для поисков масштабе историю геологического развития районов из-за отсутствия коррелятных осадков, следовательно, невозможно корректно установить пространственные связи коренных источников и ореолов ИМК. Напрашивается вывод, что в данных случаях необходимо изыскать возможность в качестве главенствующих использовать другие факторы, а именно эндогенные критерии [Антипин И.И., Антипин И.Ив., 2012].

Одним из основных критериев здесь являются приуроченность кимберлитовых полей к узлам пересечения региональных зон разломов в пределах площади корово-мантийных диапиров. Однако выделение их в пределах платформы, при отсутствии признаков смещения, минерализованных зон, приуроченности к ним даек и жил траппов, по данным геофизических наблюдений не всегда удается.

Нам представляется, что выход из такого положения может быть найден путем изучения линеаментной тектоники, основы которой были заложены Хоббсом и которая в дальнейшем нашла свое развитие в работах последователей (Зондер, Шульц, Хаин, Нид) [Кац и др., 1986]. Оптимальный вариант для выявления линеаментных зон, аппроксимируемых нами как зоны разломов, – комплексирование геофизических, геологических методов с дешифрированием разномасштабных КС и АФС.

При вынесении таких зон на карту все известные среднепалеозойские кимберлитовые поля Центрально-Сибирской субпровинции легли четко на узлы пересечения двух региональных систем линеаментных зон: ортогональную и диагональную, что и послужило в последующем одним из основных эндогенных критериев прогнозирования новых кимберлитовых полей.

Для локального прогноза мы принимаем за основу эндогенных критериев нахождение кимберлитовых тел в зонах отдельных разломов в пределах границ известных или прогнозируемых полей. При этом подавляющее большинство этих разломов является скрытыми и не выделяется или слабо выделяется геофизическими методами, поскольку они представляют собой зону трещиноватости, не дошедшую до стадии образования плоскости единого сместителя. Образование так называемых «трубок» происходило на участках максимального сгущения трещин или в структурах «пулл-апарт», на участках пересечения разломов. Крупномасштабное дешифрирование КС и АФС в комплексе с результатами гравимагнитных работ и результаты тектонофизических работ в карьерах отрабатываемых месторождений алмазов (Гладков, 2012, фонды БГРЭ) показало, что подавляющее большинство известных кимберлитовых тел, так же как и поля, приурочены к узлам пересечения двух систем разломов (линеаментов) того же направления, что и линеаментные зоны для полей. Следовательно, детальный тектонический анализ территорий позволяет достаточно надежно локализовать площади и участки возможного проявления кимберлитового магматизма.

ЛИТЕРАТУРА

- Антипин И.И., Антипин И.Ив. Эндогенные критерии алмазопрогноза (на примере Центрально-Сибирской субпровинции) // Алмазы Сибири и арктических регионов мира: Тезисы докладов. Красноярск, 2012. С. 3–18.
- Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ НЕЖДАНИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЯКУТИЯ) В СТРУКТУРАХ ЮЖНОГО СЕКТОРА ВЕРХОЯНСКОГО СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА

В.Г. Владимиров^{1,2}, Ю.А. Калинин^{1,2}, А.В. Слезко¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Современная структура Нежданинского месторождения сформировалась в процессе последовательного развития тектонических структур региона при изменении геодинамических режимов от транспрессии к транстенсии. На протяжении раннего-позднего мела в пределах Нежданинского рудного поля происходило изменение тектонических условий, контролирующих положение и специализацию рудоподводящих и рудолокализирующих структур. Можно предположить следующую упрощенную тектоническую схему формирования Нежданинского месторождения.

Этап Dn (175–155 млн лет). Заложение крупных линейных складчатых структур, связанных со становлением южного сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса (ВСП). В пределах месторождения закладывается Дыбинская антиклиналь, крылья которой осложнены более мелкими син- и антиформами. В связи со значительной удаленностью от Сибирской платформы надвиговые элементы, по-видимому, здесь не получили широкого распространения. Сохранялась симметричная подобная складчатость, характерная для обстановок умеренного сжатия. Происходит утолщение коры до 40–45 км.

Этап Dn+1 (155–120 млн лет). Начало регионального этапа растяжения в пределах Нежданинского поля обозначилось внедрением позднеюрских даек габбро-диоритов. Растяжение обеспечило деформирование симметричной складчатой структуры, сопровождающееся небольшим наклоном общей структуры с погружением шарниров на юго-запад и падением осевых поверхностей складчатых структур на запад. Происходило длительное прогрессивное запрокидывание структуры без ее вращения, осложняющееся на крыльях межслоевым скольжением и милонитизацией пород, формированием складок волочения. Завершился этап Dn+1 внедрением на более глубинных уровнях гранитоидов Курумского плутона.

Этап Dn+2 (120–90 млн лет). Прогрессивное растяжение южного сектора ВСП этапа Dn+2 реализовалось в Нежданинском регионе заложением проникающих субвертикальных эшелонированных разломов Сунтарской системы, которые сыграли в истории Нежданинского рудного поля ключевую роль. Играя в поле растягивающих напряжений роль «трансформных» разломов, они одновременно обеспечили проникновение по сопряженным разломам рудно-магматических растворов со стороны камеры гранитоидов Курумского массива. Растяжение складчатых структур привело к фрагментации структуры с заложением субдолготных (Кидерикинского типа) разломов раздвигового типа. Последние явились рудовмещающими структурами. Развиваясь относительно длительное время, «вскрытия» разломной системы происходили в условиях коаксиального растяжения (без изменения поля напряжения), что приводило к многостадийности образования рудных и жильных тел без изменения характера структуры (неоднородного изгибания, вращения и деформирования крупных фрагментов складчатой структуры).

Завершился этап растяжения «перекрытием» каналов Курумской РМС (или становлением массива), но заложением на рубеже ~90 млн лет Гельдинской группы штоков и соответствующей рудно-магматической системы с золото-серебряной специализацией.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 13-05-00998).

РАЗЛОМЫ И КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ НА ПРИМЕРЕ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА ЯКУТИИ

П.И. Гапотченко, Н.Е. Морозова, И.Я. Павленко

Амакинская ГРЭ АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

По результатам высокоточной аэромагнитной съемки, охватившей кимберлитовые поля Далдыно-Алакитского алмазоносного района, проведена комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов с использованием данных геолого-съёмочных работ, поискового и поисково-картировочного бурения, гравиразведки, сейсморазведки и целого комплекса наземных геофизических методов [Салихов и др., 2008]. Основным целевым назначением комплексной интерпретации было установление факторов тектонического контроля проявлений кимберлитового магматизма.

В результате построены структурные карты кристаллического фундамента и осадочного чехла исследованной территории, выделена сеть разноплановых разрывных нарушений различного ранга, установлен характер их связи с кимберлитовыми и трапповыми образованиями, широко развитыми на площади. Примененные технологии обработки и анализа тонкой структуры магнитного поля позволили наметить пути картирования малоамплитудных или безамплитудных разрывных нарушений в верхней части платформенного чехла. Предпринята попытка проведения количественного анализа разрывных нарушений для оценки их роли в локализации кимберлитовых проявлений.

Установлено, что пространственное размещение кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля контролируется в основном тремя кимберлитовмещающими зонами разломов северо-восточного простирания, имеющими глубинный характер развития. Кимберлитовые тела Далдынского поля большей частью тяготеют к узлам пересечения разломов субширотного, северо-восточного и северо-западного направлений. В верхней части осадочной толщи кимберлитовым проявлениям отвечают области с повышенной плотностью разрывных нарушений трещинного типа.

Отмечена приуроченность Алакит-Мархинского кимберлитового поля к грабенообразному прогибу секторного типа, формирование которого связывают с рифтогенезом. Сами же кимберлитовые тела локализуются в основном в пределах мелких синформных структур.

ЛИТЕРАТУРА

Салихов Р.Ф. и др. Отчет о результатах поисковых работ по доизучению структурно-геологического строения территории Далдыно-Алакитского алмазоносного района с целью уточнения факторов контроля кимберлитового магматизма в 2004–2008 гг. Айхал, 2008.

РУДОВМЕЩАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.С. Гладков, Д.А. Кошкарев

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Существующие модельные представления о строении и формировании коренных месторождений алмазов Якутской провинции в большинстве своем были основаны на результатах изучения вещественного состава кимберлитовых тел, а также глубинных включений в них. В течение последних 10 лет проведены специализированные работы по изучению тектонического строения участков локализации кимберлитовых трубок Нюрбинская, Ботуобинская, Юбилейная, Комсомольская и Айхал. Результатом этих работ стало создание трехмерных схем разломно-блокового строения месторождений, которые отражают основные разрывные нарушения, а также схемы изменений параметров тектонической трещиноватости в пределах разрабатываемых карьерных полей.

Установлено, что кимберлитовые тела приурочены к сложнопостроенным узлам пересечения разломов регионального и локального ранга. В процессе изучения были последовательно рассмотрены особенности строения разломных узлов, вмещающих алмазоносные трубки различных форм и размеров, а также восстановлены поля тектонических напряжений, обусловившие их формирование и активизацию на различных этапах развития (включая временные отрезки, на которые приходилось внедрение кимберлитовых тел). Эти данные в совокупности с анализом вещественного состава руд позволили разработать структурно-вещественные модели, связывающие становление различных фаз алмазоносных кимберлитовых трубок с последовательным раскрытием отдельных сегментов разрывных нарушений в разломных узлах.

Полученные модели увязывают наблюдаемые особенности расположения и кинематики разрывных нарушений с закономерностями вещественного строения и форм алмазоносных трубок в рамках функционирования единой тектонодинамической системы. При этом предполагается, что размещение кимберлитовых тел в пределах осадочного чехла определялось активизацией разрывной сети района под действием регионального поля тектонических напряжений, которое, в свою очередь, является производным, в том числе и глубинных тектономагматических процессов. Собственно внедрение кимберлитового тела происходит в условиях динамического взаимодействия тектонических сил и сил, возникающих при воздействии на осадочные слои прорывающего их расплава-флюида. Первые из них обуславливают возникновение «ослабленных» структурных элементов, которые обеспечивают продвижение кимберлитов в верхние части чехла и предопределяют положение трубок. Вторые способствуют заметному усилению деформаций (дробление пород и вынос продуктов дробления), быстрому подъему кимберлитовой магмы и выполнению «подготовленных» тектоникой и «прочищенных» в ходе эксплозивных процессов открытых полостей.

Полученные модели проверены с помощью экспериментальных работ методом оптического моделирования. Эксперименты показали, что основные черты структурного строения того или иного месторождения являются результатом кооперативного поведения и взаимодействия разрывных нарушений различных направлений. При этом удаление из моделируемой совокупности любого разрывного элемента приводит к существенному перераспределению локальных напряжений внутри дизъюнктивной сети и, соответственно, значительному изменению раскрывающихся сегментов нарушений и их амплитуд.

Созданные структурно-вещественные модели месторождения позволили сформулировать структурные признаки, определяющие характеристики объектов поисковых работ – разломных узлов определенного строения, которые являются перспективными для обнаружения кимберлитовых трубок.

Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» ОАО.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Н.И. Горев, М.И. Лелюх, А.В. Герасимчук

АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

Тектоника платформенного чехла Якутской алмазонасной провинции (ЯАП) к настоящему времени изучена разными методами. По этим данным на продуктивные кимберлитовые поля ЯАП составлены достаточно современные структурно-тектонические карты. На данных картах поисковые объекты ранга «кимберлитовое поле», «локальная кимберлитовмещающая зона» («куст» тел), «кимберлитовое тело (месторождение)» не выделяются или выделяются неуверенно. Для решения этой важной прогнозной задачи привлекаются другие методы тектонического анализа, одним из которых явился тектонофизический.

Тектонофизические исследования в пределах ЯАП проводятся начиная с 2001 г. На первом этапе в карьерах месторождений определена структурная позиция кимберлитовых тел и основные особенности тектонических нарушений, проявленных в их околотрубочном пространстве: кинематика, возраст и др. Теоретически и экспериментально установлены структуры, наиболее благоприятные, по мнению авторов, для внедрения кимберлитовых трубок [Гладков и др., 2008].

К сожалению, дальше первого этапа – изучения эталонов – тектонофизические исследования в алмазной геологии продвинулись мало, что, по нашему мнению, обусловлено в значительной мере особенностями метода и геологическим строением региона. В геолого-геоморфологических условиях Западной Якутии, где обнажения являются редкостью, а тектоника характеризуется слабой контрастностью, вряд ли реально создание оптимальной по плотности и информативности сети тектонофизических наблюдений для построения достоверных тектонических карт и схем, ориентированных на выявление погребенных месторождений небольших (до 1 км в поперечнике) размеров, практически не выделяющихся какими-либо физическими параметрами.

Редкая и неравномерная сеть тектонофизических наблюдений, низкая (несопоставимая) информативность получаемых данных в карьерах и на поверхности и другие причины не позволили определить границы промежуточных объектов поисков ранга «алмазонасная (минерагеническая) зона», «кимберлитовое поле» и других и, тем самым, воспользоваться иерархическим принципом, являющимся основополагающим при прогнозировании.

По этим же причинам (недостаток информации) выполненные прогнозные построения на отдельные кимберлитовые тела базируются не на собственных наблюдениях, а на материалах геологических подразделений АК «АЛРОСА», в связи с чем следует, по-видимому, обосновать круг геолого-геофизических данных, необходимых для составления прогнозных карт, с применением тектонофизических моделей, и описать методику обработки комплекса использованной информации.

Возможно, авторам следовало не акцентировать внимание на прогнозе, а сосредоточиться в большей мере на таких вопросах, как установление признаков разноранговых поисковых объектов, детальное изучение и описание рудовмещающих и рудоконтролирующих структур и на других узловых моментах, решаемых тектонофизическим методом.

В предлагаемом виде тектонофизические исследования в качестве наиболее информативного метода могут применяться при документации карьеров, интерпретации данных высокочастотной сейсморазведки и решении некоторых других конкретных задач.

Прогностические возможности метода остаются пока нераскрытыми.

ЛИТЕРАТУРА

Гладков А.С., Борняков С.А., Манаков А.В., Матросов В.А. Тектонофизические исследования при алмазописковых работах. Методическое пособие. М.: Научный мир, 2008. 175 с.

КОМПЛЕКС ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРТОЛЕТНЫХ НТЕМ-СИСТЕМ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОИСКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Ю.А. Давыденко^{1,2}, В.В. Стогний⁴, А.В. Таранюк^{1,3}, В.А. Белов¹, М.С. Шкиря¹

¹ Научно-исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

³ ГИЦ ОАО «Иркутскгеофизика», Иркутск, Россия

⁴ Научно-изыскательский институт ГЕОТЕХ, Москва, Россия

Ресурс алмазонасных кимберлитовых тел, которые находятся в относительно благоприятных условиях для обнаружения традиционным поисковым геолого-геофизическим комплексом, практически исчерпан. В данный момент большие поисковые перспективы связываются с площадями, перекрытыми трапповым покровом. Важным моментом является то, что в условиях IV–V геотипов, когда другие геофизические методы оказываются малоэффективными, значимая роль отводится электро-разведочным методам. Вместе с этим проведение аэроэлектроразведочных работ ЗМПП (зондирования методом переходных процессов) многократно повышает производительность полевой съемки и позволяет охватить исследованиями труднодоступные и большие по площади территории. Нашей задачей являлось выполнение комплекса предпроектных исследований, требовавшихся для проведения аэроэлектроразведочных работ в Якутской алмазонасной провинции.

Основное внимание в работе было уделено изучению с помощью математического 3D-моделирования используемых в России и за рубежом вертолетных ТЕМ-систем, применяемых для поиска кимберлитов: AeroTEM, SkyTEM, VTEM PLUS, HELITEM и Экватор. Показано, что для достижения максимальной разрешающей способности аэроэлектроразведочных систем, которая может быть достигнута в пределах трапповых массивов, накладывает требование на корректное измерение ранних времен переходного процесса (с 20 мкс). Наилучшими параметрами по этому критерию характеризуется аппаратура SkyTEM и VTEM PLUS ^{early time}.

Показано, что в зависимости от применяемой НТЕМ системы величина аномалии от кимберлитовой трубки может составлять сотни процентов или только первые проценты от фона. Анализ полученных результатов позволяет сделать предварительный вывод о том, что для выявления геологических неоднородностей типа «трубка взрыва» в случае сравнительно больших размеров аномальных объектов вполне могут быть использованы доступные электроразведочные комплексы – Импульс-Аэро А5/А6 и VTEM+. Проведен анализ эффективности частотных аэроэлектроразведочных систем, и показано, что низкочастотная аэроэлектроразведка может конкурировать с методом ЗМПП при минимальном (не более 30 м) удалении измерительного датчика от поверхности земли. Этому требованию отвечают системы с генераторными и приемными катушками, расположенными в одной конструкции. Одним из таких комплексов является DIGHEM.

В области интерпретации данных предложена методика минимизации функционала невязки от соосной и разнесенной наземных установок МПП с целью формирования адекватной поляризующей модели вмещающей среды и кимберлитовой трубки взрыва. В качестве эталона использовалась выходящая на поверхность трубка Амакинская. Показано, что кимберлитовая трубка обладает повышенной поляризуемостью (до 30–60 %), что может служить поисковым критерием при интерпретации данных ЗМПП в рамках модели с частотной дисперсией электропроводности.

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР ТУРБАЙСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

Н.Ю. Дулабова¹, М.К. Турапов², Б.О. Жанибеков²

¹ Государственный комитет по геологии и минеральным ресурсам, Ташкент, Узбекистан

² Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан

Знание тектонофизического состояния литосферы необходимо для решения важнейших задач тектоники как в теоретическом, так и в практическом аспекте.

Данная работа посвящена результатам наших исследований по изучению распределения тектонических напряжений на основе экспериментального моделирования структур Турбайского рудного района. Турбайский рудный район расположен в восточной части гор Букантау и является одной из перспективных площадей. Его тектоническая позиция определяется приуроченностью к зоне регионального разлома, которая представлена серией эшелонированных субпараллельных разрывов северо-западного простирания.

Моделированию предшествовал анализ историко-тектонического развития района. Основное внимание было уделено выявлению дорудных и интратрудных рудоконтролирующих структур. В связи с этим эксперименты были проведены в двух вариантах: первый вариант отражает тектоническое строение района дорудного этапа его развития, второй соответствует рудному этапу. Структурно-тектоническую основу моделей представляют разрывные нарушения северо-западного простирания, которые были сформированы до проявления процессов золоторудной минерализации. Как первый, так и второй вариант модели структур рудного района были подвергнуты горизонтальному сжатию, ориентация которого согласуется с направлением региональных тектонических деформаций, составляющих Южно-Тяньшаньскую складчатую систему.

Как показывают результаты экспериментов, земная кора Турбайского района на предрудном и рудном этапах развития находилась в тектонически ослабленном состоянии. Причиной этого является региональный разлом, ограничивающий район с северо-востока. Он ориентирован перпендикулярно сжатию, что препятствовало проникновению деформаций в глубь района. Сопротивление структуры сопровождалось поглощением значительной энергии сжатия и тектонической активностью разлома в форме взбросо-сдвига, надвига.

Усиление сжатия способствовало возникновению вертикальных движений по разлому. Однако при такой геодинамической ситуации большую роль играет мощность зоны разлома: чем она меньше, тем интенсивнее проявляются вертикальные движения. При больших мощностях вертикальные движения вызывают формирование систем субпараллельных разрывов в пределах зоны разлома. Именно таким образом и были сформированы субпараллельные разрывные нарушения в зоне регионального разлома, в том числе в пределах Турбайского рудного района.

В целом, напряженно-деформированное состояние площади Турбайского рудного района до проявлений процессов золоторудной минерализации было нестабильным. Очень широк диапазон вариаций тектонических напряжений: от нейтральных зон до полей сильных касательных напряжений. Их распределение в пространстве неравномерно. Более половины площади занимают поля слабых величин напряжений с нейтральными зонами.

МОРФОСТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА

Д.В. Жиров

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

В рамках настоящей работы термин «морфоструктурный» принят по аналогии с геоморфологической семантикой и применяется в значении «обусловленный эндогенными факторами». Таким образом, применительно к трещиноватости данный термин раскрывает ее причинно-следственную связь с формой, структурой, линейными размерами, симметрией и вещественным составом геологического тела (плутонического или супракристалльного) [Жиров, 2014]. В настоящее время большинство используемых методов изучения и интерпретации трещиноватости имеют дело с тектоническим генезисом, подразумевающим внешний источник / фактор, который вызывает накопление критических напряжений вплоть до разрушения горной породы с образованием трещин. Тектонофизический подход рассматривает генезис и закономерности пространственного положения трещины/разлома только в зависимости от ориентации главных осей напряжения и как результат реализации касательных, нормальных и, реже, девиаторных напряжений [Ребецкий, 2007; Семинский и др., 2005 и др.]. В отличие от него, морфоструктурные критерии контроля трещиноватости отражают закономерное влияние целой группы геолого-генетических факторов, прежде всего формы, размера и вещественного состава тела. Этот подход подразумевает закономерную парагенетическую связь групп (систем) и отдельных трещин / разрывов с рядом параметров конкретного геологического тела и в меньшей мере – вмещающей рамы (внешней среды) [Жиров, 2014].

В основу проведенных исследований положена собранная база пространственно-привязанных данных (более 50000 многопараметрических пространственно-распределенных замеров) по трещиноватости в массивах центрального типа. Результаты анализа базы данных с использованием 3D моделирования позволили классифицировать трещиноватость на две большие генетические группы: прототектоническую трещиноватость, в том числе трещиноватость «собственно магматического и контракционного генезиса», и трещиноватость наложенных тектонических этапов. По отношению к геологическому телу они характеризуются как «внутриформационные» и «трансформационные» соответственно [Жиров и др., 2012]. В приповерхностной части мы наблюдаем зону разгрузки и выветривания, в которой избирательно и существенно повышается интенсивность проявления ряда систем (как правило, субгоризонтальных и пологонаклонных трещин). Трещиноватость прототектонического парагенезиса имеет относительно однородное распределение в геологическом теле (за исключением разгруженной приповерхностной зоны), удовлетворительную – хорошую предсказуемость по основным параметрам, в том числе по индивидуальным (для каждой основной системы) закономерностям их изменения с глубиной и по простиранию. Применительно к массивам с осевой симметрией центрального или квазицентрального типа эта группа имеет представительность до 90–95 % и включает следующие основные системы: радиальную (2–3 подсистемы – Rd) с углами падения – 65–90° (78° – медиана), две подсистемы S кольцевой субвертикальной (тангенциальной, поперечной по отношению к Rd) с углами падения 60–90° (74°) и две диагонально-конические: центриклинальную – С, падающую к центру массива под углами 25–55° (43°), и периклинальную – Р, падающую от центра массива под углами 5–35° (18°). Система субгоризонтальных трещин L (углы падения 0–12°) проявлена в приповерхностной части, а с глубиной существенно затухает. Все системы прототектоники закономерно связаны друг с другом и изменяют свои азимутальные характеристики по закону осевой симметрии (при движении вокруг вертикальной оси симметрии, проведенной через геометрический центр интрузии) [Жиров и др., 2012; Сим и др., 2011].

ЛИТЕРАТУРА

- Жиров Д.В. Морфоструктурные критерии контроля трещиноватости интрузивных пород: методические и прикладные аспекты реконструкции стресс-состояний // Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геомеханика в горном деле». Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. С. 96–105.
- Жиров Д.В., Сим Л.А., Рыбин В.В., Маринин А.В. Реконструкция палео- и современных напряжений на Ковдорском бадделеит-апатит-магнетитовом месторождении // Материалы Третьей тектонофизической конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». М.: ИФЗ РАН, 2012. Т. 2. С. 299–303.

- Ребецкий Ю.Л.* Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: ИКЦ Академкнига, 2007. 406 с.
- Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В., Тугарина М.А.* Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005. 293 с.
- Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В.* Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 3. С. 219–243.

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТ ПО ЗАКРЕПЛЕНИЮ / СТАБИЛИЗАЦИИ УСТУПОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ НА ПРИМЕРЕ МАССИВА ПОРОД РУДНИКА «ЖЕЛЕЗНЫЙ» ОАО «КОВДОРСКИЙ ГОК»

Д.В. Жиров¹, В.В. Рыбин², Г.С. Мелихова³, М.В. Мелихов²

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

² Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

³ ОАО "Мурманская геологоразведочная экспедиция", Апатиты, Россия

В рамках ужесточающихся требований к обеспечению безопасности горных работ в непрерывно усложняющихся горно-геологических условиях все чаще применяются различные типы районирования (инженерно-геологическое, геодинамическое, геомеханическое и др.), имеющие различное целевое предназначение [Щербак, 1983; Батургина, Петухов, 1988; Козырев и др., 2009; Жиров и др., 2012; и др.]. В 2012–2014 гг. в ходе тематических поисковых НИР в пределах рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» были разработаны методические подходы и принципы (см. схему) и осуществлено инженерно-геологическое и геомеханическое районирование законтурного массива пород в текущем и проектном контурах карьера в целях оптимизации работ по закреплению / стабилизации уступов глубоких карьеров. Главной целью районирования являлось выделение и ранжирование главных опасных (дестабилизирующих) факторов и оценка необходимости принятия специальных технических и/или проектных решений по предотвращению их потенциального негативного воздействия на рабочий и конечный текущий, а также на проектный контур сверхглубокого карьера.

Инфологическая схема методики инженерно-геологического и геомеханического районирования в целях оптимизации работ по закреплению / стабилизации уступов и борта



По результатам выполнения НИР показано, что наиболее значимым опасным фактором для глубоких горизонтов карьеров является крупная структурная неоднородность, пересекающая борт карьера под углом падения 30–55°, типа тектонизированной ослабленной зоны (разрывное нарушение) в виде выдержанной ровной или волнистой плоскости (пакета сближенных плоскостей). Этот тип неоднородностей требует принятия решения, наиболее раннего по срокам и масштабного по затратам. Как правило, это решение выражается либо в локальном изменении проекта, либо в системных и долгосрочных мероприятиях по закреплению больших объемов законтурного массива пород в ходе постановки уступов в конечное положение.

ЛИТЕРАТУРА

- Батургина И.М., Петухов И.М.* Геодинамическое районирование при проектировании и эксплуатации рудников. М.: Недра, 1988. 166 с.
- Жиров Д.В., Мелихова Г.С., Рыбин В.В., Климов С.А.* Новая методика комплексных инженерно-геологических и геомеханических исследований массивов пород в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров // Материалы научно-технической конференции с международным участием «Глубокие карьеры». СПб., 2012. С. 368–382.
- Козырев А.А., Рыбин В.В., Жиров Д.В., Билин А.Л., Виноградов А.Н., Каспарьян Э.В., Виноградов Ю.А., Семёнова И.Э., Жирова А.М.* Методические основы технологии эффективного и безопасного освоения глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых открытым способом // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 4. С. 644–653.
- Щербак Г.Г.* Прогнозирование инженерно-геологических условий разработки и устойчивости бортов карьеров сложнодислоцированных месторождений: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: РГБ, – Томск, 1983. 238 с.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРАНОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЛИЦЕВСКОГО РАЙОНА (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

Т.В. Каулина, В.Л. Ильченко, Л.М. Лялина, Д.В. Елизаров, И.Л. Каменский

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Лицевский район является одним из наиболее перспективных на Кольском полуострове в отношении металлогении урана. В результате исследований [Савицкий и др., 1995; Афанасьева и др., 2009] здесь обнаружено около 30 урановых рудопроявлений. Геодинамическая эволюция Лицевского района в составе Центрально-Кольского блока началась в позднем архее и включала несколько тектономагматических циклов, в ходе которых повышалось содержание урана [Афанасьева и др., 2009; Serov, 2011]. Высокое (до рудопроявлений) содержание урана обнаружено в пегматоидных гранитах и кварц-полевошпатовых метасоматитах [Serov, 2011], наиболее перспективными являются палеозойские уранинитовые жилы, связанные с комплексом Лицко-Арагубских гранитов [Афанасьева и др., 2009].

Процессы тектономагматической активизации имеют важнейшее значение для рудообразования. Тектонические процессы приводят к обновлению ранее существовавших структур и заложению новых, что обуславливает повышенную проницаемость для магматических расплавов и более поздних гидротермальных растворов. Тектоно-структурные элементы (разломы, зоны сдвиговых деформаций, системы трещиноватости и пр.), то есть транзитные зоны, определяют пути миграции урана и пространственное размещение урановой минерализации. Лицевский район расположен в зоне пересечения тектонических зон, ограниченных субмеридиональными и субширотными разломами, и характеризуется сложным мозаично-блоковым строением.

К настоящему времени изучение радиоактивной и акцессорной минерализации в породах Лицевского района показало, что перераспределение и накопление урана в районе связаны с тремя этапами: первый этап – 2.2–2.1 млрд лет, второй этап – 1.77–1.65 млрд лет, третий этап – 455–420 млн лет [Афанасьева и др., 2009; Serov, 2011]. Датирование метасоматических пород Лицевского района Rb-Sr и K-Ar методом показало, что оценки возраста минералов концентрируются в интервале 1730–1800 млн лет, что определяет температуры формирования ураноносных метасоматитов не выше 350–400 °C. Изучение цирконов свидетельствует о широко проявленных процессах гидротермальной активности с изменением архейских цирконов и образованием участков перекристаллизации кристаллов. Датирование измененных участков в цирконе подтверждает наличие двух этапов гидротермальной активности: протерозойского и палеозойского возраста – 1.7 и 0.4 млрд лет, соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьева Е.Н., Михайлов В.А., Былинская Л.В., Липнер А.А., Серов Л.В. Ураноносность Кольского полуострова // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. М.: ВИМС, 2009. Вып. 153. С. 18–26.
- Савицкий А.В., Громов Ю.А., Мельников Е.В., Шариков П.И. Урановое оруденение Лицевского района на Кольском полуострове (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. № 5. С. 403–416.
- Serov L. Métallogenèse de l'uranium dans la région de Litsa (Péninsule de Kola, Russie). Docteur de l'Université Henry Poincaré (en géosciences). Soutenance publique le 24 juin 2011. Nancy, France. 166 p.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ В НАКЫНСКОМ ПОЛЕ (НА ПРИМЕРЕ КИМБЕРЛИТОВ УЧАСТКА ОЗЕРНЫЙ)

О.К. Килижеков, Л.В. Максимкина

Ботуобинская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

Ботуобинская ГРЭ АК «АЛРОСА» более 20 лет проводит поисковые работы в Средне-Мархинском алмазодобывающем районе. На сегодняшний день в Накынском кимберлитовом поле открыты три коренных месторождения алмазов – трубки Нюрбинская, Ботуобинская, Майская, а также четыре рудопоявления – Мархинское, жила Д-96, Озерное, 608/474 – и погребенная россыпь Нюрбинская.

Основной поисковый метод – шлихоминералогический [Подчасов и др., 2004]

Геофизические критерии поисков в виде наличия локальных магнитных аномалий так называемого трубчатого типа проявлены на площади весьма широко, но подавляющая их часть уже заверена бурением. Эталонные геологические объекты – трубки Нюрбинская, Ботуобинская и дайка Майская – перекрыты юрскими отложениями мощностью 60, 80 и 65 м соответственно и практически не отражаются в магнитном поле. В основном по этой причине аномалии от трубки Ботуобинская и дайки Майская не зафиксированы магнитными съемками ни с воздуха, ни на земле. Трубка Нюрбинская размером 360×180 м в 1994 г. в материалах аэромагнитной съемки масштаба 1:10000 никак не была проявлена. Локальная магнитная аномалия над этой трубкой была выявлена в том же 1994 г. при проведении наземной магнитной съемки масштаба 1:5000. Заверка аномалии и привела к этому важнейшему открытию. Геологическими методами прямое подсечение трубки Нюрбинская обеспечивает сеть скважин 200×100 м, а трубки Ботуобинская – 100×100 м. Что же касается дайки Майская с размерами по кровле 430×40 м, то здесь ситуация вообще не однозначная.

Одним из последних открытий кимберлитовых тел было открытие рудопоявления Озерного. Вначале была выявлена шлихоминералогическая аномалия, индикаторные минералы и микрообломки кимберлитов которой показали их полное отличие от ИМК известных трубок и рудопоявлений Накынского поля. Затем по сети профилей через 200 м были проведены сейсморазведочные работы МОГТ. По результатам работ была выявлена сейсморазведочная аномалия СР-39, имеющая в плане каплевидную форму, ориентированную с юго-запада на север-северо-восток, характеризующуюся разной степенью проявленности в наблюдаемом волновом поле.

Аномалия заверена серией наклонных скважин. Вскрытые скважинами кимберлитовые тела (жила) в толще вмещающих пород нижнего палеозоя представляют собой тектонические субвертикальные трещины (возможно систему сближенных трещин) мощностью от нескольких сантиметров и метров, заполненные алмазодобывающей кимберлитовой брекчией, карбонатной брекчией, пронизанной нитевидными, тонкими (до микро) прожилками кимберлита. В плане прослежены на 70 м.

В настоящее время в окрестностях аномалии СР-39 на площади 1.07 км² выполнены трехмерные сейсмические наблюдения. Съемка 3D проведена по сети профилей 50×50 с шагом между ПВ – 10 м, ПП – 5 м, бин – 2.5×5.0 м. Сбор сейсмических данных проводился с использованием телеметрической многоканальной системы Sersel 428 XL с числом активных каналов 1200.

Предварительные результаты позволяют говорить, что объемное изображение изучаемой геологической среды характеризуется высокой степенью детальности. В волновом поле зарегистрированы и геометризованы в пространстве ее аномальные проявления, локализована ранее выявленная по 2D работам сейсморазведочная аномалия СР-39.

ЛИТЕРАТУРА

Подчасов В.М., Минорин В.Е., Богатых И.Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Якутск: ЯФ ГУ Изд-во СО РАН, 2004. 548 с.

БЛОКОВАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

А.Ю. Кисин

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Любое месторождение уникально и формируется в результате сочетания ряда сложных геологических процессов, следствиями которых являются: 1) дестабилизация системы (геологической среды), 2) мобилизация тех или иных рудных компонентов, 3) их миграция на верхние горизонты коры, 4) компактное отложение, 5) сохранность при последующих геологических процессах. Для выполнения первых трех пунктов необходима дополнительная энергия, источники которой могут быть различными, в зависимости от геодинамических режимов. В докладе рассматривается модель блоковой складчатости земной коры, реализуемая в условиях одноосного горизонтального сжатия, например при коллизии. Основным источником энергии являются тектонические процессы. При блоковой складчатости кора остается квазиплоской, что способствует передаче напряжений сжатия на значительные расстояния, а изгибающие моменты фокусируют их на верхние или нижние участки коры, в зависимости от знака. Работа осуществляется тектонопарой «надвиг–продольный изгиб». Релаксация напряжений осуществляется всеми возможными способами, обеспечивающими укорочение напряженного участка коры.

В блоке положительного изгиба напряжения сжатия фокусируются на нижнюю часть коры, создавая контрастный прямой градиент напряжений [Кисин, Коротеев, 2009]. Механическая энергия сжатия трансформируется в другие виды энергии, включая тепловую. Возникают условия высокобарического метаморфизма и миграции наиболее подвижного материала на верхние горизонты блока, с широким проявлением крупномасштабных метасоматических процессов. В конечном итоге это может привести к образованию куполовидных гранитогнейсовых массивов с анатектическими гранитами и с зональным метаморфизмом. Процессы гранитизации сопровождаются выносом в околокупольное пространство ряда рудных и нерудных компонентов (Fe, Au, Si, Mg и др.) и накоплением в ядрах куполовидных структур флюидов, обогащенных легколетучими (фторофильными) элементами (Be, Li, Sn, Ta, Nb и др.).

В блоке отрицательного изгиба напряжения сжатия фокусируются на верхнюю часть коры, что создает обратный (запирающий) градиент напряжений. Верхние горизонты блока подвергаются площадному брекчированию и мегабрекчированию с формированием осевого горстового поднятия [Кисин, 2009]. Ниже располагается зона бескорневой мелкой складчатости (в слоистых толщах) и/или системы разноранговых трещин скалывания с надвиговой кинематикой. Запирающий градиент напряжений удерживает флюиды на глубине, препятствуя конвективному переносу тепловой энергии и создавая условия ее накопления в нижней части блока. Рост температуры флюида способствует растворению рудных компонентов (хлорофильных, халькофильных, сидерофильных элементов) из вмещающих пород и росту давления флюида. Разгрузка флюида осуществляется преимущественно на регрессивном этапе, в зоне площадного брекчирования или бескорневой складчатости, при смешении с метеорными или морскими захороненными водами.

Работа выполнена в рамках Программы ОФИ УрО РАН № 13-5-014-НДР и Программы Президиума РАН № 12-П-5-2015.

ЛИТЕРАТУРА

- Кисин А.Ю. Структурная позиция и время образования прожилково-вкрапленных руд Сафьяновского Zn-Cu месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2009. № 5. С. 72–84.
- Кисин А.Ю., Коротеев В.А. Градиенты стрессовых напряжений как причина перемещения вещества при общекоровой складчатости // ДАН. 2009. Т. 424, № 1. С. 67–70.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЙКОВЫХ ПОЯСОВ ВИЛЮЙСКОГО ПАЛЕОАВЛАКОГЕНА

**К.М. Константинов¹, М.Д. Томшин², А.С. Гладков³, А.И. Киселев³, М.З. Хузин³,
И.К. Константинов³, А.А. Яковлев¹**

¹ Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

² Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

³ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Среднепалеозойский базитовый магматизм [Масайтис и др., 1975] имеет не только парастерическую (временную и пространственную), но и генетическую связь с кимберлитовым магматизмом Якутской алмазонасной провинции, поскольку определяется общим плюм-литосферным взаимодействием на юге Сибирской платформы. Следствием этого взаимодействия является Вилуйский палеоавлакоген, в зоне динамического влияния которого развиты среднепалеозойские кимберлиты и базиты. Подъем вещества плюма под утоненную литосферу, обусловленную рифтогенной деструкцией, сопровождался декомпрессионным плавлением и образованием больших объемов базальтовых магм [Tomchin, Konstantinov, 2005]. По этой причине палеомагнитные исследования базитов из дайковых поясов Вилуйского палеоавлакогена являются актуальными для формирования геодинамической модели кимберлитов- и траппообразования.

В период 2002–2013 гг. проведены комплексные палеомагнитные, петро-, геохимические, тектонофизические, геохронологические и другие исследования базитов из Вилуйско-Мархинской, Молодинской, Контайско-Джербинской и Чаро-Синской зон разломов. Палеомагнитные исследования кимберлитов и базитов позволили реконструировать направления векторов характеристической естественной остаточной намагниченности на момент их внедрения. Установлены заметные различия в рассчитанных по ним виртуальных геомагнитных полюсах [Константинов и др., 2011]. Согласно полученным палеомагнитным данным по среднепалеозойским кимберлитам и базитам, рифтогенные процессы были растянуты во времени на 100 млн лет [Мащак, Наумов, 2004]. За это время Сибирская платформа переместилась из низких в средние широты Северного полушария [Константинов, 2006].

ЛИТЕРАТУРА

- Константинов К.М. Решение вопросов геодинамики и вулканизма Сибирской платформы на основе палеомагнитных данных // Вулканизм и геодинамика: Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 1. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2006. С. 30–33.
- Константинов К.М., Хузин М.З., Томшин М.Д., Константинов И.К. Анализ распределения среднепалеозойских палеомагнитных полюсов кимберлитов и траппов Якутской алмазонасной провинции // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы сообщения. Вып. 9. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2011. С. 113–115.
- Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановская Т.В. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилуйского авлакогена. М.: Недра, 1975. 183 с.
- Мащак М.С., Наумов М.В. Среднепалеозойский базитовый магматизм Накынского кимберлитового поля и проблема возраста кимберлитов // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое настоящее и будущее (АЛМАЗЫ–50). СПб.: Изд-во МПР РФ, ВСЕГЕИ, «АЛРОСА», 2004. С. 224–226.
- Tomchin M.D., Konstantinov K.M. Basic dike belts of the Viluyi paleorift (Siberian platform) // Fifth International Dyke Conference IDC 5, Rovaniemi, Finland, 2005. P. 51.

ДЕСТРУКТИВНЫЕ НАРУШЕНИЯ КАК ВАЖНЫЙ ИНДИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Ю.В. Коротков

Архангельский научный центр УрО РАН, Архангельск, Россия

Большинство рудных месторождений приурочено к активным тектоническим нарушениям, поэтому их распределение, как и вообще структурный элемент залегания пород, является важным индикационным признаком рудопроявления. В частности, внедрение кимберлитового субстрата в толщи осадочных отложений происходило по ослабленным зонам (разломам), причем с мощным термодинамическим воздействием на окружающие породы, с образованием зоны нарушений, и это необходимо учитывать в поиске трубок взрыва. В этом плане структурно-тектонический контроль может стать огромным потенциалом в решении поисковых задач геологии. На практике же, когда речь заходит о разломной тектонике и структурной перестройке в залегании пород, в первую очередь подразумеваются нарушения регионального масштаба, и традиционно при этом считается, что чем мощнее тектоническое нарушение, тем оно активнее. Но уже доказано, что существенная роль в формировании геодинамической обстановки, как правило, принадлежит локальным дизъюнктивным нарушениям, опережающим крупные тектонические структуры, которые на данном промежутке времени могут не выделяться в плане геодинамической активности. В большей части рудопроявления связаны с локальными нарушениями, поэтому особый интерес представляет выявление слабых малоамплитудных тектонических разломов. Такие разломы, как правило, являются долгоживущими, т.е. прослеживаются от земной поверхности до больших глубин. К ним приурочены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости, опасные как в динамическом, так и в экологическом отношении. Изучение малоамплитудных тектонических нарушений может быть эффективно использовано в алмазной индустрии при определении местоположения таких таксонов, как трубка взрыва [Коротков, 2008; Коротков Ю.В., Коротков А.Ю., 2013], и для инженерно-изыскательских работ при установлении целостности грунта [Коротков, 2012]. В данном случае использование структурного критерия как одного из основных признаков проявления рудного тела, а в частности трубок взрыва в толщах осадочного чехла, может быть намного эффективнее других признаков, используемых в настоящее время в практике поисковых работ. Распределение электропроводности (или сопротивления) на различных глубинных уровнях и по площади дает возможность выделять и отслеживать на изучаемых территориях тектонические нарушения различной интенсивности и устанавливать их точное местоположение. Некоторая электроразведочная информация позволяет подробно описывать все элементы разреза, включая слабые, а также в случаях, когда поисковые объекты перекрыты приповерхностными неоднородностями и высокоомными породами. При этом создание электромагнитного образа исследуемой среды позволяет быстро и на начальном этапе измерений получить представление о характере залегания пород и уже далее планировать процесс работ в нужном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

- Коротков Ю.В.* Результаты электроразведочных работ при поисках объектов трубчатого типа в районах Архангельской области // Записки Горного института. СПб., 2008. Т. 176. С. 142–145.
- Коротков Ю.В.* Применение электроразведочного метода переходных процессов при изучении ослабленных зон в верхней части разреза // Инженерные изыскания. 2012. № 5. С. 14–19.
- Коротков Ю.В., Коротков А.Ю.* Локальные тектонические нарушения в электроразведочных данных на примере Архангельской алмазоносной провинции // Разведка и охрана недр. 2013. № 7. С. 25–30.

Повышенная сейсмичность наблюдается на месторождениях флюидного генезиса (углеводородов и рудной минерализации) в различных по истории развития и составу комплексах пород: например, рудные: Воронежский кристаллический массив, Хибины; углеводороды: Ромашкинское на Южно-Татарском своде, Газлийское на Туранской плите и ряд других. О корреляции сейсмичности с рудными месторождениями эндогенного происхождения известно достаточно давно [Грассо и др., 1994; Goldberg et al., 2007].

Общая черта для таких явлений, как землетрясения, вулканизм, а также залегания месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса, – принадлежность к относительно более упругим геологическим образованиям самой различной природы [Кузин, 2007]. Сейсмический процесс наблюдается не во всех тектонически активных районах. Это означает, что существуют особые, дополнительные условия реализации сейсмического процесса. К таким условиям в первую очередь относится присутствие во флюиде газовой фазы, способствующей накоплению упругой энергии в массиве пород. На многих разрезах под месторождениями присутствуют блоки с пониженными значениями V_p/V_s . «Газовый» фактор является критическим параметром для возникновения сейсмического процесса на месторождениях углеводородов.

Накопилось значительное число фактов взаимосвязи между сейсмическими событиями и поведением уровня воды [Уломов, 2007]. Отмечено увеличение сейсмичности и параметра V_p/V_s в сезон дождей [Rodkin, Mandal, 2012]. Эти аномалии V_p/V_s , вероятно, могут являться зонами инфильтрации воды и ее растворов.

Можно представить следующий сценарий участия флюида в сейсмическом процессе. Газообразная фаза, заполняя поры и трещины, обеспечивает накопление упругой энергии и импульсный характер ее выделения. Жидкая фаза создает гидравлическую связь между целиками массива пород и в то же время уменьшает сцепление на контакте зерен, увеличивая вероятность проскальзывания. Активизация тектонической деятельности меняет баланс между газообразной и жидкой фазами флюида на определенных глубинных уровнях земной коры и, вероятно, ведет к сейсмическому событию.

Сейсмичность может рассматриваться с позиции нафторудогенеза как процесс, сопутствующий миграции флюидов в тектонической активизации геологической среды при образовании месторождений флюидного генезиса.

ЛИТЕРАТУРЫ

- Грассо Ж.Р., Волан Ф., Фурментро Д., Мори В. Связь между извлечением углеводородов, локальными техногенными землетрясениями и крупными региональными землетрясениями на примере Пиренейского района // *Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти* / Под ред. В. Мори, Д. Фурментро. М.: Мир, 1994. 416 с.
- Кузин А.М. Механически жесткие образования геологической среды в процессах вулканизма, землетрясений, формирования и сохранения месторождений флюидного генезиса // *Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности: Материалы Всероссийской конференции*. М.: ГЕОС, 2007. С. 134–135.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // *Физика Земли*. 2007. № 9. С. 3–17.
- Goldberg I.S., Abramson G.J., Haslam C.O., Los V.L. Depletion and enrichment zones in the Bendigo gold field: a possible source of gold and implications for exploration // *Economic Geology*. 2007. V. 102. P. 745–753.
- Rodkin M.V., Mandal P. A possible physical mechanism for the unusually long sequence of seismic activity following the 2001 Bhuj Mw7.7 earthquake, Gujarat, India // *Tectonophysics*. 2012. V. 536–537. P. 101–109.

РОЛЬ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР В КОНТРОЛЕ РАЗНОРАНГОВЫХ ТАКСОНОВ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Ю.Г. Кутинов^{1,2}, З.Б. Чистова¹

¹ Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, Россия

² Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

В работе сделана попытка охарактеризовать основные кимберлитоконтролирующие структуры Архангельской алмазоносной провинции, выделенные и изученные авторами на основе комплексного анализа данных как по докембрийскому фундаменту, так и по венд-палеозойскому осадочному чехлу, оценить их роль в локализации кимберлитовых таксонов (от субпровинции до трубки взрыва) и дать их геолого-геофизическую характеристику. В результате проведенных исследований были сделаны выводы о главенствующей роли в контроле проявлений кимберлитового магматизма тектонических факторов, а также о возможности выделения сквозных малоамплитудных тектонических нарушений осадочного чехла по материалам магнитометрических съемок; выявлены конкретные рудоконтролирующие структуры. При этом наиболее общей моделью является взаимодействие динамопары глубинных дислокаций – глубинного магноподводящего разлома и поперечных сдвигов, в узлах пересечения которых создаются наиболее благоприятные условия для растяжения.

Основное внимание было уделено выделению геологических признаков кимберлитоконтролирующих структур, обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого в геофизических материалах эффекта. На основе анализа характера геофизических полей (данные грави-магниторазведки, электроразведки и сейсморазведки) выделены закономерности тектонического строения территории и размещения разноранговых кимберлитовых таксонов, позволяющие с новых позиций рассмотреть многие аспекты строения и развития региона.

В целом выполненные комплексные исследования были нацелены на выделение дополнительных прогнозных геофизических критериев и поисковых признаков новых проявлений кимберлитового магматизма, что в условиях региона с широким развитием четвертичных отложений и мощным осадочным чехлом будет максимально способствовать повышению достоверности прогноза и поиска кимберлитовых образований в пределах Архангельской алмазоносной провинции на новом этапе исследования.

Данное исследование отражает лишь одну из сторон многогранного процесса – прогноза и поиска проявлений кимберлитового магматизма. Нами не рассматривались возможности обнаружения кимберлитовых тел мезозойского возраста, хотя такие предпосылки есть, с учетом сходства Канадской и Русской провинций (или существования единой мегапровинции Лавразии). Не исчерпаны и возможности обнаружения новых алмазоносных тел на территории Зимнебережного кимберлитового района на площадях распространения как палеозойских, так и вендских отложений. В этом процессе немаловажная роль будет принадлежать имитационному моделированию и на его основе прогнозированию новых типов аномалий и геолого-структурных ситуаций, характерных для трубок взрыва. Сделан один из шагов на пути исследования проблемы, полное решение которой возможно только совместными усилиями специалистов разного профиля.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований «Арктика» № 12-5-3-002-АРКТИКА, инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1009.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТРУКТУРНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

М.И. Лелюх, В.М. Фомин

АК «АПРОСА» ОАО, Мирный, Россия

Установление структурного контроля проявлений кимберлитового магматизма имеет принципиальное значение на всех этапах и стадиях производства ГРП на алмазы [Мокшанцев и др., 1974; Милашев, Соколова, 1984; и др.] И тем не менее насущная необходимость оценки остаточных перспектив продуктивных кимберлитовых полей, где уже существуют алмазодобывающие предприятия, придает особую значимость структурно-тектоническим исследованиям крупного (локального) масштаба.

В ЯАП на примере Алакит-Мархинского кимберлитового поля доказана эффективность целенаправленного опоискования выявленных локальных линейных структур (кимберлитовмещающих зон). Установлен целый ряд прогнозно-поисковых предпосылок и признаков обнаружения этих структур в различных геолого-геофизических полях. Основным признаком существования локальных рудоносных структур является наличие в них дотрубочных дайковых и жильных тел, «связывающих» диатремы [Лелюх и др., 1989]. Эта особенность характерна для большинства кимберлитовых полей, но особенно важна для полей промышленно значимых.

Опыт открытий в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле, как эталонном объекте, используется в настоящее время и в Накынском поле, все известные кимберлитовые тела которого расположены в пределах установленных кимберлитовмещающих зон («диагональные разломы»). Проблема в том, что формы отражения этих структур в геофизических полях не находят единого (уверенного) толкования. Особая надежда возлагается на высокочастотные сейсморазведочные работы МОГТ, как в двухмерном, так и в трехмерном варианте. Результаты показали, что сейсмические наблюдения 2D могут применяться с целью картирования зон слабоконтрастных тектонических нарушений. Внушают оптимизм и первые результаты выполненных опытно-промышленных сейсморазведочных работ в варианте 3D съемки на эталонных объектах, которые могут быть применены для детального объемного картирования изучаемой геологической среды, зон рудовмещающих нарушений и собственно аномальных зон, перспективных на обнаружение кимберлитовых тел различной морфологии.

Однако выделение (вычленение) из всей массы регистрируемых тектонических нарушений (зон), сингенных кимберлитообразованию, требует современных специальных исследований, в том числе и тектонофизических. Первые результаты таких работ [Гладков и др., 2008] показали возможность привлечения для этих целей тектонофизической информации, получаемой при изучении естественной трещиноватости в карьерах месторождений. Однако, с учетом слабой обнаженности территории Накынского поля, вывод авторов о распространении на нее единой тектонической обстановки, якобы определявшей локализацию кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста в пределах Якутской алмазонасной провинции, кажется нам недостаточным. Важное промышленное значение Накынского кимберлитового поля требует качественно нового уровня комплексной интерпретации материалов всех выполненных здесь геолого-геофизических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Гладков А.С., Борняков С.А., Манаков А.В., Матросов В.А. Тектонофизические исследования при алмазопоскоковых работах. Методическое пособие. М.: Научный мир, 2008. 175 с.
- Лелюх М.И., Крючков А.И., Устинов В.И. О закономерностях пространственного размещения кимберлитов в Айхальском районе // Проблемы кимберлитового магматизма. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1989. С. 88–97.
- Милашев В.А., Соколова В.П. Мегатрещиноватость коры и структурные границы кимберлитовых полей // Геология и геофизика. 1984. № 10. С. 133–140.
- Мокшанцев К.Б., Еловских В.В., Ковальский В.В. и др. Структурный контроль проявлений кимберлитового магматизма на северо-востоке Сибирской платформы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 97 с.

СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА КАК ОТРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ МЕЛОВЫХ СИНСДВИГОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КОМСОМОЛЬСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**А.Н. Митрохин, Б.И. Семеняк, В.П. Уткин, Г.А. Гоневчук, В.Г. Гоневчук,
П.Г. Коростелев, П.Л. Неволин**

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

Комсомольский рудный район (КРР), приуроченный к одноименной рудно-магматической системе (РМС) [Гоневчук, 2002; и др.], сформировался при апт-кампанской синсдвиговой тектономагматической активизации. Верхи его докайнозойского разреза слагают апт-кампанские эпиконтинентальные вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы риолитового и (выше) андезитового состава. Они перекрывают с резким угловым и азимутальным несогласием верхнетриасово-валанжинское кремнисто-терригенное основание. Чехол и основание последовательно прорваны апт-кампанскими интрузиями пурильского→силинского→чалбинского комплексов мяочанской серии. Стратифицированные и интрузивные образования рассекаются линейными или (реже) трубообразными телами кварц-турмалиновых метасоматитов, к которым приурочено большинство оловорудных месторождений и проявлений [Семеняк и др., 2000; Гоневчук, 2002; и др.]. Магматизм и рудоотложение РМС протекали на фоне левосторонней активизации ССВ разломов Комсомольской сдвиговой зоны (КСЗ) под действием ССЗ (340–350°) латерального сжатия. КСЗ в совокупности с синсдвиговыми СВ-ВСВ складчатыми структурами и СЗ, ВСВ и СВ разломами предопределила особенности локализации проявлений вещественных комплексов РМС [Уткин, 1989; Семеняк и др., 2000; и др.].

Установлено, что сформировавшаяся таким путем структурно-вещественная зональность Комсомольской РМС отражает в целом поступательное усложнение в процессе сдвиговых дислокаций ее структурного рисунка. Оно происходило через наложение на первичные (и в то же время простые по строению и крупные по размеру) СВ-ВСВ соскладчатые формы этих дислокаций, контролирующие эпиконтинентальные бассейны (Западный, Восточный) в синформах и батолитоподобные гранитоидные массивы (Чалбинский, Силинский) в антиформах, более зрелых их сколовых (ССВ левые сдвиги КСЗ) и деструктивных (СЗ сосдвиговые раздвиги) форм. Это наложение осуществлялось путем миграции сдвиговых дислокаций из нижних структурных уровней коры к верхним, сопровождавшейся синхронными проявлениями жерловых, экструзивных и штоково-дайковых фаций мяочанской серии и, далее, оруденения. Условия его локализации определялись особенностями развития и взаимодействия между собой названных форм сдвиговых дислокаций, обладающих присущей им и поддающейся изучению любой степени детальности [Уткин, 1989; Семеняк и др., 2000 и др.] пространственно-временной и иерархической архитектурой.

ЛИТЕРАТУРА

- Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: Магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 298 с.
- Семеняк Б.И., Митрохин А.Н., Сорокин Б.К. и др. Геохимия Комсомольского рудного района: терригенные и магматические породы // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 181–201.
- Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 166 с.

ИНФРАСТРУКТУРА ИНТРУЗИВОВ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕНЕВОЙ И СКОЛОВОЙ СКЛАДЧАТОСТИ (НА НАТУРНЫХ ПРИМЕРАХ В ПРИМОРЬЕ)

П.Л. Неволин, В.П. Уткин, А.Н. Митрохин

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

Структуры интрузивов объясняются развитием магматических очагов. Однако линейные и складчатые рисунки жильных фаз не всегда этому отвечают [Неволин и др., 2013]. Обычно преобладает S-тип и тела имеют сходные структурные рисунки и стадии их развития. В то же время рисунки представлены линейными и плоскостными элементами и по-разному ориентированы.

Максимально зафиксировано четыре структурных рисунка. 1-й – представлен траекториями сланцеватости останцов вмещающего каркаса и их самих. 2-й рисунок предопределен 1-м и сложен теневой полосчатостью гранитов. Тот и другой относим к *пассивному типу*. 3-й – образован контактами гранитов с останцами протокаркаса, а 4-й – составлен жилами второй фазы массива. 3 и 4-й отнесены к *активному типу*. Особенно интересен 4-й – аплитовый – рисунок, отчетливо выраженный. Он связан с проявлением сопряженных сколов, продуктов внешнего продольного сжатия. Сколы контролируют аплиты. Есть X, V, Y-образные и в форме складок «сколовые» жилы шириной в десятки метров. Ориентировки шарниров и сопряжений отвечают пологому положению средней оси напряжения σ_2 . Псевдоскладки не искажают, по крайней мере на своих ранних-средних стадиях, «старшие» рисунки. Следовательно, нельзя считать их продуктом течения расплава, выдавливания, избирательного замещения. Допустим, в начале аплитовой фазы импульсно нарастает сжатие σ_1 , которое приводит к формированию двух систем встречных надвигов S_1 и S_2 , сочетания которых стали канвой аплитизации. Согласно хорошо известному преобладанию одной из сопряженных сколовых систем [Спенсер, 1981; Шерман и др., 1983] пусть доминирует S_1 . Тогда система S_2 испытывает растяжение. Образуется угловато-волнистая разрывная поверхность. В связи с тем, что псевдоскладки аплитизированы, сколы приоткрывались. Теоретически растяжение возникает и в зонах, близпараллельных сжатию, в нашем случае – очень пологих, т.е. образуется зона растяжения (S_3). Видимо, в ее пределах и происходит приоткрывание сочетающихся сколов, достаточное для их выполнения магматическим или жильным веществом. При дальнейшем сжатии зона S_3 постепенно изгибается, занимая положение $S_3^1 - S_3^2 - S_3^3$ при поэтапном сжатии. Изгиб S_3 формирует свод и разуплотняет среду. Таких зон по вертикали несколько. Они способствуют вторичному смятию субстрата, однажды уже сжатого предельно. Сколами, образующими псевдоскладки, во многом контролируется и распространение гранитного вещества, замещающего вмещающие породы в сводах антиформ.

ЛИТЕРАТУРА

- Неволин П.Л., Уткин В.П., Митрохин А.Н., Касаткин С.А. Роль широтного сжатия в формировании палеозойских интрузивов Южного Приморья // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 2. С. 44–62.
- Спенсер Э.У. Введение в структурную геологию. Л.: Недра, 1981. 367 с.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Область динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.

И.А. Потехина¹, А.В. Дроздов², А.С. Гладков¹, А.В. Андреев¹, А.М. Афонькин¹

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА» ОАО, Мирный, Россия

Существующие для месторождения Трубка Мир структурные схемы устарели и малопригодны для решения прикладных задач, возникающих на современном этапе эксплуатации. В связи с этим было начато комплексное изучение разрывных структур и трещиноватости на месторождении с помощью современных методических приемов. Схема производства геолого-структурных и тектонофизических наблюдений включала комплекс работ, направленных на детальное изучение трещиноватости и разрывных нарушений, оценку взаимоотношений трещинных систем, определение основных численных параметров разрывных нарушений и трещин, а также восстановление полей тектонических напряжений.

Анализ полученных материалов и замеров трещин, выполненных геологами в процессе отработки рудных лент, позволил охарактеризовать разломы и их фрагменты как во вмещающих породах, так и в рудном теле. Установлено, что Трубка Мир приурочена к участку пересечения разломов четырех направлений: меридионального, северо-западного, широтного и северо-восточного. Первые три из них по своим параметрам отвечают региональным структурам. Ранг разлома северо-восточной ориентировки пока не определен.

Меридиональное нарушение (Параллельный разлом) залечено дайкой долеритов шириной первые десятки метров, в пределах которой зафиксированы зоны дробления и трещиноватости, свидетельствующие о его последующей активизации. Нарушения других направлений во вмещающих породах чаще всего представлены зонами повышенной трещиноватости, иногда со следами дробления и брекчирования. В пластах соли, где в силу физико-механических свойств пород сохраняются только крупные дизъюнктивы, разломные зоны представляют собой серии сближенных трещин и зон дробления. Кимберлитовое тело разбито многочисленными субвертикальными зонами тектонической трещиноватости, шириной от первых десятков сантиметров до первых метров, всех перечисленных выше систем: субмеридиональной, субширотной, северо-западной и, в меньшей степени, северо-восточной.

Густая сеть субвертикальных дизъюнктивов в рудном теле, вкупе с наличием субгоризонтальных и наклонных разрывов, является предпосылкой высокой проницаемости массива кимберлитов для подземных и поверхностных вод. Сравнительный анализ схемы разрывных нарушений и данных о местоположении и интенсивности участков водопроявлений показал, что максимальные значения водопритокков приходятся на блок, который ограничен разломами субмеридионального и северо-восточного простирания, а также контактом кимберлитов и вмещающих пород. Собственно водопроявления в блоке приурочены к локальным нарушениям субширотного, северо-западного и, отчасти, субмеридионального простирания и узлам их пересечений.

Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» ОАО.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ВЫВОДЫ ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ

М.В. Родкин^{1,2}, А.Р. Шатахцян³

¹ Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

³ Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Рассматриваются результаты статистического анализа данных по крупным и суперкрупным рудным месторождениям, а именно эмпирические распределения величин запасов и концентраций руд и величины фрактальной размерности расположения месторождений. Для месторождений различных видов сырья наблюдается однотипный степенной характер распределения величин запасов и логнормальный – для значений концентрации руд. Значения величин фрактальной размерности растут с пространственным масштабом от величин менее единицы до близких к двум. Выявленные данные указывают на высокую степень кластеризации крупных рудных месторождений. Расстояния между ближайшими крупными месторождениями данного вида систематически намного меньше, чем в случае их случайного расположения.

На масштабах от 100 и до 1000 км фрактальная размерность расположения месторождений близка к единице. Это указывает на то, что в характере локализации крупных и суперкрупных рудных месторождений доминирует их приуроченность к линейным объектам (предположительно активным границам плит и террейнов). На масштабе от нескольких тысяч до 10 тысяч километров размерность расположения месторождений часто приближается к двум (что указывает на более равномерное по площади расположение). На еще больших масштабах значения размерности снова уменьшаются, что, видимо, определяется локализацией месторождений на континентах и их отсутствием на акваториях. Выявленные закономерности находят возможную интерпретацию в рамках формирования крупных рудных и углеводородных месторождений как попутного эффекта превращений больших объемов вещества между различными по составу резервуарами тектоносферы.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ОКИНО-КИТОЙСКОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОЯСА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Ж.В. Семинский

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

Рассматриваемый металлогенический пояс, в пределах которого сосредоточено значительное количество золоторудных месторождений и рудопроявлений региона, как тектоноген, на разных глубинных уровнях имеет сложное гетерогенное строение, обусловленное многообразием геодинамических процессов его формирования.

На первом этапе – плитотектоническом – охватившем байкальский и каледонский циклы, проявлялась вся гамма различных геодинамических обстановок: спрединга, субдукции, коллизии, аккреции и др. При этом такие обстановки повторялись, происходило разрушение ранее сформированных тектонических элементов и образование новых, что существенно усложняет строение территории и затрудняет однозначную интерпретацию геодинамических комплексов. Возник сложный коллаж тектонических структур и их фрагментов. Далее территория вступила в этап континентального развития, который можно рассматривать как плюмтектонический внутриплитный. Последний выразился в формировании Окинского мегасвода, имеющего ядерную, промежуточную и краевую (периферическую) зоны. Мегасвод, особенно его периферическая зона, интенсивно дислоцирован под воздействием разломообразования и блоковых перемещений. В результате этих процессов в верхних слоях земной коры имеют место древние блоки-микротеррейны (Шутхулайский (Тисса-Сархойский), Бутугольский, Гарганский), а также сшивающие и перекрывающие комплексы.

Определяющими элементами геологического строения территории во многих случаях являются разломы различных типов и порядков. Наиболее крупные имеют близширотную и северо-западную ориентировку, крутое падение, часто «ответвляются» от Главного Саянского разлома и представляют собой серии субпараллельных разрывов. Зоны надвигов связаны, вероятно, с перемещением пластин в процессе сводообразования.

Анализ распределения золоторудных и других проявлений показал, что их положение, с одной стороны, определяется элементами тектонически переработанного протерозойско-раннепалеозойского фундамента, с другой – связано с зонами крупных, как правило, долгоживущих разломов и контролируемых ими плутонических комплексов. Окино-Китойский металлогенический пояс занимает южную периферическую зону Окинского мегасвода, являющуюся наиболее тектонически нарушенной и гетерогенной и включающую древние блоки-микротеррейны. В составе металлогенического пояса выделены (в границах докембрийских блоков и их ближайшего обрамления) рудные районы Тисса-Сархойский, Гарганский, Бутугольский, а также линейно вытянутые рудные зоны (Яматинско-Окинская, Пограничная).

Среди наиболее значимых золоторудных объектов эндогенной природы установлены два модельных типа, имеющих различные генетические характеристики.

К *первому* относятся рудные системы длительного развития и сложного генезиса, для которых применимы термины «полихронные» и «полигенные». В пределах рассматриваемой территории они имеют наибольшее промышленное значение (месторождение Зун-Холба). Процесс их формирования разделяется на три этапа: 1 – накопление повышенных концентраций золота при отложении осадочных толщ, 2 – перераспределение и концентрация золота в результате метаморфизма, складкообразования и смятия в тектонически активных зонах, 3 – гидротермальная деятельность с привносом, перераспределением и концентрацией золота в жильных телах и зонах прожилково-вкрапленной минерализации. При этом на разных рудных объектах роль каждого из указанных этапов золотонакопления может быть различной. Эти рудообразующие системы окончательно консервируются в виде месторождений на плюмтектоническом внутриплитном этапе. Условием их формирования является функционирование долгоживущих источников тепломассопереноса и энергии. При реализации таких рудоносных систем в месторождения большую роль играют долгоживущие зоны разломов, создающие благоприятную динамическую и литолого-структурную обстановку.

Месторождения этого модельного типа отчетливо связаны с древними блоками-микротеррейнами, обрамленными офиолитовыми зонами. Блоки ограничены долгоживущими зонами разломов и

разделяются ими на отдельные более мелкие части. Такие разломы часто являются рудоконтролирующими.

Второй модельный тип золотого оруденения формируется в процессе деятельности рудных систем, имеющих корни в очагах гранитной магмы. Это типичные гидротермальные моногенные месторождения. Жильные рудные тела локализуются в пределах малых интрузивов или в непосредственной близости от них во вмещающих породах. Это очагово-купольные постройки с гипабиссальными или субвулканическими магматическими комплексами в центре (Сагангольская, Хорингольская, Коневинская и др.). Рудообразующие системы в данном случае отличаются одноэтапностью (но многостадийностью) развития, являются по сравнению с первым типом короткоживущими. В то же время в процессе их образования источником рудного вещества могут быть не только магматические очаги, но и те породы, через которые происходит движение магматического и гидротермального флюида.

ВЛИЯНИЕ «ЭКЛОГИТОВОГО БАРЬЕРА» НА МАГМАТИЗМ СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ И ЗОН СУБДУКЦИИ

Н.В. Сурков, Ю.Г. Гартвич, В.М. Галкин, А.И. Хмельников

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Проблема так называемого «эклогитового барьера» изучалась многими исследователями, но это не только не привело к ее решению, но и не внесло ясности в понимание, что такое «эклогитовый барьер». Собственно, сама проблема возникла при рассуждениях, как получить из первичного ультраосновного расплава магмы, подобные гранитным.

К настоящему времени для модельных базовых геологических систем накоплен достаточно большой экспериментальный материал, позволяющий перейти к некоторым обобщениям [Сурков, 1995]. В частности, на фазовой диаграмме системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ выделены эвтектические тренды, которые контролируют состав магматического расплава при его подъеме к поверхности [Сурков, Гартвич, 2012]. Кроме того, развитие геодинамических моделей, в частности теории термохимического плюма, выявило наличие конвективных ячеек в канале плюма, которые соответствуют представлениям о наличии нескольких уровней магматических очагов.

Первичный ультраосновной магматический расплав формируется на глубинах от 600 км, и эволюция его состава до глубин около 100 км контролируется фундаментальной эвтектикой $L=\text{Fo}+\text{Crpx}+\text{Orpx}+\text{Ga}$. При подъеме расплава к поверхности происходит осаждение и отделение оливины, а состав остаточного расплава изменяется в сторону увеличения концентрации кремнезема до области средних составов. При более низких давлениях, ниже 2.6–3.0 ГПа, эвтектический тип плавления сменяется на перитектический, вплоть до давления 1.5–1.6 ГПа. В этом интервале давлений в процессе кристаллизационной дифференциации осаждаются магнезиошпинели, оливины и ортопироксены. Остаточный расплав обогащается кремнеземом и кальциевым компонентом. При давлениях ниже 1.5–1.6 ГПа характер плавления снова меняется на эвтектический. В интервале давлений 0.8–1.5 ГПа эволюция состава расплава контролируется эвтектикой $L=\text{An}+\text{Crpx}+\text{Orpx}+\text{Sp}$, а при давлениях ниже 0.8 ГПа – эвтектической реакцией $L=\text{Fo}+\text{An}+\text{Crpx}+\text{Orpx}$. В этом интервале давления в процессе кристаллизационной дифференциации происходит отделение плагиоклаза. Поскольку плагиоклаз представляет собой твердые растворы анортитового (тугоплавкого) и альбитового (низкоплавкого) компонентов, процесс кристаллизационной дифференциации с участием плагиоклаза, обогащенного анортитом, смещает состав остаточного расплава в сторону повышенного содержания щелочных компонентов и кремнезема. При высокой степени кристаллизационной дифференциации остаточный расплав оказывается в области щелочных кварцнормативных составов, близких по своему характеру к гранитам. Эта модель позволяет преодолеть так называемый «эклогитовый барьер» и объяснить происхождение гранитных пород за счет материала ультраосновной, оливиновой, мантии.

ЛИТЕРАТУРА

- Сурков Н.В. Экспериментальное исследование устойчивости и плавления дивариантных ассоциаций в форстеритнормативной части системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ в связи с петрологией верхней мантии // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995, Т. 11. С. 27–43.
- Сурков Н.В., Гартвич Ю.Г. Физико-химическая модель для кристаллизации пород щелочноземельной серии // Геохимия. 2012. № 10. С. 891–908.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ РОЛЬ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ

С.Н. Тагильцев¹, А.Е. Лукьянов², В.С. Тагильцев³, Н.Н. Михальчук⁴

¹ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

² НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела, Санкт-Петербург, Россия

³ Научно-производственная группа «Тектоника», Екатеринбург, Россия

⁴ ООО «Горно-Химический инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия отработки месторождений полезных ископаемых во многом определяются наличием линейных тектонических зон. Тектонические разломы способствуют высокой изменчивости фильтрационных свойств скальных пород. Наличие тектонических нарушений определяет гидрогеологическую структуру скальных массивов, в связи с чем возникает необходимость их детального изучения.

Для изучения гидрогеологических свойств тектонических нарушений необходимо применять особый подход, в основе которого должно лежать понимание механизма и закономерностей формирования тектонических разломов. Такой подход должен совмещать в себе методы гидрогеологии, геомеханики, тектонофизики и структурной геологии. В настоящее время наиболее полно данный подход реализован в рамках относительно нового научного направления «гидрогеомеханика скальных массивов» [Тагильцев, 2003].

Изучение тектонических нарушений не должно заключаться в их простом выделении, описании и учете. Для успешного решения практических задач необходимо правильное понимание природы тектонических разломов как самостоятельного геологического явления.

Ключевыми вопросами при изучении гидрогеологических свойств тектонических нарушений являются: современное напряженно-деформированное состояние земной коры, существование скальных массивов в состоянии предельного равновесия, направление действия современных тектонических сил, ориентировка осей главных нормальных напряжений и, наконец, собственная роль тектонических разломов как регуляторов геомеханических процессов. Рассмотрение этих вопросов нельзя проводить в отрыве от базовых понятий геомеханики [Тагильцев, 2012].

Деформация скальных массивов представляет собой нормальный процесс высвобождения материала из-под напряжений. Избыточные напряжения сбрасываются в результате деформаций путем образования трещин, заложения разломов или смещения по ним. Однако глобальная природа избыточных напряжений, наведенных силами гравитации, предопределяет бесконечность этого процесса. Тектонические напряжения в скальных массивах постоянно сбрасываются путем деформации, но при этом никогда не могут быть исчерпаны до конца. Отсюда вытекает важное условие существования породных массивов в состоянии предельного равновесия.

Тектонические разломы являются природными регуляторами напряженного состояния земной коры, своего рода шарнирами, обеспечивающими деформацию скальных массивов и сброс избыточных тектонических напряжений. Понимание такой геомеханической роли тектонических разломов является ключом к изучению их гидрогеологических и инженерно-геологических свойств.

Для изучения тектонических разломов в геотектонике, тектонофизике и гидрогеомеханике широко используются методы геолого-структурного анализа. Одним из наиболее простых методов геолого-структурного анализа является построение роз-диаграмм пространственной ориентировки тектонических структур и линияментов рельефа. Построение роз-диаграмм позволяет увидеть, что в большинстве случаев имеющийся набор локальных тектонических нарушений в породном массиве образует сложную закономерную структуру. Такая деформационная структура является элементом самоорганизации скальных массивов в условиях постоянного воздействия избыточных напряжений и естественным условием их существования в состоянии предельного равновесия.

ЛИТЕРАТУРА

Тагильцев С.Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 88 с.

Тагильцев С.Н. Базовые понятия геомеханики – трение и деформация // Геомеханика в горном деле: Докл. науч.-техн. конф. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 3–12.

ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

С.В. Усанов, А.Д. Сашурин

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Крутопадающие тектонические нарушения – участки горного массива, где реализуются движения геоблоков под воздействием природных процессов. Здесь же активнее всего реализуются движения, спровоцированные как открытыми, так и подземными горными работами. Подвижность горных пород в зоне разлома проявляется в трех основных формах:

- движения на границах геоблоков колебательного характера, с широким спектром амплитуд (до 100 мм) и периодов (от нескольких минут до одного года) [Коновалова, 2010];
- трендовые движения, имеющие постоянный растущий вектор [Усанов, 2011];
- мгновенные локальные подвижки (техногенное землетрясение) с магнитудой, достигающей в отдельных случаях 6 [Ловчиков, 2013].

Каждый из видов геодинамических движений по-своему влияет на конструкции зданий и сооружений. Колебательные движения на границах блоков вызывают в зданиях с момента постройки такие повреждения, как множественные мелкие трещины в несущих конструкциях, отслоения отделочных слоев стен, протекание, защемление подвижных элементов, а также усталостные эффекты в материалах. Трендовые движения образуют в конструкциях постоянно нарастающие деформации, которые в течение двух-трех десятков лет, а иногда и нескольких лет приводят к необратимым разрушениям, вплоть до прекращения эксплуатации объекта. Мгновенные подвижки горного массива способны вызывать одновременное полное разрушение здания или инженерного сооружения и являются наиболее опасным и сложнопрогнозируемым явлением [Сашурин, 2009].

Особое значение для сохранности объекта имеет и его расположение по отношению к тектоническому нарушению. Самым известным случаем является расположение сооружения поперек тектонического нарушения, когда деформации реализуются в линейном виде, ступенчато и сконцентрировано на локальном участке. Чаще всего сооружение располагается под углом к простиранию нарушения, и тогда деформирование протекает в сложных функциях, а деформации распространяются по всей конструкции, создавая впечатление хаотичного распределения. Расположение здания на одном из крыльев дизъюнктива – наиболее безопасный случай, однако не исключаящий влияния резкой подвижки.

В совокупности перечисленные факторы определяют долговечность и безопасность зданий и сооружений, периодичность проведения восстановительных ремонтов и риск полного разрушения. Для обеспечения геодинамической безопасности недропользования необходима диагностика территорий по деформационным и структурным характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

- Коновалова Ю.П. Исследование циклических короткопериодных геодинамических деформаций территорий при выборе площадок под строительство атомных станций // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 7. С. 269–274.
- Ловчиков А.В. Сильнейшие горно-тектонические удары и техногенные землетрясения на рудниках России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 4. С. 68–73.
- Сашурин А.Д. Почему мост «опустил крылья» // Технадзор. 2009. № 8. С. 22–26.
- Усанов С.В. Геодинамические движения горного массива при техногенном воздействии крупного горно-обогатительного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № S11. С. 248–255.

6

ФЛЮИДНАЯ И ГАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ РАЗЛОМНЫХ ЗОН

ПРОНИЦАЕМЫЕ ЗОНЫ ЛИТОСФЕРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев

Научная станция РАН, Бишкек, Россия

Основной целью глубинных геофизических исследований, проводимых Научной станцией РАН, является идентификация в литосфере Тянь-Шаня блоков и слоев земной коры с аномальными физическими параметрами, т.е. определение ее расслоенности и блоково-разломной структуры, выявление зон трещиноватости или разуплотнения горных пород, которые могут быть проницаемыми зонами для миграции мантийных флюидов. Результаты исследования крупнейших разломных зон методом магнитотеллурического зондирования свидетельствуют о листрической форме тектонических нарушений, которые в геоэлектрических моделях проявляются как зоны пониженного электрического сопротивления, глубина выполаживания листрических разломов для территории Центрального Тянь-Шаня от 20 до 45 км [Баталева и др., 2006; Рыбин, 2011]. Таким образом, разломные структуры этого типа не могут служить каналами для переноса мантийных флюидов. При этом имеется достаточно много геохимических свидетельств присутствия мантийных флюидов в верхней части земной коры, но вопрос о механизме транспортировки глубинного вещества в зону хрупких деформаций в отсутствие высокопроницаемых глубинных зон остается открытым. Для объяснения этого нами рассматривалась транзитная полосчатость сейсмического разреза, полученного при реализации международного проекта «MANAS», на котором самые крупные колонны наиболее «мутных» (по методу МОВ ОГТ) сред под Аксайской и Нарынской впадинами, а также в Атбаши-Иныльчекской шовной зоне, действительно, имеют естественную природу, отражая области (каналы) высокой интенсивности глубинных флюидно-газовых и тепловых потоков. Предполагается, что именно они в значительной мере обеспечивают вертикальные перетоки и перераспределение вещества в различных слоях коры, в том числе его нагнетание под системы поднятий с утолщением коры и отток из-под межгорных и предгорных прогибов с утонением коры [Макаров и др., 2010].

С целью детализации распределения структурных особенностей и физических неоднородностей слоев литосферы и верхней мантии в настоящей работе также была выполнена совместная интерпретация геоэлектрических моделей, скоростных разрезов, распределения эманаций гелия и сейсмических событий различных энергетических классов, построены геодинамические модели литосферы Тянь-Шаня. Установлена взаимосвязь аномального поведения электрических и скоростных характеристик среды с распределением эманаций гелия и сейсмических событий. Петрофизические представления о составе и состоянии вещества в зоне сочленения Тарима и Тянь-Шаня содержатся в работе [Баталев, 2011].

ЛИТЕРАТУРА

- Баталев В.Ю. Петрологическая интерпретация магнитотеллурических данных глубинной зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня // ДАН. 2011. Т. 438, № 2. С. 212–216.
- Баталева Е.А., Буслов М.М., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Сафронов И.В. Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры Юго-Западного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2006. № 9. С. 1036–1042.
- Макаров В.И., Алексеев Д.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Беляев И.В., Брагин В.Д., Дергунов Н.Т., Ефимова Н.Н., Леонов М.Г., Мунирова Л.М., Павленкин А.Д., Рекер С., Рослов Ю.В., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г. Подвиг Тарима под Тянь-Шань и глубинная структура зоны их сочленения: основные результаты сейсмических исследований по профилю MANAS (Кашгар–Сонкель) // Геотектоника. 2010. № 2. С. 23–42.
- Рыбин А.К. Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по результатам магнитотеллурических исследований М.: Научный мир, 2011. 232 с.

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА В Г. ИРКУТСКЕ

А.А. Бобров

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Исследование временных вариаций объемной активности подпочвенного радона (Q) проводилось в г. Иркутске в зоне влияния Ангарского разлома. Станция мониторинга радона оборудована двумя типами приборов: РРА-01М-03 и ВМС2.

Концентрация радона в подпочвенном воздухе варьируется в зависимости от внешних (планетарных) и внутренних (геодинамических) по отношению к Земле факторов, причем в зонах активных разломов газовые эманации меняются наиболее интенсивно. Внешние и внутренние факторы действуют совместно, но их роль в вариациях объемной активности радона различна в отдельные отрезки времени. Существенное изменение проницаемости во времени обусловлено интенсивными изменениями напряженного состояния горного массива под воздействием планетарных и геодинамических факторов. Влияние первой группы факторов выражается в синхронных колебаниях объемной активности радона и атмосферного давления, которые происходят в противофазе. Преобладание суточных и четырехсуточных периодов свидетельствует, что на напряженном состоянии горного массива сказываются лунные приливы и циклонические явления, связанные с взаимодействием Земля–Солнце. Влияние второй группы факторов выражается в отчетливой связи эманаций радона с проявлениями сейсмической активности. При этом доминирующее влияние атмосферного давления на выход радона нарушается.

Анализ полученных данных показал, что характер поля радона изменился с 29 января по 22 февраля 2014 г. При этом наблюдалось отсутствие связи между объемной активностью подпочвенного радона и атмосферным давлением. Согласно каталогу Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН, за этот период времени произошло 15 сейсмических событий. Самым близким (62 км) к месту мониторинговой станции зарегистрировано событие, которое произошло 4 февраля 2014 г. в 23:06:10 по Гринвичу в районе пос. Листвянка. С задержкой в 19 часов в ряду данных объемной активности радона, полученных прибором РРА-01М-03, наблюдается кратковременное падение параметра Q более чем на порядок.

Таким образом, анализ мониторинговых измерений объемной активности почвенного радона в зоне влияния Ангарского разлома показал зависимость вариаций параметра Q во времени от планетарных и геодинамических факторов. Перспективы этих работ связаны с созданием плотной сети мониторинговых станций на территории Байкальского рифта, получением более длинных рядов измерений эманационных и метеопараметров, а также созданием автоматизированной системы их обработки. При этом вероятность успеха прогностических исследований возрастет на порядок, если характер мониторинговых измерений будет комплексным в плане фиксирования дополнительных составляющих потока подземных газов, а также привлечения данных по изменению напряженно-деформированного состояния горного массива.

Работы выполнены при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00322).

А.М. Кузин

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

Основными отражающими границами при региональных наблюдениях МОГТ в консолидированной коре являются листрические разломы. В работе [Глубинное строение..., 2010] была предложена гипотеза образования чашеобразных (лепестковых) структур (овоидов) как следствие вращения вещества плюма. Эта гипотеза основана на решении задачи по тепловой модели плюма [Добрецов, Кирдяшкин, 1994]. При моделировании плюмового потока было обнаружено, что осесимметричное состояние конвективного перемещения потока вещества нарушается – восходящее течение по оси канала и нисходящее у стенок канала. Винтообразные перемещения при функционировании плюма могут вызывать на поверхности земли образование круговых и S-образных или петлеобразных структур [Добрецов, Кирдяшкин, 1994].

Отношение мощности земной коры к мантии приблизительно составляет 1:100. На этом фоне даже локальные конвективные мантийные потоки флюидов должны оказывать влияние на структуру земной коры. Однако преимущественного присутствия структур вращения вещества не фиксируется, при фактически повсеместном наличии кольцевых или вихревых структур. Более предпочтительным нужно полагать воздействие флюида. Лепестковые структуры не только являются открытыми для миграции флюидов структурами, но и могут генерировать очаги землетрясений. На Гармском геодинамическом полигоне были выявлены наклонные, выполаживающиеся с глубиной сейсмогенные дуги, которые соответствуют надвигам на крыльях Таджикской депрессии, расположенной в центральной части полигона [Гусева и др., 1983].

Возможное присутствие вихревых структур, связанное с флюидными потоками, по-видимому, имеет место в Памиро-Гиндукушской сейсмогенной зоне. В Гиндукушской части фокальной зоны при ее субширотном простирании индивидуальные оси укорочения p в очагах в интервале глубин 0–200 км ориентированы диагонально (СЗ–ЮВ) относительно простирания зоны, а оси удлинения t субвертикальны, что отвечает надвиговому типу деформирования. По мере перехода от поверхности к более глубоким горизонтам происходит плавный разворот субгоризонтальной оси укорочения от 114 до 182° [Шевченко и др., 2011].

Вихреобразные структуры в последние годы были установлены в зонах вертикальных разрывных нарушений осадочного комплекса пород. В работе [Гринь Н.Е., Гринь Д.Н., 2008] приведен пример такой вихревой структуры на шельфе, выделенный по данным МОГТ.

Образование вихревых структур – общее явление в геологической среде, фиксируемое при миграции флюидных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

- Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы*: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсейс: В 2 т. + комплект цвет. прил. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2010. Т. 2 400 с.
- Гринь Н.Е., Гринь Д.Н. Затухание сейсмических волн и прогнозирование путей движения флюидов // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы: Материалы Всероссийской конференции. М.: ГЕОС, 2008. С. 134–137.
- Гусева Т.В., Лукк А.А., Певнев А.К., Сквородкин Ю.П., Шевченко В.И. Геодинамика района Гармского полигона в Таджикистане // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. 1983. № 7. С. 10–36.
- Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Тр. ОИГГМ СО РАН. Вып. 830. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1994. 299 с.
- Шевченко В.И., Арефьев С.С., Лукк А.А. Близвертикальные скопления очагов землетрясений, не связанные с тектонической структурой земной коры // Физика Земли. 2011. № 4. С. 16–38.

ФЛЮИДОПРОВОДНОСТЬ ЗОН ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ

Ф.А. Летников

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Среди многообразия крупных тектонических нарушений в литосфере выделяется особая группа – зоны глубинных разломов. Критерии, по которым такие разломы можно относить к глубинным, следующие: прежде всего это их линейная протяженность, когда разломы прослеживаются на десятки, сотни и даже тысячи километров, при ширине внутриразломного пространства от сотен метров до нескольких километров; повсеместное проявление ориентированных вдоль простирания разлома тектонических структур, начиная от линейной складчатости вплоть до рассланцевания пород и формирования бластомилонитов; линейное, согласное с простиранием разлома размещение дайковых поясов; четкое соответствие минеральных парагенезисов во внутриразломных тектонитах Р-Т уровням глубинности формирования единой системы сланцеватости, которая выступает в качестве эффективного и масштабного флюидного переноса. В глобальном значении понятие «флюид» – это существенно водная, водно-газовая, паровая или газовая среда, состоящая из компонентов флюида в соединении с петрогенными, рудными и иными элементами, заключенная или переносимая в массе горных пород. В зонах глубинных разломов особую роль играют флюидные системы.

Флюидная система – единая и целостная совокупность флюидных компонентов, представляющих стационарную систему, характеризующуюся граничными физико-химическими параметрами.

Флюидный режим – совокупность физико-химических параметров, характеризующих состояние флюидных систем.

Обязательным атрибутом глубинного разлома является длительный и масштабный флюидный перенос, при котором на базе таких глубинных флюидных систем протекали процессы преобразования горных пород, их плавления и формирования рудных месторождений, которые за пределами глубинных разломов не встречаются [Летников и др., 1986].

Уникальность внутриразломных процессов заключается в проявлении в них эффекта Бриджмена «давление + сдвиг» (до 40 кбар) [Bridgman, 1958], вследствие которого коэффициенты диффузии растут на 10–15 десятичных порядков по сравнению с таковыми в твердом теле без применения давления и сдвига; скорости химических реакций растут на 3–8 десятичных порядков по сравнению с жидкой фазой. Происходит образование термодинамически несовместимых фаз, например тонкодисперсных алмазов (месторождение Кумды-Куль, Северный Казахстан) [Летников, 1983]. Это эндотермические процессы, когда вся необходимая для химического процесса энергия получалась непосредственно через механическую энергию, накопившуюся в веществе в процессе сжатия и деформации сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

- Летников Ф.А. Образование алмазов в глубинных тектонических зонах // ДАН СССР. 1983. Т. 271, № 2. С. 433–435.
- Летников Ф.А., Савельева В.Б., Бальшев С.О. Петрология, геохимия и флюидный режим тектонитов. Новосибирск: Наука, 1986. 221 с.
- Bridgman P.W. The physics of high pressure. London: Bell and Sons, 1958. 308 p.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ В 2008–2013 ГГ. И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО ГЕЛИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

М.Н. Лопатин¹, Р.М. Семенов^{1,2}

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

Давно установлено, что зарождение и реализация очагов землетрясений оказывают влияние на изменение химического и газового состава подземных вод. При этом их предсейсмические вариации часто являются предвестниками возникновения землетрясений. Так, в Южном Прибайкалье, на основании изучения вариаций концентраций растворенного гелия в глубинной воде Байкала, были выявлены краткосрочные предвестники сильного Култукского землетрясения 2008 г. Возникновение этих вариаций, на наш взгляд, объясняется моделью подготовки и реализацией очага землетрясения. Из многих существующих в настоящее время моделей очагов для Южного Прибайкалья, характеризующегося развитием рифтогенного процесса, наиболее подходящей является дилатантно-диффузная модель [Scholtz et al., 1973].

Энергетические классы землетрясений, которые могут оказывать влияние на изменения концентраций растворенного гелия в подземных водах и их эпицентральных расстояния, рассчитываются по предложенной В.Л. Барсуковым с коллегами [Барсуков и др., 1989] зависимости:

$$K' = K - A \lg R,$$

где K' – условная энергетическая характеристика, K – энергетический класс землетрясения (десятичный логарифм энергии), A – специально подобранный численный коэффициент, R – расстояние от эпицентра землетрясения до точки наблюдения, км.

Полученные для Южного Прибайкалья значения приведены в таблице.

Условная энергетическая характеристика землетрясений (K') в пункте гидрогеохимических наблюдений в связи с энергетическим классом землетрясений и их эпицентральными расстояниями

Координаты пункта водозабора, град.		Энергетический класс землетрясения, K	Координаты площади, на которой условная энергетическая величина землетрясения в пункте водозабора $K' \geq 6$, град.	
широта	долгота		широта	долгота
51.87	104.81	9	51.78 – 51.06	104.67 – 104.95
		10	51.65 – 52.09	104.46 – 105.16
		11	51.42 – 52.32	104.10 – 105.52
		12	50.97 – 52.77	103.38 – 106.24
		13	49.14 – 54.60	100.52 – 109.10
		14	47.33 – 56.41	97.67 – 111.95
		15	45.05 – 58.68	94.11 – 115.51

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 14-05-00245).

ЛИТЕРАТУРА

- Барсуков В.Л., Беляев А.А., Серебренников В.С. Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений). М.: Наука, 1989. 136 с.
 Scholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake prediction: a physical basis // Science. 1973. V. 181. P. 803–810.

ФЛЮИДНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЗОНЫ ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА В КАЛЬДЕРЕ УЗОН НА КАМЧАТКЕ

Ю.Ф. Мороз^{1,2}, Т.А. Мороз¹, Г.А. Карпов¹

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

² Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Кальдера Узон характеризуется мощным проявлением геотермальной активности. По разнообразию видов термопроявлений Узонское термальное поле уникально и не имеет себе равных на Камчатке. Глубинный геоэлектрический разрез изучен методом магнитотеллурического зондирования по двум ортогональным профилям, пересекающим кальдеру в субширотном и субмеридиональном направлениях.

В результате интерпретации зондирований с привлечением современных методик выявлены особенности в распределении электропроводности пород до глубин 4–5 км. В осадочном чехле удельное электрическое сопротивление пород меняется от первых десятков до первых единиц Ом·м. Оно в основном зависит от минерализации вод и степени насыщенности ими пород осадочного чехла. Низкие значения удельного электрического сопротивления отмечаются в центральной части кальдеры в районе термальных полей, где минерализация гидротерм достигает 5 г/л. Характерно то, что в районе термальных полей аномалии повышенной электропроводности приближены к дневной поверхности.

В основании осадочного чехла (докальдерном комплексе пород) выявлена субвертикальная проводящая зона, связываемая с глубинным разломом. Он приурочен к Восточному термальному полю, где проявляется большое число гидротермальных источников. Удельное электрическое сопротивление пород в зоне разлома составляет первые десятки – первые единицы Ом·м. За пределами зоны разлома оно возрастает от первых десятков до первых сотен Ом·м.

По удельному электрическому сопротивлению выполнена оценка пористости пород. Она в осадочном чехле с повышенной электропроводностью пород, приуроченных к термальным полям, достигает 60 %. По направлению к краевым частям кальдеры пористость пород уменьшается до 15–30 % и ниже. Зона глубинного разлома в основании кальдеры характеризуется пористостью пород в первые единицы процентов. Увеличенная пористость разлома до 5–7 % определяется на глубинах от 1.5 до 5.0 км. Здесь, возможно, располагается основной гидротермальный резервуар. За пределами зоны разлома пористость пород уменьшается до десятых долей процента.

На основе полученных и имеющихся геолого-геофизических данных представлена концептуальная модель формирования гидротермальных источников. Основным элементом модели является зона глубинного разлома в основании кальдеры, которая характеризуется повышенной пористостью пород. Повышенная проводимость зоны разлома связана с наличием высокоминерализованных растворов, насыщающих породы. Зона разлома, по-видимому, представляет собой канал, по которому глубинные высокотемпературные флюиды поступают из области корового магматического очага (возможно из верхней мантии) в геотермальный резервуар, который располагается в районе зоны с высокой проницаемостью пород на глубинах 1.5–3.5 км. Из резервуара геотермальные воды перемещаются в осадочный чехол, где они перемешиваются с вадозными водами и по проницаемым трещинам проникают в различных районах кальдеры на дневную поверхность. Значительную роль в формировании гидротермальных источников играет инфильтрация метеорных вод. Они, проникая за пределами высокопроницаемой зоны в докальдерный комплекс, нагреваются в районе магматического очага и поступают в геотермальный резервуар.

Важное место в формировании гидротермальных источников занимают глубинные флюиды. На их присутствие указывают индикаторы в виде спонтанных газов и химических элементов. Наряду с этим в гидротермальных водах присутствуют углеводороды, которые свидетельствуют о возможном неорганическом происхождении нефти.

РОЛЬ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ

А.М. Плюснин, Е.Г. Перязева, Р.Ц. Будаев

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

На восточном побережье озера Байкал располагается несколько озер, на формирование ресурсов и химического состава вод которых оказали и оказывают влияние тектонические процессы, связанные с рифтогенезом.

Кайнозойская разломная сеть установлена нами по материалам дешифрирования космофотоматериалов, привлечения опубликованных и фондовых данных. Активизация разломов происходила с эоплейстоцена до современности. Выделяется два участка с разной направленностью неотектонических движений [Будаев и др., 2012]. В междуречье Баргузина и Турки преобладают разломы северо-восточной ориентировки, которые были заложены в раннем палеозое и в последующем неоднократно обновлялись. Они характеризуются как сбросы, ограничивающие узкие протяженные блоки. С ними связаны Безымянско-Максимихинская и Шанталыкская впадины, вытянутые в северо-восточном направлении. От Байкала впадины отделены узким 300-метровым поднятием. В междуречье Турки и Кики рельеф имеет мозаичный характер и ступенчато повышается в юго-восточном направлении. Мозаичность рельефа обусловлена густой сетью разломов нескольких направлений. Наряду с протяженными северо-восточными разломами, большую рельефообразующую роль играют разломы северо-западной ориентировки. На участках их сближения и в разломных узлах имеются блоки с амплитудами опускания от 100 до 400 м. С разломами этой ориентировки связано формирование Кикинской и Котокельской впадин, которые представляют собой грабены.

Во впадинах и на побережье Байкала располагается несколько пресных и соленых озер. Наиболее крупные из них – Большое Духовое, Малое Духовое, Дикое, Котокельское, Духовое, Шанталык, Бормашево.

Химический состав вод этих озер формируется в результате процессов выветривания пород на водосборной площади и воздействия газовых эманаций, поступающих по разрывным нарушениям. Среди газов в значимых количествах присутствуют азот, метан и двуокись углерода. В местах воздействия газовых эманаций формируются воды содового типа с преобладанием в катионном составе щелочных элементов.

В микроэлементном составе вод озер в значительной степени отражаются особенности геологического строения водосборной площади. В частности, на концентрацию микроэлементов оказывают влияние породы открытых разрывных нарушений, по которым в озера осуществляется сток подземных вод. В обследованных нами озерах установлена значительная дисперсия содержаний железа, марганца, алюминия, молибдена, вольфрама, цинка, меди, кадмия. Факторным анализом выявлены геохимические ассоциации, связанные с воздействием разломов различного простирания и биохимическими процессами.

ЛИТЕРАТУРА

Будаев Р.Ц., Татьков Г.И., Коломиец В.Л. Тектоническое и литологическое строение юго-западной ветви Баргузинского рифта для оценки риска возникновения опасных природных процессов в Восточном Прибайкалье // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(8). С. 2036–2039.

ОСОБЕННОСТИ ДЕГАЗАЦИИ ПО РАЗЛОМАМ НА УЧАСТКЕ ХИЛАК В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

В.Ф. Подурушин

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

На участке Хилак была проведена газовая съемка по подпочвенному воздуху. Участок расположен в днище долины р. Бугультадон, протекающей в пределах Бокового хребта по территории Северной Осетии.

Стратиграфический разрез представлен докембрийско-палеозойскими метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами, прорванными интрузиями гранитов, а также складчатыми юрскими углисто-глинистыми сланцами, пирокластическими и терригенными отложениями. В 2 км западнее участка обнажается нижнемиоценовая интрузия гранодиоритов г. Тепли, вытянутая на 1.8 км в северо-западном направлении. Четвертичная толща мощностью от 0 м на склонах до 20 м в днище долины включает горную морену, делювий и аллювий.

Западная половина участка приурочена к широтному Льядонскому разлому (правому взбросо-сдвигу), восточная отклоняется к северо-востоку вдоль оперяющей Хилакской синклинали. Льядонский разлом характеризуется низкими и минимальными значениями эндогенных газов в подпочвенной атмосфере, отражающими обстановку общего субмеридионального сжатия Северного Кавказа, вызывающую закрытие субширотных проводящих систем [Подурушин, 1994].

Место сочленения Льядонского взбросо-сдвига с Хилакской синклиналью осложнено серией более мелких разрывов северо-западного простирания, которые срезают окончание Хилакской синклинали и незначительно смещают шов Льядонского разлома. В северо-западном направлении вытянута длинная ось молодой Теплинской интрузии. Таким образом, описываемые нарушения можно считать активными на неотектоническом этапе. Они характеризуются повышенной проницаемостью, образуя «трубу дегазации» в узле пересечения с описанными ранее структурами. Над «трубой дегазации» в подпочвенной атмосфере образуются максимальные концентрации углекислого газа, азота, метана и водорода. Содержания кислорода соответственно снижены. Наиболее наглядно зона северо-западных разрывных нарушений отражается в полях концентраций водорода и метана, затем – углекислого газа, в наименьшей степени – азота. Над основным нарушением этой системы отмечена газовая зональность $\text{CO}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{H}_2$ со смещением максимумов концентрации более подвижных компонентов к северо-востоку. Указанный факт интерпретируется как следствие падения дизъюнктивов северо-западной системы на северо-восток. В их висячем крыле восходящий по разлому поток газовой смеси разделяется. Более легкие и подвижные газы поднимаются во вмещающие породы, формируя внешнюю зону «трубы дегазации», а менее подвижные пространственно тяготеют к каналу миграции.

ЛИТЕРАТУРА

Подурушин В.Ф. Изучение разрывной тектоники и поиски углекислых минеральных вод методом газовой съемки в центральной части Северного Кавказа: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГГРУ, 1994. 236 с.

СОЗДАНИЕ КУЛТУКСКОГО СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА: ВАРИАЦИИ $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ И $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ИЗ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА *

**С.В. Рассказов^{1,2}, Е.П. Чебыкин^{1,3}, А.М. Ильясова¹, Е.Н. Воднева^{1,3}, И.С. Чувашова^{1,2},
С.А. Борняков^{1,2}, Н.Н. Фефелов¹, А.К. Семинский¹, С.В. Снопков²,
В.В. Чечельницкий⁴, Н.А. Гилева⁴**

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

³ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

⁴ Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН, Иркутск, Россия

Для обоснования системы наблюдений станций на Култукском сейсмопрогностическом полигоне изучены пространственные вариации ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в поверхностных и подземных водах и выявлено преобладание на тектонически стабильных участках компонентов поверхностного стока с частичным примешиванием компонентов грунтовых вод из приповерхностных источников, на участках активных разломов – компонентов поверхностного стока и компонентов подземных вод из деформационной зоны и зоны окисления, а на участках активных разломов без постоянных водотоков – частичное примешивание к компонентам деформационной зоны компонентов близповерхностных грунтовых вод. Обоснована Sr–U-изотопная систематика подземных вод полигона и выбраны станции с высокими ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) (2.0–3.3 ед. активности) и низкими $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.705341–0.712927) для мониторинга, продолжавшегося более 1.5 лет, с 27 июня 2012 г. до 17 января 2014 г. Определен колебательный характер временных вариаций ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) с меняющимися во времени амплитудами и длительностями циклов, и обнаружена синхронизация циклов ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в водах линий станций в субширотном и субмеридиональном направлениях во временные интервалы сейсмических толчков на полигоне. В период наблюдений зарегистрирован основной сценарий вариаций ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в подземных водах, обусловленный сейсмогенной активизацией западного окончания Обручевского разлома, который может использоваться для прогноза будущих землетрясений в Южно-Байкальской впадине.

Работа выполнена по проекту Российского научного фонда № 14-17-00403.

■ *Полный текст доклада см. в журнале «Геодинамика и тектонофизика», 2014, Т. 5, <http://gt.crust.irk.ru>.

СЛОИСТО-БЛОКОВО-ДИАПИРОВАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.Д. Скарятин¹, М.Г. Макарова²

¹ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Основным свойством структуры земной коры является ее делимость в различных направлениях, обусловленная иерархической совокупностью трещин и межблоковых зон разной протяженности, которые совместно друг с другом и со слоистостью обусловили делимость земной коры на блоки разного масштаба. Первым, кто связал нефть с блоковой структурой земной коры, был П.С. Хант – автор теории трещиноватости, затем на это же обратил внимание автор карбидной теории образования нефти Д.И. Менделеев, а возродил эти представления профессор ВНИГРИ Н.А. Кудрявцев.

Сейчас можно говорить о существовании целой иерархии блоков земной коры и разделяющих их межблоковых зон разной протяженности – от глобальных трансконтинентальных до самых мелких, которые легко обнаруживаются при анализе космических снимков, особенно для открытых аридных территорий Африки и Ближнего Востока, где обнаружен ряд кольцевых структур, преимущественно в пределах щитов.

При дешифрировании снимков территории Ставропольского свода на Северном Кавказе удалось выявить множество групповых пересекающихся кольцевых структур, с которыми пространственно связаны газовые месторождения. В других местах к ним приурочены скопления нефтяных углеводородов.

В настоящей работе рассматриваются кольцевые структуры в пределах нефтегазоносных районов альпийской складчатой области. Обнаружены две расположенные рядом кольцевые структуры в пределах погружения крупного мегаантиклинория, которые охватывают несколько крупных нефтяных месторождений. По периферии восточной кольцевой структуры в несколько десятков километров в диаметре располагается ряд крупных нефтяных месторождений, каждое из которых включает множество залежей нефти и газа. Некоторые из залежей прорваны жерлами грязевых вулканов. Залежи эксплуатируются длительное время, и суммарная накопленная добыча каждого из месторождений исчисляется сотнями миллионов тонн нефти.

В геологическом отношении складки, к которым приурочены месторождения, представляют собой брахиантиклинали, сильно нарушенные как продольными, так и поперечными к простиранию складки разрывами. Четыре нефтяных месторождения, располагающиеся по периферии кольцевой структуры, характеризуются общими чертами строения – к центру кольцевой структуры в большинстве случаев обращены их пологие крылья, к периферии – крутые крылья. Все они находятся в пределах кольцевой полосы, характеризующейся высоким тепловым потоком, что может указывать на современную тектоническую активность этого участка земной коры.

Внутренняя часть кольцевой структуры характеризуется меньшей прогреетостью. На поверхности складок этих месторождений наблюдаются соленые озера. Можно предположить, что источники соленой воды приурочены к разрывным нарушениям. Этажи нефтегазоносности описанных месторождений характеризуются мощностью более двух тысяч метров.

РОЛЬ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ И ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С РАЗЛОМАМИ

О.М. Хлыстов, А.В. Хабеев, О.В. Белоусов

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

Озеро Байкал является единственным пресноводным водоемом, где обнаружены скопления газовых гидратов. Наряду с глубинными газовыми гидратами, обнаруженными в ходе бурения скважины BDP-97 [Кузьмин и др., 1998], с 2000 г. они неоднократно обнаруживались вблизи поверхности дна озера. На данный момент известно о более чем двадцати местах гидратопроявления на дне озера Байкал [Khlystov et al., 2013]. Они напрямую связаны с местами разгрузки газа – сипами, или разгрузки грязевулканического флюида – грязевыми вулканами. Практически все они расположены вблизи тектонических нарушений [Van Rensbergen et al., 2002, Klerkx et al., 2006]. Грязевые вулканы выражены в рельефе дна в виде возвышенностей, а разломы – в виде уступов, которые хорошо картируются по данным новой батиметрической съемки дна озера с помощью многолучевого эхолота [Cuylaerts et al., 2012]. Другая часть разломов и сипы идентифицируются только по сейсмоакустическим данным и никак не выражены в рельефе [De Batist et al., 2002]. Однако не все грязевые вулканы озера расположены непосредственно над разломами, часть из них размещена в стороне от разлома на поднятом блоке. Зона их распространения соответствует поднятию дна в этом районе. При этом сам разлом отчетливо прослеживается в рельефе только в этой зоне дна и затухает по мере удаления от грязевых вулканов. Возможно, что в этом случае подъем грязевулканического материала, повышенная концентрация газа ниже зоны стабильности газовых гидратов и образование газовых гидратов выше этой границы спровоцировали увеличение объема осадочной толщи и локальный подъем отдельной части дна вдоль разлома. При этом произошло увеличение вертикальных смещений по нему. Кроме того, часть подобных грязевым вулканам структур на дне озера образуют небольшие возвышенности на относительно ровных его участках, и их образование можно связывать с начальной стадией подъема грязевулканического материала с образованием скоплений газовых гидратов. В случае продолжения этого процесса в этих районах также могут образоваться зоны поднятия дна с образованием разрыва или увеличения амплитуды смещения по имеющимся разломам в осадочной толще.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 23.7.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузьмин М.И., Калмычков Г.В., Гелетий В.А., Гнилуша В.А., Горегляд А.В., Хахаев Б.Н., Певзнер Л.А., Каваи Т., Иошида Н., Дучков А.Д., Пономарчук В.А., Конторович А.Э., Бажин Н.М., Махов Г.А., Дядин Ю.А., Кузнецов Ф.А., Ларионов Э.Г., Манаков А.Ю., Смоляков Б.С., Мандельбаум М.М., Железняков Н.К. Первая находка газовых гидратов в осадочной толще озера Байкал // ДАН. 1998. Т. 362, № 4. С. 541–543.
- Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A.V., Belousov O.V., Kononov E.E., Khlystov O.M., De Batist M. Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia // Geo-Marine Letters. 2012. V. 32, № 5–6. P. 383–394.
- De Batist M., Klerkx J., Van Rensbergen P., Vanneste M., Poort J., Golmshtok A., Kremlev A., Khlystov O., Krinitsky P. Active hydrate destabilization in Lake Baikal, Siberia? // Terra Nova. 2002. V. 14. P. 436–442.
- Khlystov O.M., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts N., Poort J., Khabuev A., Belousov O., Mankov A., Kalmychkov G. Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties // Journal of Asian Earth Sciences. 2013. V. 62. P. 162–166.
- Klerkx J., De Batist M., Poort J., Hus R., Van Rensbergen P., Khlystov O., Granin N. Tectonically controlled methane escape in Lake Baikal // Advances in the geological storage of carbon dioxide. NATO science series, IV. Earth and environmental sciences. In: Lombardi S., Altunina L.K., Beaubien S.E. (Ed.). V. 65. Netherlands, Springer, 2006. P. 203–219.
- Van Rensbergen P., De Batist M., Klerkx J., Hus R., Poort J., Vanneste M., Granin N., Khlystov O., Krinitsky P. Sublacustrine mud volcanoes and methane seeps caused by dissociation of gas hydrates in Lake Baikal // Geology. 2002. V. 30, № 7. P. 631–634.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ – КАНАЛЫ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ

З.Б. Чистова¹, Ю.Г. Кутинов^{1,2}

¹ Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, Россия

² Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

В формировании режимов и динамики взаимодействия литосферы, атмосферы и ионосферы значительную роль играют разломно-блоковые структуры земной коры, в первую очередь разрывные нарушения. Особенности структуры и свойства тектонических зон определяют не только глубинную дегазацию и повышенную релаксацию горных пород, но и условия формирования источников электромагнитных сигналов и обмен энергией между геофизическими полями разной природы, в т.ч. внешними и внутренними [Спивак, 2009]. Нами в 2000–2013 гг. изучались процессы взаимодействия геосфер в тектонических узлах на территории севера Русской плиты. В результате были получены следующие выводы: 1. Над тектоническими узлами наблюдается постоянный «дефицит» атмосферного давления (до 25 mb). Выделенные минимумы являются статичными, не претерпевают сезонных изменений и имеют сложное строение с повышением значений в центре и понижением по периферии. 2. В результате обработки данных с КА MODIS летнего периода (460 сцен с 2005 по 2009 г.) по методике [Koren, 2009] было зафиксировано практически полное отсутствие облачности в летние периоды над Белым морем (узел пересечения Кандалакшского грабена и Балтийско-Мезенской зоны), что указывает на существование восходящих потоков, обусловленных, возможно, глубинной дегазацией тектонического узла I ранга. Такое строение облачного покрова в течение пяти сезонов не может быть случайным или объясняться климатическими особенностями. По данным ДЗЗ над узлом отчетливо видна обособленная группа центров озоновых аномалий (Беломорско-Балтийская) [Сывороткин, 2002]. Основная часть центров аномалий общего содержания озона (ОСО) расположена здесь над Белым морем и Кольским полуостровом. Следует отметить, что такое же явление наблюдается и над тектоническими узлами более мелкого масштаба (данные Landsat-8 и наземных наблюдений).

В 2008–2013 гг. были проведены измерения атмосферного давления по профилю Архангельск–Пинега для уточнения динамики изменения содержания кислорода в приземном слое атмосферы на площади тектонического узла. Несмотря на практически полную сходимость графиков атмосферного давления, картина содержания кислорода в разные годы различна. Тем не менее во всех случаях было зафиксировано снижение содержания кислорода по периферии узла, связанное, по мнению авторов, с подтоком глубинных газов, в первую очередь СО, что подтверждается характером распределения «озоновых дыр» над территорией севера Русской плиты [Сывороткин, 2002].

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований «Арктика» № 12-5-3-002-АРКТИКА, инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1009.

ЛИТЕРАТУРА

- Спивак А.А. Актуальные проблемы взаимодействия геосфер на приповерхностных участках континентальной земной коры // Проблемы взаимодействия геосфер: Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 211–221.
- Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.
- Koren H. Cloud detection in MODIS images. NR note SAMBA/28/09, 2009. 33 p.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Акбаров Х.А. 95
Акманова Д.Р. 78
Андреев А.В. 42, 53, 143
Антипин И.Ив. 122
Антипин И.Ин. 122
Аржанников С.Г. 43
Аржанникова А.В. 43
Арясова О.В. 37
Афонькин А.М. 143
Ашурков С.В. 27

Б

Баранникова С.А. 84
Баталев В.Ю. 56, 152
Баталева Е.А. 56, 152
Беленович Т.Я. 16
Белов В.А. 127
Белоусов О.В. 162
Бобров А.А. 153
Богомолов Л.М. 33, 92
Борняков С.А. 12, 116, 160
Брыжак Е.В. 104
Бубнова Н.Я. 89
Будаев Р.Ц. 158
Бутанаев Ю.В. 64
Бушенкова Н.А. 111
Быков В.Г. 118, 119

В

Вассалло Р. 43
Вахнин М.Г. 44
Викулин А.В. 35, 79, 82
Вилор Н.В. 45
Виноградов А.М. 29
Владимиров В.Г. 46, 123
Воднева Е.Н. 160

Г

Гайдай Н.К. 100, 108
Галкин В.М. 147
Гапотченко П.И. 124
Гарагаш И.А. 80
Гартвич Ю.Г. 147
Герасимчук А.В. 126
Герман В.И. 101
Гилева Н.А. 49, 160
Гиоргобиани Т.В. 17
Гладков А.А. 81
Гладков А.С. 125, 136, 143
Гладков И.Н. 87
Гоневчук В.Г. 141
Гоневчук Г.А. 141
Гончаров М.А. 102
Горбатенко В.В. 84
Горев Н.И. 126
Гриб Н.Н. 119
Гуо Яншуанг 90
Гусев Г.С. 47
Гуфельд И.Л. 103

Д

Давыденко Ю.А. 127

Демьянович В.М. 109
Джурик В.И. 48, 104
Дистанов В.Э. 87
Добрынина А.А. 101, 105
Долгая А.А. 78, 82
Дроздов А.В. 143
Дулабова Н.Ю. 95, 128

Е

Елизаров Д.В. 133
Еремин М.О. 83, 88, 93
Ескин А.Ю. 48, 104

Ж

Жанибеков Б.О. 95, 128
Жижерин В.С. 18
Жиров Д.В. 129, 131

З

Закупин А.С. 92
Захаров В.С. 102
Злобин Т.К. 106
Зуев Л.Б. 84
Зуев Ф.Л. 109

И

Иванова Л.А. 65
Иволга Е.Г. 19
Ильченко В.Л. 85, 107, 133
Ильясова А.М. 160
Имаев В.С. 47, 49
Имаева Л.П. 47, 49

К

Калинин Ю.А. 123
Калинина Л.Ю. 108
Кальметьева З.А. 110
Каменский И.Л. 133
Карпов Г.А. 157
Касаткин С.А. 20
Каулина Т.В. 133
Килижеков О.К. 134
Кирдяшкин А.А. 86, 87
Кирдяшкин А.Г. 86, 87
Киселев А.И. 136
Кисин А.Ю. 29, 135
Ключевская А.А. 109
Ключевский А.В. 74, 109
Кобелев М.М. 21, 38
Кожевников В.М. 32
Козина М.Е. 34, 110
Константинов И.К. 136
Константинов К.М. 136
Коростелев П.Г. 141
Коротков Ю.В. 137
Костандов Ю.А. 88
Кочарян Г.Г. 50
Кошкарев Д.А. 125
Кудымов А.В. 22
Кузин А.М. 138, 154
Кузьмин Ю.О. 24
Курбатова Е.С. 25
Кутинов Ю.Г. 16, 139, 163
Кучай О.А. 33, 34, 110, 111

Л

Ларьков А.С. 64
Леви К.Г. 26, 28
Левина Е.А. 112
Лелюх М.И. 126, 140
Лементуева Р.А. 89
Леонов М.Г. 51
Летников Ф.А. 155
Лобацкая Р.М. 52, 57
Лопатин М.Н. 156
Лукьянов А.Е. 148
Лунина О.В. 42, 53, 81
Лухнев А.В. 27
Лялина Л.М. 133
Ляррок К. 43

М

Ма Дзинь 90
Макаров П.В. 83, 88, 91, 93
Макарова М.Г. 161
Макеева Л.И. 21
Максимкина Л.В. 134
Максимов Д.А. 62
Манилов Ю.Ф. 19, 54
Мараханов А.В. 64
Маринин А.В. 55
Матюков В.Е. 56
Мац В.Д. 57
Медведев В.Я. 65
Мелихов М.В. 131
Мелихова Г.С. 131
Мельникова В.И. 49
Меркулова Т.В. 113
Мирошниченко А.И. 27, 28
Митрофанов Ф.П. 59
Митрохин А.Н. 141, 142
Михальчук Н.Н. 148
Мордвинова В.В. 21, 38, 49
Мороз Т.А. 58, 157
Мороз Ю.Ф. 58, 157
Морозова Л.Н. 59
Морозова Н.Е. 124
Мубассарова В.А. 92
Мухамедяров Р.Д. 29
Мясников Е.А. 60

Н

Надежкин М.В. 84
Нго Тхи Лы 115
Неволин П.Л. 141, 142
Некрасов А.И. 30
Николаева С.Б. 62
Никонов А.А. 63
Новиков С.С. 64
Новоселов О.Н. 103

О

Овсющенко А.Н. 64
Орешин С.И. 21

П

Павленко И.Я. 124
Парфеев А.В. 66

Перышкин А.Ю. 83, 93
 Перязева Е.Г. 158
 Писаренко В.Ф. 115
 Плюснин А.М. 158
 Подурушин В.Ф. 159
 Полец А.Ю. 106, 114
 Пономарева Е.И. 94
 Попов В.К. 73
 Потехина И.А. 143
 Предеин П.А. 38

Р

Рассказов С.В. 160
 Ребецкий Ю.Л. 114
 Риц Ж.-Ф. 43
 Рогожин Е.А. 64, 102
 Родкин М.В. 63, 115, 144
 Рожин П.Н. 102
 Ружич В.В. 65, 94, 112
 Рукавишникова Т.А. 115
 Рыбин А.К. 56
 Рыбин В.В. 131

С

Савинский И.А. 46
 Салко Д.В. 116
 Саньков А.В. 27
 Саньков В.А. 27, 66, 105
 Сашурин А.Д. 149
 Седов Б.М. 31, 67
 Семенов Р.М. 156
 Семеняк Б.И. 141
 Семинский А.К. 160
 Семинский Ж.В. 145
 Семинский К.Ж. 12, 68
 Серебренников С.П. 48, 104
 Середкина А.И. 32, 49

Серов А.А. 18
 Сим Л.А. 33
 Скарятин В.Д. 161
 Слезко А.В. 123
 Смекалин О.П. 49
 Снопков С.В. 160
 Соловей О.А. 32
 Спивак А.А. 69
 Стогний В.В. 127
 Сурков Н.В. 87, 147
 Сыстра Ю.И. 63, 70

Т

Тагильцев В.С. 148
 Тагильцев С.Н. 148
 Таранюк А.В. 127
 Татаурова А.А. 33, 34, 111
 Ташлыкова Т.А. 117
 Твритинова Т.Ю. 35, 55, 71
 Толстобров Д.С. 62
 Томшин М.Д. 136
 Третьяков Ф.Ф. 72
 Треусов А.В. 89
 Трофименко С.В. 118, 119
 Трынкова Д.С. 21
 Тубанов Ц.А. 38
 Турапов М.К. 95, 128

У

Усанов С.В. 149
 Уткин В.П. 73, 141, 142

Ф

Фефелов Н.Н. 160
 Филатова В.Т. 96
 Фомин В.М. 140

Фролова Н.С. 102

Х

Хабуев А.В. 162
 Хазан Я.М. 37
 Хлыстов О.М. 162
 Хмельников А.И. 147
 Хритова М.А. 21
 Хузин М.З. 136

Ц

Цыдыпова Л.Р. 38

Ч

Чебыкин Е.П. 160
 Черемных А.В. 39
 Черемных А.С. 97
 Черных Е.Н. 74, 94
 Чечельницкий В.В. 101, 105, 160
 Чипизубов А.В. 49, 75
 Чистова З.Б. 16, 139, 163
 Чувашова И.С. 160

Ш

Шагун А.Н. 104
 Шатахцян А.Р. 144
 Шварев С.В. 63
 Шерман С.И. 12, 90
 Шкиря М.С. 127

Я

Яковлев А.А. 136
 Яковлев Ф.Л. 76