

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



RUSSIAN FOUNDATION FOR BASIC
RESEARCH

Институт земной коры СО РАН



Institute of the Earth's Crust SB RAS

Институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН



O.Yu. Schmidt Institute
of the Physics of Earth RAS

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН



A.F. Ioffe Physical-Technical
Institute RAS

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ
ШКОЛА-СЕМИНАР

**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД»**

Иркутск
2–6 сентября 2013 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

IX INTERNATIONAL WORKSHOP

**«PHYSICS AND FORECASTING
OF ROCK DESTRUCTION»**

Irkutsk
September 2–6, 2013

ABSTRACTS

ИРКУТСК
2013

Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: тезисы докладов IX Международной школы-семинара, Иркутск, 2–6 сентября 2013 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. 115 с.

В сборник включены тезисы докладов, представленных на IX Международную школу-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». Тематика докладов весьма обширна ввиду очевидной необходимости привлечения специалистов и использования оригинальных материалов из разных областей наук о Земле для достижения прогресса в прогнозировании разрушения в геологической среде. В сборнике широко представлены результаты лабораторных и натурных экспериментов, физического и численного моделирования, мониторинга сейсмических явлений, а также различные способы прогнозирования землетрясений во многих регионах Земли.

В целом, публикуемые в сборнике материалы дают развернутое представление российских и зарубежных ученых об актуальных вопросах, связанных не только с пониманием физических закономерностей подготовки опасных геодинамических явлений, но и с разработкой новых, более эффективных способов снижения инженерного риска в сфере практических приложений.

Представленный сборник будет полезен для широкого круга специалистов: геофизиков, горняков, геологов, исследователей в области физики и геомеханики разрушения, а также для аспирантов, студентов и молодых ученых, выбирающих свой путь в научной сфере.

Physics and forecasting of rock destruction: Abstracts of IX International workshop, Irkutsk, 2–6 September 2013. Irkutsk: IEC SB RAS, 2013. 115 p.

The collection includes the abstracts submitted to IX International workshop “Physics and forecasting of rock destruction”. The subject matter of the reports is very extensive. Now there is an obvious need to attract specialists and use the original materials from different areas of Earth Sciences for progressing in rock failure prediction. Results of laboratory experiments and field observations, physical and numerical simulation, seismic events monitoring, as well as different ways of earthquake prediction in many regions of the Earth are presented in this collection.

In general the presented materials give a detailed presentation of the Russian and foreign scientists on current issues associated not only with the understanding physical laws training dangerous geodynamic phenomena but with the development of new more effective ways to reduce the engineering risk in the field of practical applications.

The collection is useful for geophysicists, mining engineers, geologists, physicists specializing in the rock failure mechanics as well as for post-graduate students, students and young scientists.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА

Председатель	Г.А. Соболев	член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., заведующий отделением ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
	В.С. Куксенко	д.ф.-м.н., заведующий лабораторией ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Зам. председателя	В.В. Ружич	д.г.-м.н., главный научный сотрудник ИЗК СО РАН
Ученый секретарь	С.А. Борняков	к.г.-м.н., старший научный сотрудник ИЗК СО РАН
Члены оргкомитета:	А.Д. Завьялов	д.ф.-м.н., заведующий лабораторией ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
	А.В. Пономарев	д.ф.-м.н., зам. директора ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
	С.Г. Псахье	член-корреспондент РАН, директор ИФПМ СО РАН
	В.А. Саньков	к.г.-м.н., заведующий лабораторией ИЗК СО РАН
	К.Ж. Семинский	д.г.-м.н., заведующий лабораторией ИЗК СО РАН
	В.Б. Смирнов	к.ф.-м.н., доцент МГУ им. М.В. Ломоносова
	С.И. Шерман	д.г.-м.н., главный научный сотрудник ИЗК СО РАН
	Е.В. Шилько	д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ИФПМ СО РАН

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ

Ружич Валерий Васильевич, д.г.-м.н., ИЗК СО РАН
Борняков Сергей Александрович, к.г.-м.н., ИЗК СО РАН
Завьялов Алексей Дмитриевич, д.ф.-м.н., ИФЗ РАН
Саньков Владимир Анатольевич, к.г.-м.н., ИЗК СО РАН
Семинский Константин Жанович, д.г.-м.н., ИЗК СО РАН
Шерман Семен Ийнович, д.г.-м.н., ИЗК СО РАН

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕКРЕТАРИАТ

Добрынина Анна Александровна, к.ф.-м.н., ИЗК СО РАН
Платонова Ирина Алексеевна, ИЗК СО РАН
Пономарёва Елена Иннокентьевна, ИЗК СО РАН
Тарасова Анастасия Алексеевна, ИЗК СО РАН

Ответственные редакторы:

член-корреспондент РАН **Г.А. Соболев**
 д.ф.-м.н. **А.Д. Завьялов**

Проведение школы-семинара и издание материалов осуществлены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-06054)

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ ОРГКОМИТЕТА	9
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОВОЗДЕЙСТВИЙ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ А.А. Авагимов, В.А. Зейгарник, В.И. Окунев	11
ПЕРЕХОДНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ ПОДГОТОВКИ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В.В. Аксенов	12
НОВАЯ СКВАЖИННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД В ИХ ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ Ю.Г. Астраханцев, И.И. Глухих, Н.А. Белоглазова, А.Г. Вдовин	13
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЗОНАХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ А.Д. Басов, К.В. Романевич, С.П. Шляев	14
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД В.Т. Беликов, И.А. Козлова, Д.Г. Рывкин, А.К. Юрков	15
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ АНОМАЛИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ О.М. Белослюдцев, Н.Б. Узбеков	16
МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТРЕЩИН ПЛОСКОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ НАГРУЗКАХ ТИПА СЕЙСМИЧЕСКИХ Ю.А. Бержинский, Л.П. Бержинская, А.П. Ордынская	17
АКУСТОЭМИССИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И КИНЕТИКИ АНСАМБЛЯ ДЕФЕКТОВ Л.М. Богомоллов, А.С. Закупин, В.А. Мубассарова, И.А. Пантелеев, В.Н. Сычев	18
ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИЙ СТРУКТУРИРОВАННЫХ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ СРЕД: ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДАННЫМ МОНИТОРИНГА НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ С.А. Борняков, А.А. Тарасова, А.И. Мирошниченко, Д.В. Салко	19
СРЕДНЕ- И КРАТКОСРОЧНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ С.А. Борняков, С.И. Шерман, А.А. Бобров, С.В. Рассказов, А.И. Мирошниченко, А.А. Тарасова, Д.В. Салко	20
ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ АНАПСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И РЕАКЦИЯ ГИДРОГЕОСФЕРЫ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКУЮ АКТИВИЗАЦИЮ А.Ю. Бяков, А.И. Дибров, В.М. Шереметьев, В.А. Фоменко	21
ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АНАЛИЗА ГРАФИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕД В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ Vladi NumGraph 1.0. В.И. Васильев	22
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭМИССИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ В КВАРЦЕ И ГРАНИТЕ В.И. Веттегрень, В.С. Куксенко, И.П. Щербаков, Р.И. Мамалимов	23
РАЗМЫТЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В МАКРО- И НАНОКРИСТАЛЛАХ КВАРЦА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В.И. Веттегрень, Г.А. Соболев, Ю.А. Морозов, Р.И. Мамалимов, С.М. Киреенкова, А.И. Смутьская	24
ОБРАЗОВАНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ И РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД СО СКВОЗНЫМ ОТВЕРСТИЕМ С.Д. Викторов, А.Н. Кочанов, А.А. Осокин	25

ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ ИЛИ НЕЛИНЕЙНОСТЬ – ЧТО БЛИЖЕ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ? А.В. Викулин	26
ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ А.С. Вознесенский, Я.О. Куткин, М.Н. Красилов	27
ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД К ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ А.Г. Вострецов, Г.Е. Яковицкая	28
МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОСРЕДЫ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ В.А. Гаврилов	29
ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В.И. Герман	30
СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КАК ПРЕДВЕСТНИК ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ В.И. Герман	31
СВЯЗЬ КРУПНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «АНТЕЙ» С ДИСПЕРСИЕЙ ВЕЙВЛЕТ-КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭНЕРГИИ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ В.Л. Гиляров, Е.А. Дамаскинская, А.Г. Кадомцев, И.Ю. Рассказов	32
ДИНАМИКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПРОВОДНИКОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОЧКАМ СИЛ ПРИТЯЖЕНИЯ И ОТТАЛКИВАНИЯ В НЕДРАХ ПЛАНЕТЫ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ А.И. Глатоленков, И.Н. Литовченко	33
ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ БУДУЩЕГО ОЧАГА РАЗРУШЕНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ ОТ ЗАКОНА ГУТЕНБЕРГА-РИХТЕРА Е.Е. Дамаскинская, А.Г. Кадомцев, И.Ю. Рассказов	34
О МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С ЗОНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕНИ П.Г. Дядьков	35
ВАРИАЦИИ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ПЕРЕД РАЗРУШЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД В.С. Жуков	36
АЛГОРИТМ КОЗ В РАЙОНЕ С ПЕРЕХОДНЫМ РЕЖИМОМ СЕЙСМИЧНОСТИ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ А.Д. Завьялов, В.Б. Смирнов, А.В. Пономарев, Р.К. Чада, Д. Шринагеш	37
ИЗУЧЕНИЕ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕННЫХ ФОРМ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАСТРОФАХ В.С. Имаев, О.П. Смекалин, А.В. Чипизубов, Л.П. Имаева	38
ПОЛЕ ДАВЛЕНИЙ В ЖИДКОСТИ, СОЗДАННОЕ ИСТОЧНИКОМ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД И.В. Калинин	39
ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ А.Н. Камшилин, Е.Н. Волкова, П.А. Казначеев	40
ПОИСК ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ А.Н. Камшилин, Р.М. Насимов, Е.Н. Волкова	41
К ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ СРЕД Ф.Х. Каримов	42
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА И АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ И.А. Козлова, А.К. Юрков	43
ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АФТЕРШОКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОТРАЖЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕОСРЕДЫ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ЯПОНОМОРСКО-САХАЛИНСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЫ) А.В. Коновалов, Е.П. Семенова	44

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕДВЕСТНИК СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ В ИЗМЕНЕНИЯХ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ Е-1 Г.Н. Копылова	45
ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТРЕЩИНЫ НА РЕЖИМ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ, ЗАПАСЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ Г.Г. Кочарян, А.А. Будков, В.К. Марков, А.А. Остапчук	46
МЕХАНИЗМЫ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ МРАМОРА ПРИ КВАЗИУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В.С. Куксенко, Х.Ф. Махмудов, А.Г. Кадомцев	47
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ НА ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД Р.А. Лементуева, Н.Я. Бубнова, А.В. Треусов	49
ЭНТРОПИЙНЫЕ И МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПОЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ А.А. Любушин	50
ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД З.-Ю.Я. Майбук	51
ВЫЗВАННАЯ ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РУДОНОСНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ З.-Ю.Я. Майбук, Г.А. Соболев	52
ДЕКОМПРЕССИЯ И ПРОНИЦАЕМОСТЬ СИЛИКАТНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ В.Я. Медведев, Л.А. Иванова, Б.А. Лысов, В.В. Ружич	53
ОПЫТ УСТАНОВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН ПО АНАЛИЗУ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНОРАНГОВЫХ РАЗЛОМАХ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ШАНЬСИ, КИТАЙ М.Г. Мельников	54
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРАНИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ М.Г. Менжулин, О.В. Мясникова	55
ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ В СВЯЗИ С ОЛЮТОРСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз, В.А. Логинов, А.Г. Яковлев	56
МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОГО СИНГУЛЯРНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯПОНИИ В 2009–2011 ГОДАХ Л.Ф. Московская	57
ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ ЛИТОСФЕРЫ ЯПОНИИ В РЕЗУЛЬТАТАХ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВАРИАЦИЙ ФУНКЦИЙ РАССТОЯНИЯ ДО ОБОБЩЕННОГО ИСТОЧНИКА Л.Ф. Московская	58
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗОН СДВИГА И УПЛОТНЕНИЯ ПРИ ТРЕХОСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ Р.М. Насимов, А.В. Патонин	59
ПОТЕНЦИАЛ ВЫСОКОМАГНИТУДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАРГУЗИНСКОМ РИФТЕ: СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ТРЕВОЖНЫЕ ПРИЗНАКИ А.А. Никонов	60
МЕДЛЕННАЯ МИГРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ОБЛАСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ГРАНИЦЕ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКОЙ И ТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТ А.В. Новопашина	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА УРТИТА СРЕДНЕЗЕРНИСТОГО МАССИВНОГО А.К. Пак, Н.Н. Кузнецов	62
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И.А. Пантелеев, В.А. Гаврилов	63
ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОДНООСНОМ НАГРУЖЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД И.А. Пантелеев, О.А. Плехов, О.Б. Наймарк	64

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЕЕ СВЯЗЬ СО СТАДИЯМИ СЕЙСМОГЕНЕЗА В.А. Петров, А.О. Мострюков	65
РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ТОХОКУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11.03.2011 г. А.Ю. Полец, Ю.Л. Ребецкий	66
ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ПОДГОТОВКИ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОМ ЛЬДУ. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ Е.И. Пономарёва	67
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ УДАРОВ НА БАЙКАЛЕ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С.Г. Псахье, В.В. Ружич, Е.Н. Черных, Е.В. Шилько, Е.А. Левина, Е.И. Пономарёва	68
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ОРГРАФОВ Б.Г. Пустовитенко, В.Б. Спиртус	69
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 9 ОКТЯБРЯ 1864 Г. И 13 НОЯБРЯ 1898 Г.: ДОПОЛНЕНИЕ К КАТАЛОГУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ Я.Б. Радзиминович	70
ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА УРАНА И $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ В ВОДАХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛИИ С.В. Рассказов, Е.П. Чебыкин, Е.Н. Воднева, А.М. Ильясова, Е.А. Михеева, И.С. Чувашова, С.А. Борняков, А.К. Семинский, С. Дэмбэрэл	71
НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГОВ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ Ю.Л. Ребецкий	72
ПРОБЛЕМА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА М.В. Родкин, В.Ф. Писаренко, Нго Тхи Лы, А.А. Никонов	73
СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА – МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АКТИВНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ М.В. Родкин, Т.А. Рукавишникова	74
ПРОГНОЗНЫЙ ЭФФЕКТ ВСПЛЫВАНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ОБОБЩЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И АФТЕРШОКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ М.В. Родкин, И.Н. Тихонов, Т.А. Рукавишникова	75
РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ В.В. Ружич, Е.А. Левина	76
ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ Д.В. Салко, С.А. Борняков, В.В. Ружич	77
ЭТАПЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕЙСМОПРОЦЕССОВ В ТАДЖИКИСТАНЕ (1963–2013 ГГ.) Н.Г. Саломов	78
МЕХАНИЗМ ПРИЛИВНЫХ ЭФФЕКТОВ В СЕЙСМИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ АМПЛИТУДНО-ЗАВИСИМОЙ ДИССИПАЦИИ В.А. Салтыков	79
О СООТНОШЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ И СЕЙСМИЧНОСТИ В МОНГОЛО-БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В.А. Саньков, А.В. Лухнев, А.И. Мирошниченко, А.А. Добрынина, С.В. Ашурков, А.В. Саньков	80
РАДОНОВАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗЛОМНЫХ ЗОН И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ К.Ж. Семинский, А.А. Бобров	81
О СЕЙСМИЧЕСКОМ ОТКЛИКЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА БИШКЕКСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ (КИРГИЗИЯ) В.Б. Смирнов, А.Д. Завьялов	82

ВЛИЯНИЕ БОЛЬШИХ ТАЙФУНОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ УДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ Г.А. Соболев	83
ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ Г.А. Соболев, Р.А. Лементуева, В.Ф. Лось	84
К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА И.И. Степанов, В.И. Степанов	85
АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПО ДЕФОРМИРОВАНИЮ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД Ю.П. Стефанов, А.И. Ахтямова, В.А. Киндюк	86
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭТАПОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СДВИГА Ю.П. Стефанов, Р.А. Бакеев, В.А. Конторович, Б.В. Лунев	87
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА РОСТ ТРЕЩИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ Ю.П. Стефанов, В.В. Ревердатто, О.П. Полянский	88
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОРНЕЙ В.Д. Суворов, Ю.П. Стефанов, Е.В. Павлов, В.А. Кочнев, Е.А. Мельник	89
О ВАРИАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ПЕРИОД ЗОНДИРОВАНИЙ КОРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ОДНОПОЛЯРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА В.Н. Сычев, Л.М. Богомоллов, Н.А. Сычева	90
ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЮГА ОСТРОВА САХАЛИН А.С. Сычев, А.В. Коновалов	91
ВЛИЯНИЕ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД Н.Т. Тарасов	92
О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ Н.Т. Тарасов, Н.В. Тарасова, Ф.Т. Фроунд	93
ПРОЯВЛЕНИЕ ТРИГГЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ВОЗБУЖДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКОВОДНЫХ АНГАРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ Т.А. Ташлыкова	94
АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НАКАНУНЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ Н.Б. Узбеков, О.М. Белослюдцев	95
ВАРИАЦИИ НЕРАВНОМЕРНОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЭФФЕКТ ТРИГГИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЛАНЕТЫ В.И. Уткин, А.К. Юрков, И.А. Козлова	96
МОНИТОРИНГ РАДОНА КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИНДИКАТОР ТЕКТОНИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ В.И. Уткин, Chi-Yu-King, И.А. Козлова, А.К. Юрков, Р.К. Dutta	97
ЭВОЛЮЦИЯ ВО ВРЕМЕНИ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПО ДАННЫМ ПОСТСЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ НА ГИГАНТСКИЕ КУРИЛЬСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2006–2007 ГГ.: 4 ГОДА МОНИТОРИНГА GPS Д.И. Фролов, Н.Ф. Василенко, М.Г. Коган, Д.Т. Фраймюллер, Г.М. Стеблов, А.С. Прытков	98
ФОРМИРОВАНИЕ СКОЛОВ РИДЕЛЯ ПУТЕМ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРЕЩИН ОТРЫВА В ГРАНУЛИРОВАННЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ И В ПРИРОДЕ Н.С. Фролова	99
ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА МАССИВА НА ВЗРЫВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ О.А. Хачай	100
ОТРАЖЕНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ И СИНЕРГЕТИКИ ОТКРЫТЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД В ДАННЫХ ВОЛНОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ О.А. Хачай, А.Ю. Хачай	101

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕНЕРАЦИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА Р.Г. Хлебопрос, А.В. Ключевский	102
НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова, И.М. Абдулин	103
МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДИСЛОКАЦИЙ А.С. Черепанцев	104
ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ВОЗДУШНЫХ ВОЛН НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЛИГОНЕ УСЛОН Е.Н. Черных	105
ВАРИАЦИИ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ Е.Н. Черных, А.А. Добрынина	106
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ И «ПОРОГОВЫЙ» ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ – МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ ДВУХ ПОДХОДОВ П.Н. Шебалин	107
ПРОГНОЗНЫЙ АЛГОРИТМ EAST, ОСНОВАННЫЙ НА СТАТИСТИКЕ РАННИХ АФТЕРШОКОВ – ОПЫТ ЧЕТЫРЕХ ЛЕТ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТА В КАЛИФОРНИИ В ЦЕНТРЕ CSEP, ЛОС АНДЖЕЛЕС, США П.Н. Шебалин	108
СТАТИСТИКА АФТЕРШОКОВ КАК ИНДИКАТОР НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ П.Н. Шебалин	109
ХАРАКТЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОГО РАНГА В УСЛОВИЯХ РЕГИОНАЛЬНОГО СЖАТИЯ В.А. Шеков, А.А. Иванов, О.В. Мясникова	110
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: ТРЕБОВАНИЯ, ПОСТРОЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С.И. Шерман	112
ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В СКВАЖИНЕ KUN-1 (О. КУНАШИР) ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ 11.03.2011 Г. А.К. Юрков, Д.Ю. Демежко, В.И. Уткин, А.Д. Дучков	113
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	114

ОТ ОРГКОМИТЕТА

В октябре 1982 года в г. Боржоми (Грузинская ССР) было положено начало воплощению плодотворной идеи регулярного проведения школ-семинаров «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». В череде сложных вариаций научно-организационных, экономических и политических событий неоднократно менялся и статус школы-семинара: от всесоюзного до всероссийского, а в 2001 г. – и до международного. Хронология предшествующих мероприятий может быть представлена следующим перечнем:

- Грузинская ССР, г. Боржоми (11–17 октября 1982 г.);
- Киргизская ССР, оз. Иссык-Куль, поселок Долинка (3–12 сентября 1985 г.);
- РСФСР, г. Иркутск (14–22 сентября 1988 г.);
- РСФСР, г. Зеленогорск (сентябрь 1991 г.);
- Россия, Ярославская обл., поселок Борок (3–7 октября 1994 г.);
- Россия, г. Красноярск (9–15 сентября 2001 г.);
- Россия, Ярославская обл., поселок Борок (17–21 октября 2005 г.);
- Россия, г. Санкт-Петербург (24–29 мая 2010 г.).

Неизменными руководителями оргкомитетов всех школ-семинаров, включая и предстоящую, являются сопредседатели Г.А. Соболев (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН) и В.С. Куксенко (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН). Школы в Боржоми, Иркутске и Красноярске были организованы благодаря усилиям Т.Л. Челидзе, В.В. Ружича и В.А. Мансурова. Большую организационную работу всегда выполняли ученые секретари школ: до 2003 г. – Е.Н. Седова, а с 2003 г. – А.Д. Завьялов.

Отличительными чертами организации всех школ-семинаров по представленной тематике, в сравнении с проведением других научных форумов, является больший акцент на детальное и в то же время углубленное, даже пристрастное, рассмотрение наиболее плодотворных научных начинаний и идей, способных помочь в решении проблем прогнозирования явлений геодинамического разрушения. При таком формате уделяется большое внимание непосредственному общению молодых исследователей с маститыми учеными, особенно на заседаниях в режиме круглого стола.

В текущем году очередную школу-семинар решено вновь провести в Иркутске – городе, известном своими научными традициями. На предстоящих заседаниях встретятся ведущие специалисты в области физики и геомеханики разрушения в различных средах, физического и численного моделирования, а также известные исследователи-экспериментаторы, включая тех, кто проводит натурные

испытания на реальных геоструктурных объектах. Весьма вероятно, что особый интерес участников будет проявлен к сообщениям о современных способах и практических результатах прогноза землетрясений, происходящих в различных регионах земного шара, а также горно-тектонических ударов в подземных горных выработках.

К настоящему времени, с учетом накопленных сведений, становится все более очевидно, что в рамках обеспечения сейсмобезопасности и более эффективного снижения инженерно-сейсмического риска прогнозирование разрушения, даже в случае успешной его реализации, может рассматриваться лишь как промежуточный этап научных исследований. Все большее число ученых в России и за рубежом включается в актуальную тематику, связанную с изучением природных и техногенных воздействий на высоконапряженные геоструктурные объекты. Цель таких исследований – изучение отклика геологической среды и выбор оптимальных способов снижения опасности готовящихся разрушительных явлений. По этой весьма актуальной теме представлена немалая часть материалов предстоящего мероприятия.

Перед участниками школы-семинара, по замыслу организаторов, ставится задача плодотворного обсуждения новых материалов и идей для более углубленного понимания геомеханических процессов, протекающих в недрах нашей планеты и приводящих к опасным динамическим явлениям на ее поверхности. Важно отметить, что к участию в обсуждении поставленных проблем в последние годы примкнула значительная плеяда специалистов геолого-геофизического профиля, хорошо знающих геосреду. Это будет способствовать прогрессу в прогнозировании опасных разрушений в тектоносфере. Вместе с этим в продвижении к решению проблем обеспечения сейсмобезопасности освещаются новые подходы, касающиеся управляющих техногенных воздействий на готовящиеся очаги динамической деструкции в виде землетрясений, горных ударов, крупномасштабных обвалов, оползней.

К участию в IX Международной школе-семинаре в Иркутске представлено более ста докладов. Проведение научного мероприятия планируется продолжить выездом на экспериментальный полигон в п. Листвянка, расположенный в истоке Ангары, на берегу Байкала. Оргкомитет рассчитывает, что участники столь представительного форума смогут получить удовлетворение от успешной работы и дискуссионного общения, а также от знакомства с сибирской природой и гостеприимством сибиряков.

FROM ORGANIZING COMMITTEE

The tradition of “Physics and forecasting of rock destruction” workshops started off as national (USSR, later Russia). Then, due to scientific, organizational, economic and political events its status was repeatedly changed: from all-Union to all-Russia and in 2001 it became international one

Chronology of previous workshops is as follows:

- Georgia, Borjomi (11–17 October 1982);
- Kirgizia, lake Issyk-Kul, Dolinka (3–12 September 1985);
- Russia, Irkutsk (14–22 September 1988);
- Russia, Zelenogorsk (September 1991);
- Russia, Yaroslavl region, Borok Geophysical Observatory (3–7 October 1994);
- Russia, Krasnoyarsk (9–15 September 2001);
- Russia, Yaroslavl region, Borok Geophysical Observatory (17–21 October 2005);
- Russia, St.Petersburg (24–29 May 2010).

Co-chairmans of Organizing Committee of all workshops, including the forthcoming, are Prof. G.A. Sobolev (Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS) and Prof. V.S. Kuksenko (Ioffe Physical & Technical Institute RAS). Workshops in Borjomi, Irkutsk and Krasnoyarsk were organized owing to efforts of T.L. Chelidze, V.V. Ruzhich and V.A. Mansurov. An invaluable contribution to organizing the workshops was made by their academic secretaries E.N. Sedova (before 2003) and A.D. Zavyalov (2003-2010).

The main difference of all workshops on the presented subject from any scientific forums is the opportunity of holding of free detailed and at the same time an in-depth, even partial, discussions on the most fruitful scientific problems that can help in addressing the problems of forecasting of geodynamic destruction phenomena. Here, a great attention is paid to the direct communication of young researchers with venerable scientists, especially at the meeting in a round table regime.

In the current year regular workshop is held in Irkutsk – a city renowned for its scientific traditions. Leading experts in physics and geomechanics of destructions in different environments, physical and nu-

merical simulation as well as the famous scientists-experimenters including those who conduct field tests on real geostructural objects will meet at upcoming meetings. Very likely that reports on modern ways and practical results of earthquake predictions occurring in various regions of the world as well as mining and tectonic shocks in the underground mine workings will be of special interest.

To date, taking into account the accumulated information it is becoming increasingly clear that for seismic safety and minimizing of engineering seismic risk, the prediction of destruction even its implementation being successful can be considered as an intermediate stage of scientific researches. A growing number of scientists in Russia and abroad are included in the current scope related to study of natural and anthropogenic forcings on the high-tension geostructural objects. The objective of such research is study of the geological environment response and the choice of optimum methods which minimize the risk of preparing disasters. A large part of materials of the upcoming workshop deals with this relevant topic.

The main target of the workshop is a fruitful discussion of new materials and ideas that gain insights into geomechanical processes proceeding into the bowels of our planet and leading to the dangerous dynamic phenomena on its surface. It should be noted that a large assemblage of geologists and geophysicists with a good knowledge of geological environment is engaged in discussion on problems. It will contribute to progress in prediction of dangerous destructions in the tectonosphere. However, the problems of seismic safety require the new approaches controlling man-made effects on sites of dynamic destruction (earthquakes, rock falls, large-scale landslides, rock bursts, etc.)

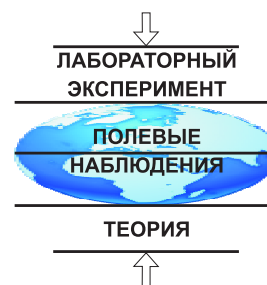
More than one hundred reports are submitted to Organizing Committee of IX International workshop in Irkutsk. The workshop will be followed by travel to the proving ground in Listvyanka settlement located at the Angara River source on Lake Baikal. We wish all participants a successful work and fruitful discussions as well as acquaintance with Siberian nature and hospitality of the Siberians.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОВОЗДЕЙСТВИЙ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

А.А. Авагимов, В.А. Зейгарник, В.И. Окунев

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

arben35@mail.ru



Проблема уменьшения риска макроразрушения среды включает исследование влияния искусственного энерговоздействия физическими полями. Воздействие является составляющей энергообмена, ведущей при определенных условиях состояния среды к понижению уровня структурных напряжений горных пород. В частности, это относится к объемам среды с определяющей ролью локальных неоднородностей, в которых аномально превышены структурные напряжения и существенно повышена способность к их релаксации.

В докладе представлены результаты опытов на модельных образцах (до 1800 см³) с двумя объемными включениями (параллелепипеды по 20 см³). После дискретного упругого нагружения на этапе квазистатического режима моделировался процесс последовательного облучения комбинированным (фоновое ВЧ и импульсное) электромагнитным полем двух объемных включений, расположенных в верхней и нижней третях объема образца, имитирующих разломные зоны. Включения отличаются от образца по механофизическим и электрическим свойствам. Приведены фрагменты структуры отклика АЭ при воздействии ЭМ полями в области нижней влагонасыщенной трети образца с объемным включением. Аналогичное воздействие в верхней трети образца не вызывает повышения активности по АЭ. При этом единственность источника АЭ подтверждается распределением АЭ по всем кана-

лам (4 датчика АЭ) с идентичными параметрами по частоте. Различна лишь интенсивность АЭ по фрагментам на этапах развития механической неустойчивости. Представленные распределения АЭ и их спектральные характеристики в полной мере раскрывают картину формирования АЭ в области неоднородного включения после воздействия ЭМ полем.

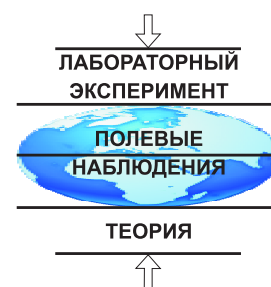
Данный результат принципиален для практической реализации методики снижения при ЭМ воздействии уровня структурных напряжений локальной неоднородности, которая основана также на привлечении параметрических характеристик динамического процесса – интенсивности релаксации $K_{ir}(kp)$ и пороговых уровней инициирующего (триггерного) воздействия $K_{ili}(kp)$, отображающих кинетику энергообмена. Последовательность решения задачи: необходимо выделить локальные зоны с аномальным уровнем сейсмичности и структурных напряжений, где должно быть реализовано воздействие; установить, на каком этапе развития механической неустойчивости, возможно, и следует активизировать процесс релаксации; определить, какова величина энергии воздействия, чтобы способствовать разрядке структурных напряжений. Оптимальным вариантом приложения методики могут служить выделяемые зоны возникновения ожидаемых землетрясений.

ПЕРЕХОДНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ ПОДГОТОВКИ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В.В. Аксенов

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

aksenovv1@yandex.ru



Рассматриваются различные модели очагов землетрясения с позиции соответствия сейсмологическим наблюдениям: диаграмма направленности излучения сейсмических волн сжатия и волн растяжения, очаговые волны, механизм вспарывания тектонического шва, массоперенос вдоль тектонического шва и т.д. В основном все модели подготовки очага землетрясения подразумевают предварительное разрушение горной породы (ЛНТ, ДД и другие). В моделях: неустойчивое скольжение с трением; динамическая модель, и в том числе модель зацепами (шероховатость) рассматривают смещение блоков относительно друг друга как движение с трением, но это совершенно невозможно вследствие запрета (сдвиговая деформация в данном случае должна превышать предел прочности горных пород). Предлагается модель «Переходная деформация» как подготовка очага землетрясения, вводится определение: переходная деформация есть локальная деформация, состоящая из области сжатия, области нейтральной (нет сжатия, нет растяжения) и области растяжения. Эта локальная переходная деформация достигает своего предела и становится неустойчивой. Неустойчивость обращается в две изгибно-ротационных волны (волна сжатия, волна растяжения). Изгибно-ротационная волна сжатия при дви-

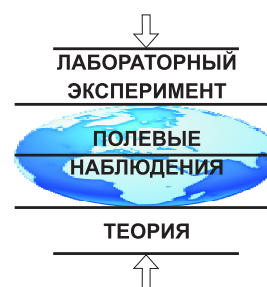
жении вдоль тектонического разлома захватывает в переднем фронте волны горную породу, при этом сжимая ее. В заднем фронте волны горная порода освобождается от деформации. Все именно это аналогично происходит в волне растяжения, только сжатие заменяется растяжением. Таким образом, сейсмологические данные направленности излучения сейсмических волн сжатия и волн растяжения подтверждают предложенную модель очага землетрясения. Было принято считать, что скорость вспарывания тектонического шва равна 3–4 км/с. Но прямые наблюдения зарегистрировали скорость вспарывания 500–800 м/с. Лабораторные и полевые наблюдения за скоростью прохождения изгибно-ротационных волн вдоль тектонического шва зависят от амплитуды данной волны и имеют значения от 800 до 500 м/с. Ни одна модель не дает механизма массопереноса вдоль тектонического разлома. Предлагаемая модель заменяет трение скольжения на трение качения, и таким образом снимается запрет на перемещение массы с трением. На основе теории «Захвата частоты» (Л.И. Мандельштам) и теории «Когерентных структур» (Дж. Николис) вводится зависимость магнитуды землетрясения от амплитудно-фазовой синхронизации, а также от существования длинно-периодных колебаний.

НОВАЯ СКВАЖИННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД В ИХ ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ

Ю.Г. Астраханцев, И.И. Глухих, Н.А. Белоглазова, А.Г. Вдовин

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

bna408@mail.ru



Исследование геоакустических сигналов, электромагнитных полей, их взаимосвязи и влияния на них вариаций геомагнитного поля представляет большой научный и практический интерес при изучении геодинамического состояния горных массивов в их естественном залегании. Во многом сложность этой задачи связана с тем, что аномальные изменения естественного электромагнитного излучения (ЭМИ) и геоакустической эмиссии (ГАЭ), наблюдаемые в периоды высокой сейсмической активности, могут быть обусловлены как процессами перестройки геологической среды, так и изменением состояния ионосферы и магнитосферы Земли. Выяснение физических причин аномальных явлений может быть более объективным, если используются результаты одновременных скважинных измерений различных геофизических полей, отражающих изменение напряженно-деформированного состояния геосреды. С этой целью в Институте геофизики УрО РАН была разработана новая скважинная аппаратура МЭШ-42 и МЭШК-42, позволяющая одновременно и непрерывно производить измерения в скважинах глубиной до 5 км геоакустической эмиссии в трех частотных диапазонах (100–500, 500–5000 и 2500–5000 Гц), электромагнитного излучения на трех частотах (40, 80 и 120 кГц) и геомагнитного поля (Z) или магнитной восприимчивости (α). Аппаратура предназначена как для проведения каротажа, так и для мониторинга геофизиче-

ских полей на заданной глубине. Она прошла испытание на объектах Урала и Камчатки. На Камчатском геодинамическом полигоне проводились режимные измерения в опытной скважине «Родыгинская» в 2009 и 2010 гг. По результатам измерений 24–28 сентября 2010 г. было отмечено уменьшение среднего уровня записи до 5.00 ч 25.09 и последующее увеличение амплитуд колебания ЭМИ на частоте 120 кГц, увеличение среднего уровня записи ЭМИ на частоте 70 кГц до 6.00 ч 25.09. Такие явления, возможно, связаны с подготовкой сейсмического события, произошедшего в районе наблюдений 25.09.2010 г. в 23.53 ч на глубине 81 км. Аналогичные эффекты отмечались и ранее при регистрации электромагнитного излучения в различных частотных диапазонах на Камчатке и в других регионах. Проведение каротажных работ, выполненных с данной аппаратурой, позволило расчленивать разрезы исследуемых скважин по геодинамической активности горных пород, выделить контакты пород с различными прочностными свойствами и т.д.

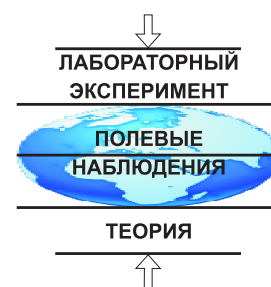
Таким образом, комплексное исследование магнитных и акустических параметров в скважинах позволяет получать дополнительную информацию о деформационных процессах, происходящих в районе исследования, более уверенно производить расчленение геологического разреза и оценивать тектоническую ситуацию в исследуемом районе.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЗОНАХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.Д. Басов, К.В. Романевич, С.П. Шляев

ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, Россия

kirillromanevich@gmail.com



По трассам автомобильных и железных дорог, строящихся к зимним Олимпийским играм в Сочи, научно-исследовательским отделом Ленметрогипротранса на стадиях изысканий, строительства и эксплуатации проводится горно-экологический мониторинг состояния тоннелей и массивов оползневых склонов по их трассе. При этом оцениваются происходящие пространственно-временные изменения напряженного состояния горных пород, устойчивость, а также изменения в геоэлектрических и сейсмогеологических разрезах, геодинамическая активность горных массивов по интенсивности естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), изменения координат реперов на поверхности Земли по данным космической и наземной геодезии и смещений в породах на глубине по инклинометрии скважин.

Оползни имеют широкое распространение в районах Большого Сочи и в местах расположения олимпийских объектов. Многие оползни в настоящее время достаточно активны. Кроме того, эта территория характеризуется высокой – 9-балльной – сейсмичностью. При подготовке и проявлении сильных землетрясений происходят процессы относительно медленных смещений и быстрые подвиж-

ки блоков земной коры по разломам и оползневых масс по плоскостям скольжения на склонах, что сопровождается разрушением зданий и сооружений и несет угрозу жизни людей.

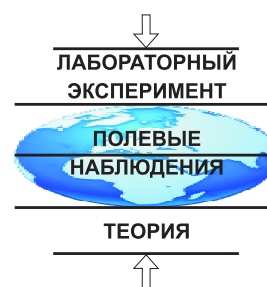
В настоящее время на тоннелях вводится в эксплуатацию система постоянного геотехнического мониторинга для обеспечения безопасности движения транспорта. Подготовка и реализация сильного землетрясения характеризуются высокой скоростью деформирования горных пород в эпицентральной зоне и проявлением предвестников с малым временем релаксации. Одним из таких предвестников может быть аномальное поведение ЕЭМИ, связанное с усилением интенсивности излучения механоэлектромагнитных преобразователей в зоне деформационных предвестников землетрясения. При мониторинге тоннелей в Сочи нам удалось зарегистрировать аномальные изменения ЕЭМИ в такой зоне накануне и во время 5-балльного землетрясения 30 мая 2012 г. в Сочи с эпицентром в 20 км от города в акватории Черного моря. Эти аномалии ЕЭМИ проявились за два часа до основного толчка, поэтому их можно считать краткосрочными предвестниками землетрясения.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

В.Т. Беликов, И.А. Козлова, Д.Г. Рывкин, А.К. Юрков

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

ikozlova75@mail.ru



С целью исследования механизмов выделения радона из разрушающихся горных пород были поставлены лабораторные эксперименты, при проведении которых отобранные образцы подвергались одноосному сжатию, вплоть до разрушения. Результаты экспериментов показали, что по мере увеличения внешней нагрузки в измерительной установке регистрируются аномалии объемной активности радона (ОАР). Их количество и амплитуда существенно зависят от вещественного состава горной породы, ее упругопрочностных характеристик, а также от величины и скорости увеличения нагрузки. Предложенный механизм образования аномалий ОАР может быть описан следующим образом. По мере увеличения сжатия в образце возникают макроскопические трещины, которые трассируют образующуюся в результате их слияния магистральную трещину, разделяющую образец на части. Кроме того, в процессе разрушения формируются области проницаемого (открытого) трещиновато-пористого пространства, сообщающиеся с указанными макроскопическими трещинами. В этих областях в открытое пористое пространство будет поступать радон из изолированных до разрушения отдельных пор и трещин, что повысит его концентрацию по сравне-

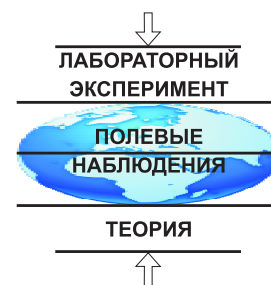
нию с той, которая была до начала деструктивных процессов. Одновременно с этим в направлении макроскопических трещин будет происходить конвективное движение газообразного флюида вместе с содержащимся в нем радоном. Это приведет к тому, что его количество в макроскопических трещинах существенно возрастет. Накопленный радон после образования магистральной трещины попадает в камеру регистрации. В результате возникает аномалия ОАР, наблюдающаяся в эксперименте. С использованием полученного материала были изучены относительные изменения открытой пористости и удельной внутренней поверхности образца горной породы в процессе разрушения. Расчеты были основаны на соотношениях баланса радона в момент образования аномалии ОАР. Результаты проведенных экспериментов и их интерпретация позволяют сделать вывод о том, что подобного рода процессы, происходящие в больших масштабах, приводят к появлению аномалий ОАР, регистрируемых в разрушающихся массивах горных пород. Более высокие амплитуды аномалий, наблюдающиеся при этом, в основном обусловлены большими характерными размерами области разрушения, из которой происходит аккумуляция радона.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ АНОМАЛИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

О.М. Белослюдцев, Н.Б. Узбеков

Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

ombel@mail.ru



Отношение скоростей сейсмических волн характеризует плотностные свойства геологической среды и представляет практический интерес для использования при средне- и краткосрочном прогнозе землетрясений. В связи с развитием деформационного процесса при подготовке тектонического землетрясения параметр отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s может принимать значения, отличные от среднего для данного региона. Для исследования временных и пространственных изменений отношения скоростей сейсмических волн в связи с этим на начальном этапе проведены работы по созданию станционных каталогов отношения скоростей сейсмических волн по станционным сейсмическим бюллетеням. Для этого выбраны отдельные станции: Маканчи, Каратау, Токмак и Подгорное.

Для выбора расчетных параметров анализа временных рядов V_p/V_s по выборкам из станционных каталогов построены временные ряды V_p/V_s по некоторым расположенным в районах эпицентров сильных землетрясений площадкам с размерами от $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ до $1.5 \times 1.0^\circ$ и проанализирован их спек-

тральный состав.

Для локализации эпицентральной зоны будущего землетрясения разработан ряд программ расчета средних значений параметра V_p/V_s по площадкам заданного размера – от $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ до $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ в любом временном окне. Ретроспективный анализ данных об изменениях отношения V_p/V_s проведен с учетом наличия непрерывных данных начиная с 1990 г. В результате анализа выявлены аномалии исследуемого сейсмического параметра V_p/V_s , пространственно приуроченные к очаговой зоне для ощутимых и сильных землетрясений, произошедших на Алмаатинском прогностическом полигоне за период 1990–2012 г.

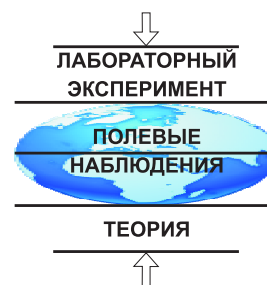
Полученные данные показали, что для начального периода исследований прогностическая эффективность параметра V_p/V_s достаточно высока. Целью дальнейших исследований является поиск способов ее увеличения, главным из которых является положительно зарекомендовавшее себя при краткосрочном прогнозе комплексирование разнодисциплинарных наблюдаемых параметров.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТРЕЩИН ПЛОСКОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ НАГРУЗКАХ ТИПА СЕЙСМИЧЕСКИХ

Ю.А. Бержинский, Л.П. Бержинская, А.П. Ордынская

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

berj@crust.irk.ru



В основу принятого подхода положено допущение о мультифрактальном характере распределения трещин на поверхности плоского железобетонного элемента. Известно, что при мультифрактальном описании объекты со сложной топологией характеризуются не только масштабом, но и вероятностью события, происходящего в данной области масштаба [1]. В качестве основной физической характеристики, отражающей плотность распределения трещин по полю плоского конструктивного элемента, принята суммарная (приведенная) длина трещин в конкретной ячейке, отнесенная к ее площади. Приведенная длина l имеет размерность см^{-1} .

Процедура мультифрактального моделирования плотности распределения трещин состоит из двух этапов. На первом этапе проверяется гипотеза о

мультифрактальном распределении приведенных длин трещин на анализируемом участке плоского конструктивного элемента. На втором этапе осуществляется построение мультифрактальной модели распределения приведенных длин трещин на поверхности конструктивного элемента.

Ранее проведенные исследования фрактальной природы образования поля трещин при реальном эксперименте конструктивного элемента под воздействием нагрузок типа сейсмических позволили поставить в соответствие степеням повреждений элемента фрактальные числа [2]. Настоящие исследования с учетом неравномерности поля трещин конструктивного элемента, проведенные с применением мультифрактального подхода, позволили уточнить полученные ранее результаты.

Литература

1. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 260 с.
2. Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Лухнева О.Ф. Количественный показатель степени повреждений диафрагм жесткости при экспериментальных исследованиях фрагмента каркасного здания // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 1. С. 27–30.

АКУСТОЭМИССИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И КИНЕТИКИ АНСАМБЛЯ ДЕФЕКТОВ

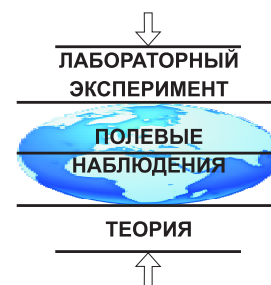
Л.М. Богомолов¹, А.С. Закупин², В.А. Мубассарова²,
И.А. Пантелеев³, В.Н. Сычев²

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

² Научная станция РАН, Бишкек, Кыргызстан

³ Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

bogomolov@imgg.ru



Представлены новые результаты исследований вариаций активности акустической эмиссии (АЭ) и изменения скорости деформации нагруженных мраморных образцов при дополнительном воздействии электромагнитного (ЭМ) поля. Эксперименты проводились на испытательных установках в лаборатории моделирования энергонасыщенных сред НС РАН и лаборатории физических основ прочности ИМСС УрО РАН. Испытания на одноосное сжатие проводились в режиме квазистатического нагружения и в режиме нарастающей с постоянной скоростью нагрузки [1]. В качестве дополнительного воздействия использовалось скрещенное электромагнитное поле [2]. Результаты экспериментов показали, что влияние воздействия на деформацию и акустическую эмиссию проявляется вне зависимости от характера изменения нагрузки. Отклики деформации представляют собой как кратковременный прирост значения, так и изменение ее скорости. Для

сравнения результатов были проведены эксперименты без воздействия ЭМ поля в обоих режимах нагружения. Для интерпретации результатов экспериментов рассматриваются две модели, относящиеся к различным масштабам. С органической взаимосвязи моделей условий равновесия трещины с теорией фазовых переходов и синергетикой предпринята попытка приспособить модель Гриффитса для описания триггерных эффектов. Предложена модификация этой модели (по сути, приложение теории катастроф [3]), описывающая «элементарный процесс» влияния электрического поля на рост отдельной микротрещины. А кинетику ансамбля микротрещин, в том числе при воздействии внешних полей, можно анализировать с помощью другой модели [4], где рассматривается концентрационный параметр, его эволюция и структурно-скейлинговые переходы при неупругой деформации.

Литература

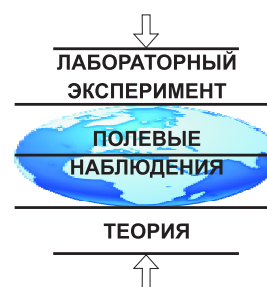
1. *Zakupin A., Bogomolov L., Mubassarova V. et al.* Acoustic emission and electromagnetic effects in loaded rocks // Acoustic emission / Ed. W. Sikorski. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. P. 173–198.
2. *Zakupin A.S., Bogomolov L.M., Sycheva N.A.* The effect of crossed electric and magnetic fields in loaded rock specimens // Materials Science and Engineering A. 2009. V. 521–522. P. 401–404.
3. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
4. *Пантелеев И.А., Плехов О.А., Наймарк О.Б.* Модель геосреды с дефектами: коллективные эффекты несплошностей при формировании потенциальных очагов землетрясений // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. М., 2012. С. 151–155.

ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИЙ СТРУКТУРИРОВАННЫХ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ СРЕД: ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДАННЫМ МОНИТОРИНГА НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

С.А. Борняков, А.А. Тарасова, А.И. Мирошниченко, Д.В. Салко

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

bornyak@crust.irk.ru



Тектонические землетрясения реализуются преимущественно двумя хорошо известными механизмами, которым соответствуют модели лавинно-неустойчивого трещинообразования и прерывистого скольжения (stick-slip). Второй механизм сейсмогенерации проявляется наиболее часто и связан с периодической сейсмической активизацией существующих протяженных разломов. Исследование закономерностей их активизации является весьма актуальным и с фундаментальной, и с прикладной точек зрения.

В докладе представлены результаты экспериментального исследования условий и причин активизации разрывов в деструктивной зоне сдвига (ДЗС) в физической упруговязкопластичной модели литосферы, а также результаты деформационного мониторинга горных пород на геодинамических полигонах и ледового покрова оз. Байкал.

Результаты физического моделирования показали, что формирующаяся в модели разломно-блоковая внутренняя структура деструктивных зон сдвига имеет сложную, но закономерную дискретно-волновую деформационную динамику развития. Она проявляется в дифференцированной по типу деформации блоков, приводящей к избирательной

пространственно-временной сегментной активизации межблоковых контактов, представленных в ДЗС в виде совокупности систем разноранговых разрывов. Пространственно-временная дискретность деформационного процесса в ДЗС обусловлена внутренними свойствами упруговязкопластичной среды, обеспечивающими генерацию в ней деформационных волн даже в условиях действия внешней нагрузки с постоянной скоростью.

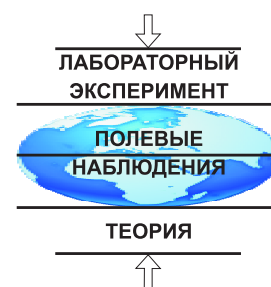
Данные мониторинга деформаций на геодинамических полигонах на больших (десятки метров) и малых (десятки сантиметров – первые метры) базах также показывают колебательный характер деформаций во времени. При этом в преддверии сильных землетрясений во временной реализации мониторингового параметра начинают проявляться тесные корреляционные связи и существенно меняются амплитуда и спектральный состав колебаний. Последнее, как показал мониторинг деформаций ледового покрова оз. Байкал, является закономерным и может использоваться как прогнозный признак перехода нагруженной структурированной упруговязкопластичной среды в критическое предсейсмогенное состояние.

СРЕДНЕ- И КРАТКОСРОЧНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Борняков, С.И. Шерман, А.А. Бобров, С.В. Рассказов,
А.И. Мирошниченко, А.А. Тарасова, Д.В. Салко

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

bornyak@crust.irk.ru



Синергетический концептуальный подход к прогнозу предполагает, что на завершающем этапе подготовки очага сильного землетрясения разломно-блоковая структура литосферы в очаговой области через процесс самоорганизации переходит в особое критическое динамическое состояние. Это скоротечное состояние, измеряемое часами – первыми днями, оказывающее сильное влияние на широкий комплекс геолого-геофизических процессов во всей сейсмоактивной области через дальнедействующие корреляции. Это влияние проявляется в форме сильных флуктуаций во временных реализациях геофизических, геохимических и других параметров. Как правило, развитие флуктуаций идет по обратному сценарию удвоения периода. В мониторинговых рядах параметров фиксируется наличие корреляционных времен, а в протекании пространственно разобщенных одноименных процессов проявляются эффекты синхронизации.

Отмеченные выводы послужили теоретической основой для создания технологии прогноза сейсми-

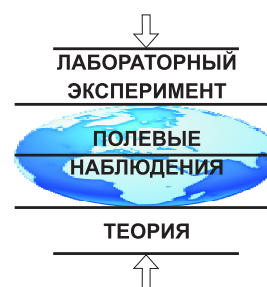
ческой опасности, разрабатываемой сотрудниками ИЗК СО РАН. Технология базируется на группе расчетных методов, позволяющих по анализу временных рядов геофизических, геохимических и других мониторинговых данных тестировать динамическое состояние литосферы сейсмоактивной области и давать оценку сейсмической опасности в средне- и краткосрочном режиме. Основу технологии составляют: метод оценки по количественному и магнитудному индексам сейсмической активности, метод оценки по фрактальной размерности, информационной энтропии и углу наклона графика повторяемости, метод оценки по анализу кривизны структурных функций (МАКСФ), метод оценки по объемной активности подпочвенных радона и торона, метод оценки по отношению изотопов урана в родниковых водах. Комплексный анализ с помощью перечисленных методов получаемых с геодинамических полигонов данных и сейсмичности позволяет судить о динамическом состоянии литосферы и оценивать степень сейсмической опасности.

ВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ АНАПСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И РЕАКЦИЯ ГИДРОГЕОСФЕРЫ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКУЮ АКТИВИЗАЦИЮ

А.Ю. Бяков, А.И. Дибров, В.М. Шереметьев, В.А. Фоменко

ГНЦ «ЮжМорГеология», Геленджик, Россия

anton_dibrova@mail.ru



В статье приведено описание изменений различных геофизических полей, связанных с землетрясением, произошедшим 05.10.2007 г. в 23 часа 18 минут (по Гринвичу) в Черном море между городами Анапа и Новороссийск с энергетическим классом $K=11.4$, а также реакция гидрогеосферы на повышение геодинамической активности (рисунок).

Землетрясение и предвещающее его аномальное изменение геофизических полей четко выражены в виде зарегистрированных аппаратурных записей всего комплекса многопараметрового сейсмологического мониторинга.

Современное ощутимое землетрясение дает шанс оценить глубину сейсмогенерирующих структур района по макросейсмическому проявлению события и тем самым прояснить ситуацию и с сильнейшим землетрясением 1966 г., и, возможно, с более ранними событиями.

Общее изменение объемной активности (ОА) района в сентябре 2007 г. характеризовалось 3-кратным повышением значений с 12 по 22.09.2007 г. В октябре, непосредственно после землетрясения, значения ОА были минимальны в течение 13 дней, после чего опять возросли в среднем в 3–4 раза.

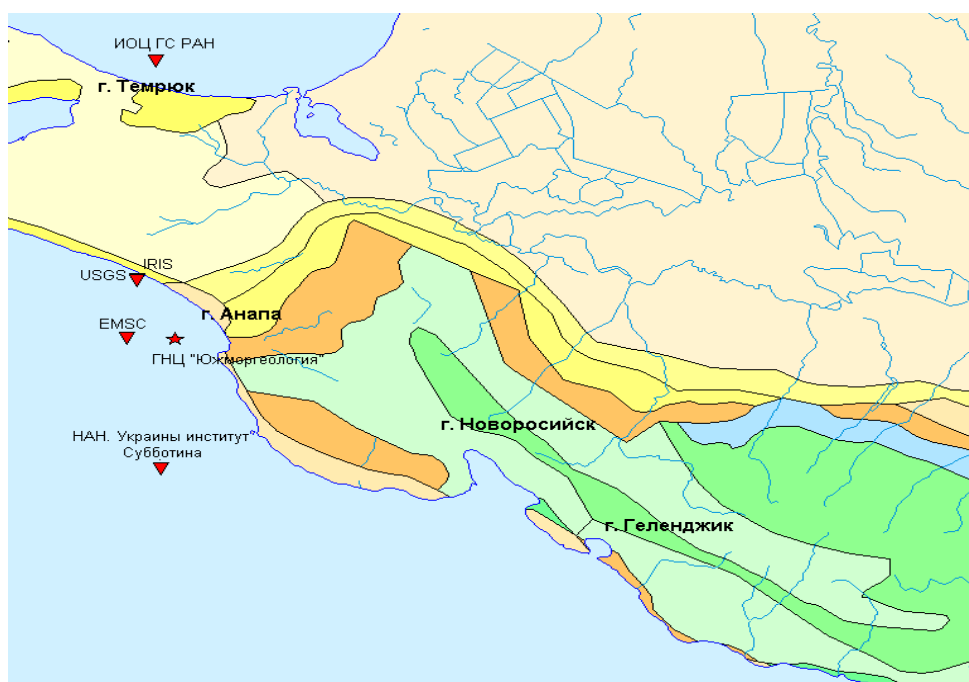


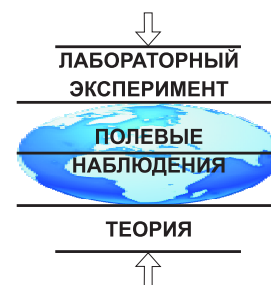
Схема определения местоположения гипоцентра различными сейсмологическими центрами.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АНАЛИЗА ГРАФИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ СРЕД В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ Vlad NumGraph 1.0

В.И. Васильев

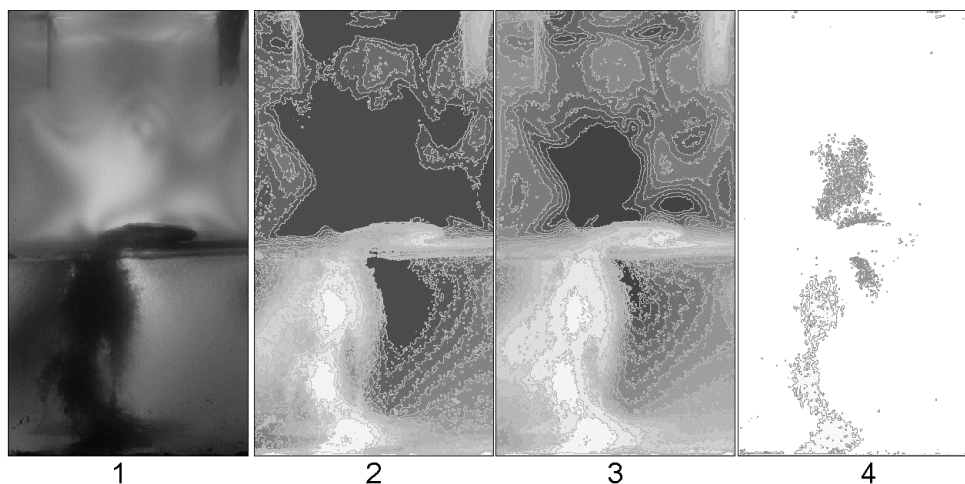
Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

geovladi@mail.ru



Первичными результатами экспериментов являются фото- и видеоизображения. На таких изображениях в интерпретации нуждаются, в первую очередь, напряжения модельного материала, выраженные оттенками определенных цветов. Основным вопросом в проблеме интерпретации является следующий: каким цветом и какой интенсивностью этого цвета отображается то или иное напряжение среды? Причем на такой вопрос необходимо отвечать только количественно. Необходимо учитывать также, что фотографии делаются при различных внешних условиях: освещении, влажности, разных коэффициентах преломления стенок модельной емкости, различными фотокамерами. Таким образом, средство анализа должно «уметь» разлагать изображение на цвета, вычислять интенсивность каждого цвета и иметь некий «эталон интенсивности цветов»

для независимости от внешних условий. В связи с этим разработан и успешно используется программный продукт Vlad NumGraph 1.0 для Microsoft Windows. Он обладает дружественным интерфейсом и соответствует всем вышеприведенным требованиям, включая независимость от внешних условий. Последнее требование достигается контролем соотношения четырех эталонных цветов в конкретных внешних условиях, при которых производится съемка эксперимента. Это белый, красный, синий и зеленый цвета, оцифрованные по RGB-модели с 256-разрядной интенсивностью цветов (0–255). На рисунке представлены изображение напряженной модельной среды в процессе эксперимента и проанализированные по оригинальному алгоритму его цветовые составляющие.



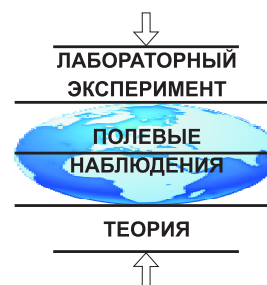
Анализ изображения напряженной среды средствами Vlad NumGraph 1.0. 1 – оригинальное изображение; 2, 3, 4 – распределение интенсивности красного, зеленого и синего цветов соответственно, нормированных в интервале 0–255.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭМИССИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ В КВАРЦЕ И ГРАНИТЕ

В.И. Веттегрень, В.С. Куксенко, И.П. Щербаков, Р.И. Мамалимов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Victor.Vettegren@mail.ioffe.ru



Представлены результаты высокоскоростной (с временным интервалом 10 нс) регистрации сигналов фрактолюминесценции (ФЛ) и акустической эмиссии (АЭ), вызванных электрическим взрывом. Он был инициированным электрическим разрядом между контактами, расположенными в каналах образцов из кварца и гранита. Диаметр каналов ≈ 1 мм, они расположены на расстоянии от поверхности ≈ 2 мм.

Получены спектры ФЛ, записанные в течение 40 мкс после начала взрыва. В спектрах ФЛ кварца наблюдали полосы, соответствующие электронным переходам в возбужденных свободных радикалах SiO и Si. В спектрах ФЛ гранитов, кроме указанных полос, наблюдали полосы, возникающие при электронных переходах в ионах Mn. Они возбуждаются при миграции энергии из возбужденных свободных

радикалов SiO и Si. Эти результаты показывают, что ФЛ несет информацию только о разрывах SiO связей.

Она имеет вид вспышек длительностью ≈ 10 нс. Каждая из них соответствует рождению микротрещины. По интенсивности вспышек и скорости распространения упругих волн оценен линейный размер микротрещин – от ≈ 1 до ≈ 30 мкм.

Обнаружено, что «одновременное» рождение нескольких микротрещин вызывает модуляцию ударной волны. Ее интенсивность пропорциональна общей площади образующихся микротрещин.

Проведены исследования динамики рождения микротрещин. Установлено, что они возникают на спаде ударной волны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 13-05-00011-а и № 11-05-00320-а.

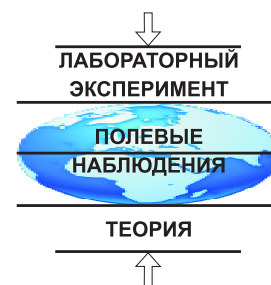
РАЗМЫТЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В МАКРО- И НАНОКРИСТАЛЛАХ КВАРЦА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

В.И. Веттегрень¹, Г.А. Соболев², Ю.А. Морозов², Р.И. Мамалимов¹,
С.М. Киреев², А.И. Смульская²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

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

Victor.Vettegren@mail.ioffe.ru



Методом инфракрасной спектроскопии исследован фазовый α - β переход и эволюция внутренних напряжений в поверхностных слоях макрокристалла α -кварца толщиной до 10 мкм и нанокристаллах этого же минерала в псевдотахилите при изменении температуры.

Обнаружено, что в поверхностном слое макрокристалла толщиной ~ 0.15 мкм концентрация α -фазы при повышении температуры ведет себя, как и ожидается для фазового перехода первого рода: до $T \sim 800$ К она неизменна, а при $T \rightarrow 846$ К стремится к нулю. Однако в слое макрокристалла толщиной ~ 10 мкм фазовый переход «размыт»: концентрация α -фазы начинает уменьшаться уже при ~ 350 К, а при 812 К уменьшается в пять раз. Одновременно в макрокристалле растет концентрация β -фазы. Такое же «размытие» фазового перехода наблюдается и для нанокристаллов α -кварца в псевдотахилите: начиная с 350 К их концентрация монотонно уменьшается и

стремится к нулю при ≈ 650 К за счет их трансформации в нанокристаллы β -кварца.

Одновременно с началом фазового перехода в макрокристалле кварца на расстояниях до ≈ 1 мкм от поверхности появляются растягивающие напряжения ≈ 300 – 400 МПа и образуются микротрещины, которые приводят к разрушению образцов при $T \rightarrow 846$ К. В отличие от макрокристалла нанокристаллы α -кварца в псевдотахилите при комнатной температуре сжаты. Однако коэффициент теплового расширения нанокристаллов выше, чем макрокристаллов, что приводит к уменьшению сжатия при увеличении температуры.

В соответствии с теорией размытых фазовых переходов эти явления объяснены влиянием полей напряжений около дефектов в кристаллической решетке α -кварца.

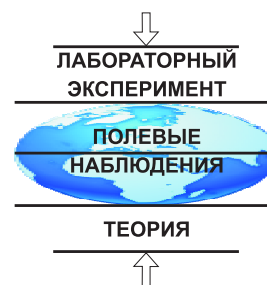
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-05-00010.

ОБРАЗОВАНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ И РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД СО СКВОЗНЫМ ОТВЕРСТИЕМ

С.Д. Викторов, А.Н. Кочанов, А.А. Осокин

Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

victorov_S@mail.ru



Разрушение массива горных пород и материалов всегда сопровождается образованием частиц микронных размеров, дисперсный состав которых зависит от таких свойств, как хрупкость, пластичность, и от микроструктуры горных пород [1]. Эффект образования и отрыва частиц с обнаженной поверхности массива горных пород при разработке месторождений на больших глубинах хорошо известен и принимается за предвестник горных ударов. Это явление, в какой-то степени его моделирование в лабораторных условиях, послужило предпосылкой настоящих исследований. Разработана методика экспериментов, суть которой заключалась в следующем. В образцах горных пород размером 4–5 см просверливалось сквозное отверстие, в которое с помощью гибких трубок с одной стороны присоединялся фильтр, предназначенный для исключения притока частиц из атмосферы, а с другой – лазерный счетчик частиц, имеющий три диапазона измерений размеров: 0.3–0.5, 0.5–5.0 и 5–10 мкм. Нагрузка образцов осуществлялась на прессе в условиях одноосного сжатия с заданным шагом [2]. Как следует из экспериментов, при достижении определенного уровня нагружения происходит образование микрочастиц с поверхности отверстия, количе-

ство которых с ростом нагрузки возрастает вплоть до разрушения образца. Для большинства горных пород наибольшее количество образовавшихся субмикронных частиц находится в диапазоне 0.5–5.0 мкм. Это явление более характерно для горных пород как для хрупких тел, чем для металлов, и во многом определяется шероховатостью поверхности, т.е. микроструктурой, зависит от соотношения размеров отверстия и образца. С достаточной долей вероятности можно говорить об отрыве как основном механизме образования субмикронных частиц. Эмиссию субмикронных частиц при сжатии образцов горных пород с отверстием можно объяснить тем, что на контуре отверстия в образцах на стадии их допредельного деформирования формируется локальная область разрушения вследствие неоднородного распределения напряжений и превышения предела прочности материала. При нагружении образцов имеется этап резкого возрастания интенсивности эмиссии частиц, что предшествует разрушению образца. Этот резкий рост эмиссии частиц может служить индикатором для прогнозирования разрушения горной породы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-05-00528-а).

Литература

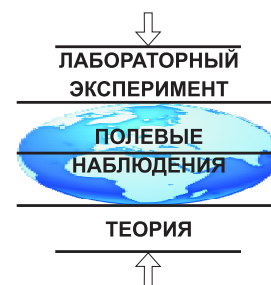
1. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Одинцев В.Н. Техногенные минеральные частицы как проблема освоения недр // Вестник РАН. 2006. Т. 76, № 4. С. 318–332.
2. Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Осокин А.А. Эмиссия микрочастиц при деформировании и разрушении образцов горных пород в условиях одноосного сжатия // Вестник Тамбовского университета. 2010. Т. 15, вып 3. С. 1163–1164.

ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ ИЛИ НЕЛИНЕЙНОСТЬ – ЧТО БЛИЖЕ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ?

А.В. Викулин

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

vik@kscnet.ru



В последние годы в основу новых подходов в геологии все чаще закладывают концепции нелинейности и(или) фрактальности геосреды. Продуктивен ли такой подход?

Концепция нелинейности в физике включает рассмотрение многих нелинейностей, физика которых достаточно строго объясняется соответствующими членами уравнений движения среды. Убери уравнения – и физика, и количественная характеристика нелинейностей исчезают, а само понятие становится, по сути, философской категорией. Физики к концепции нелинейности среды пришли путем последовательных приближений, изначально отталкиваясь от линейной среды, от линейных уравнений ее движения, постепенно включая и анализируя появляющиеся нелинейности. Геофизики же, анализируя большие объемы вещества Земли, сразу показали существование у геофизической среды гигантской по значению нелинейности. Что делать с такой нелинейностью, физики пока не знают [2].

Как и геофизическая нелинейность, нелинейность геологической среды также обладает рядом специфических особенностей. Например, именно геологами в 1930-х гг. было введено понятие реидного течения геологической среды [3]. Работами А.В. Пейве [4] и В.С. Пономарева [5] убедительно показана энергонасыщенность геосреды. Впрочем

об этом геологи знали достаточно давно [1]. Другим интересным примером геологического движения, непонятного до настоящего времени и, скорее всего, связанного с реидным движением, являются впервые описанные Ли Сыгуаном [7] геологические вихревые структуры, которые формировались «в твердом состоянии на месте и за счет вещества верхней мантии» и «с самого начала формировались как дугообразные, а не изгибались из первоначально прямолинейных структур» [6, с. 73, 92]. Четкого понимания того, как образуются такие структуры, как они развиваются, в какой степени связаны с вращательными движениями Земли, нет до настоящего времени. По сути, такие структуры отсутствуют для геологии.

Представляется, что основное направление анализа должно быть изменено: вместо обсуждения абстрактных, неопределенных и далеких от геологии понятий нелинейности и/или фрактальности следует приступить к осмыслению уже установленным самим геологами свойств геологической среды, в первую очередь таких, как реидность, энергонасыщенность и способность двигаться вихревым способом, и нелинейность «сама придет». Возможно, что для описания таких свойств геосреды потребуются разработка и новых представлений как в геологии и геофизике, так и в физике.

Литература

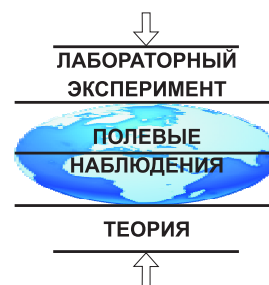
1. Богданович К.И. Землетрясения в Мессине и Сан-Франциско. М., 1909. 165 с.
2. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. М.: Физматлит, 2008. 496 с.
3. Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 457 с.
4. Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геол. 1961. № 3. С. 36–54.
5. Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука, 2008. 379 с.
6. Слензак О.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. Киев: Наукова Думка, 1972. 182 с.
7. Lee J. S. Some characteristic structural types in Eastern Asia and their bearing upon the problems of continental movements // Geol. Mag. 1928. LXVI. P. 422–430.

ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНАТОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ

А.С. Вознесенский, Я.О. Куткин, М.Н. Красилов

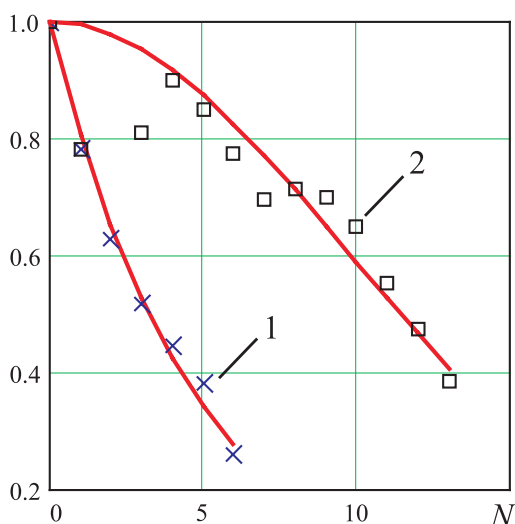
Московский государственный горный университет, Москва, Россия

al48@mail.ru, ftkp@mail.ru



Методами компьютерного моделирования решалась задача установления закономерностей изменения предела прочности σ_n геоматериала в зависимости от количества N трещин в образце. Моделирование велось в двумерной постановке в среде Comsol Multyphysics. Размеры модели образца 60×120 мм, толщина 60 мм. Модуль упругости 30 ГПа, коэффициент Пуассона 0.28. Для выраженного влияния трещин их размер выбран достаточно большим, длина каждой из них 10 мм, ширина 0.1 мм, форма эллиптическая. Моделировалась система трещин, ориентированных под углом 45° к оси образца. Нагрузка на образец прикладывалась к верхнему торцу, а нижний ограничен в своем движении по вертикали. Величина нагрузки задавалась линейно возрастающей во времени от 0 до 100 МПа за 10 мин, предел прочности образца на сжатие принимался равным $\sigma_{сж}=100$ МПа, а на растяжение и на сдвиг – в 10 раз меньше, т.е. $\sigma_p = \sigma_{сдв} = 10$ МПа. В процессе численного эксперимента трещины размещались вдоль проходящих через центр образца линий, в первом варианте – горизонтальной, во вто-

ром – вертикальной. При увеличении общей нагрузки во времени определялись максимальные по объему образца растягивающие $\sigma_{хум}$, $\sigma_{ум}$ и сдвиговые $\sigma_{хум}$ напряжения, находился момент t_n достижения ими предельного значения прочности. Раньше всего оно достигалось напряжениями $\sigma_{хум}$, когда $\sigma_{хум} = \sigma_{сдв}$. Для этого момента времени t_n рассчитывалась величина усредненных напряжений σ_n , действующих на торцы модели. На рисунке показаны графики зависимостей уменьшения первоначального значения прочности при увеличении количества трещин N . Цифрой 1 отмечена эта зависимость при увеличении N по горизонтали, она аппроксимирована экспонентой, а цифрой 2 – по вертикали, она аппроксимирована Гауссовой кривой. Из графиков следует, что на зависимость уменьшения прочности геоматериала от N влияет не только количество трещин, но и их расположение. При этом количество трещин по вертикали начинает влиять только тогда, когда их суммарная проекция на вертикальную ось становится сравнимой с высотой образца.



Графики зависимости уменьшения первоначального значения прочности при увеличении количества трещин N .

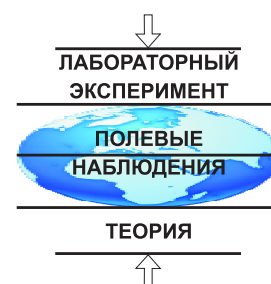
ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД К ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Г. Вострецов¹, Г.Е. Яковицкая²

¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

² Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, Россия

vostretsov@adm.nstu.ru, yge@ngs.ru



Процесс разрушения горных пород, как отмечал А.А. Воробьев, сопровождается излучением сигналов ЭМИ, и изучение этого явления с помощью метода ЭМИ предоставляет возможность получить новую информацию о процессе разрушения, а величина энергии излучения позволит оценить возмож-

ность использования метода в натуральных условиях подземных горных выработок.

Авторами предложено оценивать склонность к удароопасности горных пород на основе величины поверхностной плотности энергии сигналов ЭМИ.

Определение склонности горных пород к удароопасности по уровню поверхностной плотности энергии сигналов ЭМИ

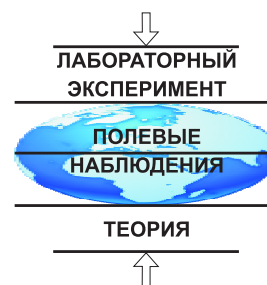
№ п/п	Тип горной породы	Месторождение	Оценка склонности к удароопасности	$\mathcal{E}_{\text{ЭМИ}}, \text{Дж/м}^2$
1	Кварцевый диорит	Константиновское	Весьма склонен	$7 \cdot 10^{-11}$
2	Кварцит	Зыряновское	Весьма склонен	$2 \cdot 10^{-11}$
3	Кварцевый сиенит	Таштагол	Весьма склонен	$7.3 \cdot 10^{-12}$
4	Сиенит	Таштагол	Весьма склонен	$4 \cdot 10^{-12}$
5	Сиенит	Таштагол	Весьма склонен	$1.1 \cdot 10^{-12}$
6	Магнетитовая руда 60 %	Таштагол	Склонен	$2.7 \cdot 10^{-13}$
7	Мелкоигольчатый туф	Зыряновское	Склонен	$1.4 \cdot 10^{-13}$
8	Мраморизованный известняк	Таштагольское	Слабо склонен	$1.7 \cdot 10^{-14}$
9	Мраморизованный известняк (К)	Константиновское	Слабо склонен	$2.3 \cdot 10^{-15}$
10	LiF	лаб. образец	Не склонен	$1 \cdot 10^{-16}$
11	KaCl	лаб. образец	Не склонен	$1.6 \cdot 10^{-17}$
12	NaCl	лаб. образец	Не склонен	$1.16 \cdot 10^{-17}$

МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОСРЕДЫ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В.А. Гаврилов

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

vgavr@kscnet.ru



С 2000 г. в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН достаточно активно ведутся работы, целью которых является разработка новых перспективных методов мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды. Акцент в работах делается на комплексные геофизические измерения в глубоких скважинах, что во многих случаях позволяет получать результаты, недостижимые при измерениях на поверхности. В настоящее время сеть измерений состоит из четырех радиотелеметрических пунктов, расположенных на территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона, и Центра сбора и обработки информации в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Базовыми являются скважинные геоакустические измерения с установкой геофонов и гидрофонов на глубинах от 210 до 1024 м, а также электромагнитные измерения в СНЧ-диапазоне частот с использованием подземных электрических антенн, проводимые непрерывно на всех измерительных пунктах. На основе результатов указанных измерений делаются предварительные оценки напряженно-дефор-

мированного состояния геосреды. При этом анализируются данные о параметрах откликов геоакустической эмиссии на внешнее электромагнитное воздействие и результаты измерений уровня фонового электромагнитного излучения в СНЧ-диапазоне частот. Для уточнения оценок напряженно-деформированного состояния геосреды данные скважинных геоакустических и электромагнитных измерений анализируются совместно с данными гидрогеохимических и гидрогеодинамических измерений [1]. При выборе видов измерений для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды основной акцент делался на необходимости понимания физической сути процессов, обуславливающих появление аномалий во временных рядах параметров в окрестностях сильных землетрясений. Полученные к настоящему времени результаты, в том числе успешный прогноз землетрясения магнитудой $M_w=6.9$, произошедшего 28 февраля 2013 г. на юге Камчатки, позволяют сделать вывод о достаточно высокой эффективности и перспективности указанных методов и подходов.

Литература

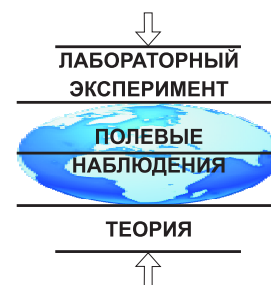
1. Gavrilov V.A., Panteleev I.A., Ryabinin G.V., Morozova Yu.V. Modulating impact of electromagnetic radiation on geoacoustic emission of rocks // Russian Journal of Earth Sciences. 2013. V. 13. ES1002. doi:10.2205/2013ES000527.

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.И. Герман

Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья,
Красноярск, Россия

germanv@rambler.ru



Единый механизм процесса разрушения горных пород на различных масштабных уровнях является физическим основанием теории подобия структуры сейсмичности. Ее базовым утверждением является: сейсмичность в одном энергетическом – пространственном-временном интервале (ЭПВИ) – масштабная версия сейсмичности в другом ЭПВИ. Это подобие не абсолютно, но статистическое: функция распределения характеристики, рассматриваемой в фиксированном ЭПВИ, – масштабная (сжатая или растянутая по оси ординат) версия базовой функции распределения. При этом описание характеристик сейсмичности функциями распределения является более общим и более корректным, чем фрактальными размерностями.

Наиболее известный пример такого подобия – закон Гутенберга-Рихтера, который показывает, что распределение значений магнитуд землетрясений для разных ЭПВИ описывается одним и тем же законом распределения. В классическом варианте им является экспоненциальное распределение (применение гамма-распределения позволяет учесть загиб графика повторяемости в области больших значений магнитуд). Аналогичным образом распределение временных интервалов между последовательными землетрясениями из различных ЭПВИ описывается одним и тем же семейством распределения. Проведенные исследования показывают, что в качестве него может использоваться семейство распределений Вейбулла. Данное семейство распределений так же хорошо описывает распределение про-

странственных интервалов между ближайшими в пространстве сейсмическими событиями из различных ЭПВИ.

Общим для распределений характеристик в сейсмологии (масштабных, временных, пространственных) является то, что каждая из них хорошо описывается неким двухпараметрическим семейством распределений. Одним из параметров распределений является параметр формы, который от перехода между наборами данных меняется слабо и связан с фрактальными размерностями (в случае магнитудного распределения таким параметром является тангенс угла наклона графика повторяемости). Вторым параметром является масштабный параметр, который связан с уровнем сейсмической активности для выбранного набора данных.

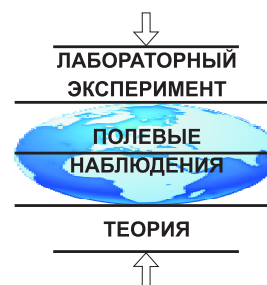
Подобно использованию закона Гутенберга-Рихтера для решения ряда задач анализа каталогов землетрясений можно использовать подобие распределений временных и пространственных характеристик. В частности, установление нарушения такого подобия можно использовать для выявления непредставительных данных. Аномалии в поведении параметра формы, соответствующие изменению структуры сейсмичности, можно использовать для выявления особенных данных, которые могут соответствовать особым тектоническим участкам или моментам подготовки крупных землетрясений. Получены результаты применения анализа пространственных и временных характеристик сейсмичности для решения перечисленных задач.

СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КАК ПРЕДВЕСТНИК ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

В.И. Герман

Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья,
Красноярск, Россия

germanv@rambler.ru



В настоящее время широко признано, что сейсмическая активность является важным параметром, в поведении которого можно выделить прогностические аномалии. Возникновению сильного землетрясения предшествует сейсмическое затишье, проявляющееся в уменьшении активности. При этом непосредственно перед возникновением сильного землетрясения затишье зачастую сменяется форшоковой активизацией. В то же время непосредственное использование значений сейсмической активности или анализ графика ее изменения не является достаточно информативным. Более важно оценить динамику ее изменения.

В работе предлагается способ выделения локальных сейсмических затиший, основанный на рассмотрении скорости изменения во времени значений сейсмической активности. Для анализа был выбран параметр наклона B , равный тангенсу угла наклона графика изменения сейсмической активности во времени. При формировании сейсмического затишья параметр B должен принимать отрицательные значения. Предполагается, что перед возникновением сильного землетрясения в его окрестности радиуса r_{\max} должно наблюдаться достижение параметром B минимальных значений, соответствующих резкому уменьшению сейсмической активности. Перед самым сильным землетрясением можно ожидать возвращения значений параметра наклона B к фоновым. Следует отметить, что поведение параметра B малочувствительно к наличию долговре-

менных трендовых составляющих в изменении сейсмической активности.

Апробация параметра B велась на примере каталога землетрясений Камчатки. Был использован каталог землетрясений Камчатки с удалением афтершоков, рассматривались землетрясения с глубинами очагов от 20 до 100 км с энергетическим классом 8.5 и выше, для построения графиков сейсмической активности использовались землетрясения, попавшие в зону радиусом $r_{\max} = 100$ км от эпицентра рассматриваемого сильного события, активность A вычислялась для временного промежутка продолжительностью $t_{\max} = 2$ года, при добавлении каждого нового землетрясения активность пересчитывалась, в результате ее график строился по точкам (t_i, A_i) .

Анализ поведения параметра B показывает, что перед каждым сильным землетрясением за 3...7 лет до сильных землетрясений (с $K_{\text{Ф68}} \geq 14.5$) наблюдается локальный минимум параметра наклона B с достижением величины, меньшей -0.8 , при этом основной толчок предваряется восстановлением значений параметра B до фоновых значений. Перед ним обязательно происходит переход B через значение, равное 0, что соответствует смене сейсмического затишья на активизацию. Этот момент может рассматриваться как начало периода ожидания сильного землетрясения, длительность которого не превышает 5 лет, а в большинстве случаев составляет около 1–2 лет.

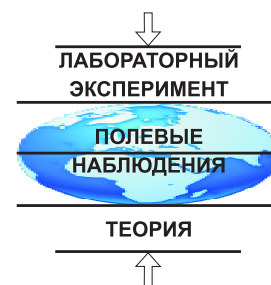
СВЯЗЬ КРУПНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «АНТЕЙ» С ДИСПЕРСИЕЙ ВЕЙВЛЕТ-КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭНЕРГИИ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ

В.Л. Гиляров¹, Е.А. Дамаскинская¹, А.Г. Кадомцев¹, И.Ю. Рассказов²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Vladimir.Hilarov@mail.ioffe.ru

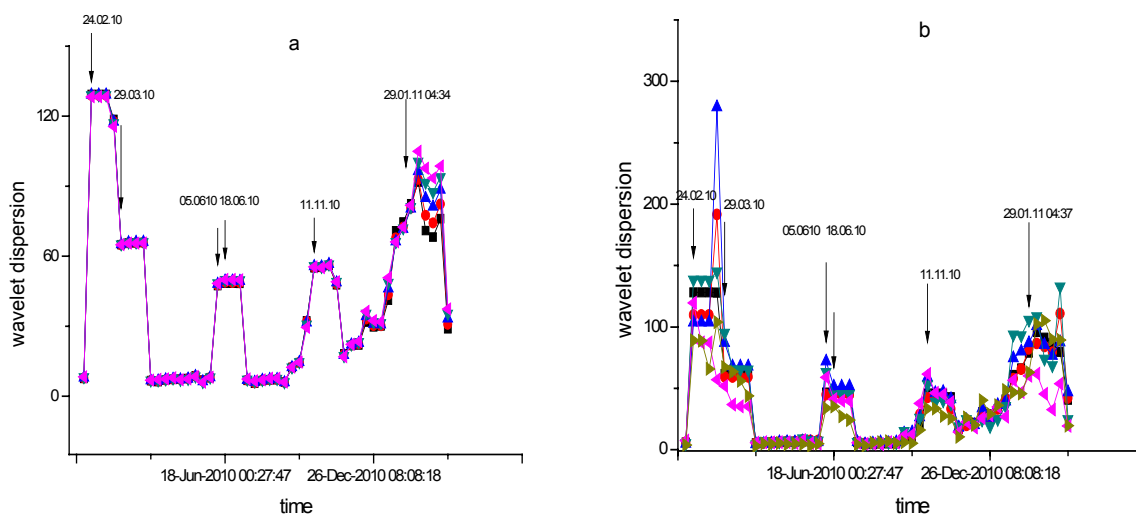


Проанализированы события акустоэмиссионной активности, зарегистрированные на глубоких горизонтах месторождения «Антей» (рудник Глубокий ОАО «ППГХО») в период с 01.01.2010 г. по 31.01.2011 г.

Рассчитана дисперсия коэффициентов вейвлет-преобразования (ВП) временного ряда акустической эмиссии. Весь временной ряд разбивался на интервалы, содержавшие 512 событий, на которых и производился расчет дисперсии, после чего начальный отсчет нового интервала смещался на 128 событий и расчет повторялся. Время текущего интервала определялось по времени события его последней точки. Таким способом получалась временная зависи-

мость дисперсии, приведенная на рисунке для непрерывного (a) и дискретного (b) ВП. Различным кривым на рисунке соответствует различный масштабный фактор ВП. Нанесенные на рисунок отметки шести крупных акустических событий, произошедших в рассматриваемый период времени, соответствуют по времени всплескам дисперсии и показывают, что дисперсия вейвлет-коэффициентов действительно может служить признаком приближающегося крупного акустического события в процессе разрушения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-05-00152).



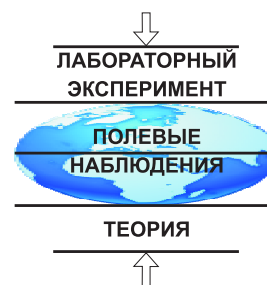
Временная зависимость дисперсии для непрерывного (a) и дискретного (b) вейвлет-преобразования.

ДИНАМИКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПРОВОДНИКОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОЧКАМ СИЛ ПРИТЯЖЕНИЯ И ОТТАЛКИВАНИЯ В НЕДРАХ ПЛАНЕТЫ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ

А.И. Глатоленков, И.Н. Литовченко

Институт сейсмологии, Алматы, Республика Казахстан

irgal05@rambler.ru



В ходе экспериментальных работ были обозначены зоны выхода эклиптики на земную поверхность планеты в виде линейных энергетических проводников, ориентированных в направлении полюса мира и с направленным вращательным моментом. Это послужило основой в нахождении связи этих проводников с глубинными точками, определяющими осевое сжатие системы планеты и ее вращение. Попутно исследовалось возможное отражение динамики этих связей в сейсмическом процессе.

Установлено, что ось вращения соприкасается с орбитальной осью на глубине 4140 км, обеспечивая этим вращение двух пар проводников. В каждой паре проводники разнонаправленные. Одна пара в виде параллельных линейных векторов размещена в восточном полушарии с раствором двугранного угла 4.7° вдоль меридианов $\sim 74^\circ \text{E}$ и 78.5°E в широтной полосе 40°N – 42°N (Центральный Тянь-Шань). Другая пара проводников с раствором двугранного угла $\sim 12.56^\circ$ размещена на экваторе в западном полушарии по меридианам 78.5°W и 91.06°W (29л) на широтах 0° – 1°S . Каждая пара представлена цепочкой вулканов, выстроенной в меридиональном направлении на территории Эквадора (78.5°W) и отдельно на острове Исабела (91.06°W). Относительно полярного сжатия планеты

вдоль меридиана 78.5° происходит асимметричное перераспределение сил сжатия проводников, расположенных в восточном полушарии, на проводники, размещенные в западном полушарии. Одна привязана радиус-вектором 4807 км от широты 41°N – 41.5°N к оси вращения, другая – от широты 0° – 1°S радиус-вектором 6378 км к центру сферы или к центру масс планеты 5888 км. В результате этого при вращении планеты образуются две центроостремительные силы.

Оба радиус-вектора создают в процессе вращения потенциал притяжения $F_{Ц41^\circ} = MV_1^2 / r_j = 0.0256M$ (при ~ 4140 км) и отталкивающую силу $F_{Ц1^\circ} = 0.0336M$ (при ~ 6378 км), где M – масса планеты, V_i – скорость вращения на широте, r_j – радиус-вектор. Таким образом, в процессе вращения планеты и ее орбитального перемещения за счет стационарных проводников на земной поверхности и глубинных точек притяжения и отталкивания сохраняется равновесие всей динамической системы планеты. Подтверждением этому служит отклик сейсмичности (магнитуда $M \geq 2.5$, за период 1973–2012 гг. по мировому каталогу NEIC) в виде расширяющегося конуса вдоль экваториальной оси от проводника с координатами $\varphi(0^\circ$ – $1^\circ \text{S})$ и $\sim 78.5^\circ \text{W}$ к центру планеты.

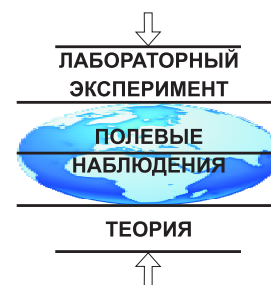
ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ БУДУЩЕГО ОЧАГА РАЗРУШЕНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ ОТ ЗАКОНА ГУТЕНБЕРГА-РИХТЕРА

Е.Е. Дамаскинская¹, А.Г. Кадомцев¹, И.Ю. Рассказов²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Институт горного дела РАН, Хабаровск, Россия

Kat.Dama@mail.ioffe.ru



Проведен анализ распределений по энергии сигналов акустической эмиссии (АЭ) на двух масштабных уровнях: при деформировании гранитных образцов и при измерениях, проводимых ИГД РАН г. Хабаровска на глубоких горизонтах месторождения «Антей».

Обнаружено, что на ранних стадиях нагружения (~0.5–0.6 времени жизни образца), когда дефекты образуются равномерно по образцу, распределение сигналов АЭ по энергии не удается удовлетворительно аппроксимировать ни степенной, ни экспоненциальной функцией. Пространственное «сканирование» позволило найти области образца, в которых энергетическое распределение сигналов АЭ аппроксимируется экспоненциальной функцией, и области, в которых распределение имеет степенной вид. На завершающем этапе нагружения наблюдается локализация дефектообразования и распределение по энергии АЭ-сигналов имеет степенной вид. Пространственное распределение координат гипоцентров этих АЭ-сигналов явно демонстрирует, что локализация дефектообразования происходит именно в той области образца, в которой еще на ранних этапах энергетическое распределение имело степенной вид.

Анализ функциональной формы энергетических распределений АЭ-сигналов, зарегистрированных на действующем предприятии, показал, что на начальных этапах разрушения распределение аппроксимируется экспоненциальной функцией. В этот период времени локализации дефектов не наблюдается. По мере накопления дефектов функциональный вид распределения изменился и стал степенным. При этом на пространственном распределении дефектов отчетливо видна локализация.

Таким образом, установлено, что при дисперсном разрушении распределение сигналов АЭ по энергии имеет экспоненциальный вид, в то время как в области локализации разрушения распределение становится степенным. Функциональный вид распределения на ранних этапах нагружения позволяет выделить пространственную область образца, в которой в дальнейшем произойдет локализация дефектообразования, приводящая к макроразрушению.

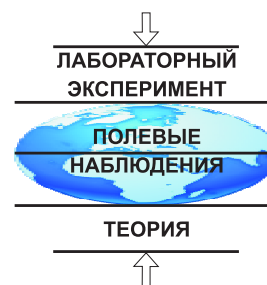
Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-05-00152-а).

О МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С ЗОНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕНИ

П.Г. Дядьков

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

DyadkovPG@ipgg.sbras.ru



При детальном изучении особенностей сейсмического режима и напряженного состояния областей подготовки сильных землетрясений в последние годы накопилось достаточно много фактов, указывающих на то, что район будущего очага находится в особых условиях, которые характеризуются относительной изолированностью процессов в ближней зоне подготовки от внешних региональных воздействий, невысоким уровнем выделения сейсмической энергии и ее стабильностью во времени, близостью расположения к границам сейсмических затиший [1], сменой типа напряженного состояния [2], высоким уровнем градиента напряжений и относительно невысоким уровнем касательных напряжений [3].

Рассматривая имеющиеся данные с точки зрения разработки соответствующей физической модели подготовки землетрясения в условиях взаимодействия жестких структурных тектонических элементов (плит, микроплит и блоков) как между собой, так и с орогенами, следует констатировать, что модель должна включать зону упрочнения среды (напряжения, консолидации блоковых структур) и зону разупрочнения, возникающую внутри или рядом с зоной упрочнения.

Важнейшей характеристикой такой модели подготовки является необходимость объединения и

взаимодействия (на определенном этапе эволюции) зоны упрочнения с жесткими структурами следующего, более высокого, иерархического уровня.

Именно такая модель может обеспечить энергетически выгодный процесс эволюции геодинамической системы. При этом инициализация процесса разрушения, зависящая от увеличения контрастности свойств среды, не требует значительных касательных напряжений вследствие наличия области разупрочнения, хотя именно на границе зон упрочнения и разупрочнения они могут иметь высокие значения.

Примером наличия подобного механизма *in situ* и прообразом предлагаемой модели на региональном уровне явились результаты работы С.В. Гольдина и О.А. Кучай [4], в которой анализировались пространственные особенности напряженного состояния литосферы Центральной Азии и было обращено внимание на постоянно существующие зоны деформационной тени, которые имеют место вблизи основных жестких структурных элементов литосферы.

Работа выполнена при поддержке проекта VIII.70.2.3 ФНИ, проекта 4.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, МИП СО РАН 73, 76, 90, 117.

Литература

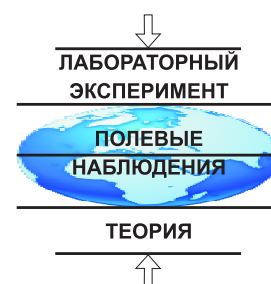
1. Дядьков П.Г., Кузнецова Ю.М. Аномалии сейсмического режима перед сильными землетрясениями Алтая // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, № 1. С. 19–25.
2. Гольдин С.В., Кучай О.А. Сейсмоструктурные деформации в окрестности сильных землетрясений Алтая // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11. С. 5–13.
3. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В. Поле тектонических напряжений до Сумарта-Андаманского землетрясения 26.12.2004. Модель метастабильного состояния горных пород // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 11. С. 1192–1206.
4. Гольдин С.В., Кучай О.А. Сейсмоструктурные деформации Алтае-Саянской сейсмоактивной области и элементы коллизионно-блочной геодинамики // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 7, С. 692–723.

ВАРИАЦИИ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ПЕРЕД РАЗРУШЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД

В.С. Жуков

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

V_Zhukov@vniigaz.gazprom.ru



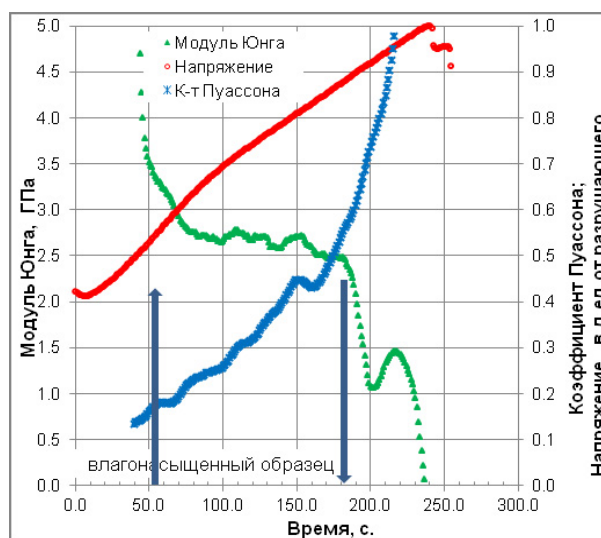
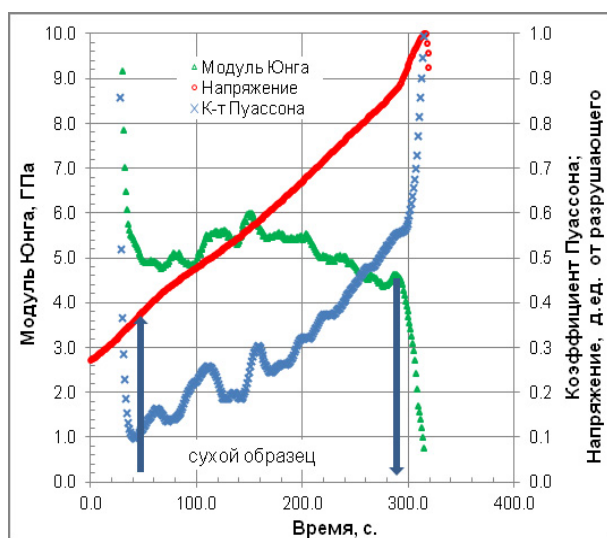
В работе приведены результаты физического моделирования процессов разрушения горных пород. Имеющиеся многочисленные результаты исследований по этому направлению слабо освещают изменения во времени упругих и деформационных параметров горных пород.

Рассмотрены результаты испытаний сухого и насыщенного влагой образцов мелкозернистого песчаника с пористостью 25–26 %, с ежесекундной регистрацией прикладываемого усилия одноосного сжатия, продольной и поперечной деформации, которые показали типичный характер подготовки разрушения. На стадии упругого деформирования были рассчитаны статические упругие модули для сухого и влажного образцов: модуль Юнга $E=5.37$ ГПа и 2.8 ГПа; коэффициент Пуассона $\nu=0.24$ и 0.25. Предел прочности сухого образца 30.8 МПа, влажного 20.6 МПа. Полученные экспериментальные данные позволили рассчитать как общие значе-

ния модуля Юнга и коэффициента Пуассона статическим способом, так и их текущие значения в процессе увеличения нагрузки на сухой образец (рисунок).

С начала роста нагрузки текущие величины модуля Юнга и коэффициента Пуассона имеют заниженные значения, возможно из-за разрушения мелких неоднородностей на торцах образца. После перехода в стадию упругого деформирования текущие значения упругих модулей испытывают относительную стабилизацию. После завершения упругой стадии деформирования отмечено значительное (в 2–3 раза) снижение текущих значений модуля Юнга и рост текущих значений коэффициента Пуассона с превышением величины $\frac{1}{2}$.

В результате исследований вариаций упругих параметров горных пород во времени выявлены прогностические аномалии, предвещающие разрушение горных пород.



Сопоставление изменений во времени модуля Юнга и коэффициента Пуассона образцов горной породы при росте одноосного сжатия вплоть до разрушения.

АЛГОРИТМ КОЗ В РАЙОНЕ С ПЕРЕХОДНЫМ РЕЖИМОМ СЕЙСМИЧНОСТИ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

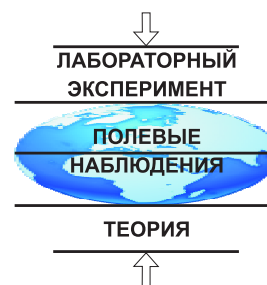
А.Д. Завьялов¹, В.Б. Смирнов^{1, 2}, А.В. Пономарев¹,
Р.К. Чада³, Д. Шринагеш³

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

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

³ Национальный геофизический исследовательский институт, Хайдарабад, Индия

zavyalov@ifz.ru



Впервые предпринята попытка использовать алгоритм среднесрочного прогноза землетрясений КОЗ для построения карт ожидаемых землетрясений в классическом районе с переходным режимом сейсмичности – районе водохранилищ Койна-Варна, Индия. Для выполнения этой работы был использован локальный каталог землетрясений этого района, покрывающий временной интервал с 1996 по 2012 г. (около 17 лет) и включающий 4500 землетрясений. В качестве представительной магнитуды была выбрана $M_c=2.1$.

В районе Койна-Варна был использован стандартный набор прогностических параметров сейсмического режима, который используется для построения КОЗ сейсмоактивных регионов с явно выраженной тектонической активностью: наклон графика повторяемости b , число землетрясений в виде относительных сейсмических затиший Nq и в виде активизации сейсмичности Na , выделившаяся сейсмическая энергия в виде энергетических затиший Eq и в виде энергетических активизаций Ea , плотность сейсмогенных разрывов $K_{ср}$.

За период 1996–2012 гг. в исследуемом районе произошло 26 землетрясений и их групп с магнитудами $M_L \geq 4.0$. Оказалось, что безусловная вероятность возникновения землетрясения с такой магнитудой в ячейке сетки $P(D_1)=0.1698$.

Эффективность большинства прогностических признаков J для выбранных уровней тревоги оказалась более трех, т.е. эти признаки можно рассматривать как «весьма полезные». Эффективность только одного признака Ea оказалась примерно в два раза

ниже и равной $J=1.58$, что соответствует классификации «полезный».

Для района Койна-Варна была рассчитана серия из 42 карт ожидаемых землетрясений с 2002.07.01 по 2012.10.01 с шагом три месяца с прогнозным периодом два года для каждой карты. Полученные впервые результаты применения алгоритма КОЗ в классическом районе с переходным режимом сейсмичности оказались обнадеживающими. Они показали его достаточно высокую прогнозную эффективность, оказавшуюся равной $J=2.76$. В зонах с уровнем условной вероятности $P(D_1|K) \geq 90\%$ произошло 56.3 % всех землетрясений с $M_L \geq 4.0$. При этом площадь тревог составила $20.4 \pm 8.4\%$ от общей площади наблюдений. Особенно эффективно алгоритм КОЗ проявил себя в прогнозе наиболее сильных землетрясений региона Койна-Варна, произошедших за период ретроспективного прогноза. Возможно, что в дальнейшем более тщательная настройка параметров алгоритма позволит увеличить интегральный показатель эффективности прогноза.

Полученная последняя карта ожидаемых землетрясений на период с 2012.10.01 по 2014.09.30 является объектом для проверки прогноза в реальном масштабе времени.

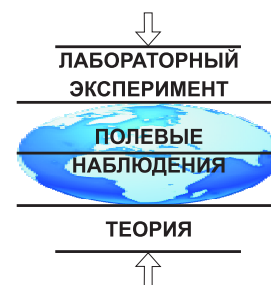
Работа поддержана проектом «Переходные геофизические процессы в областях природных и техногенных воздействий: полевые наблюдения и физическое моделирование» в рамках Комплексной долгосрочной программы (КДП) сотрудничества в области науки, техники и инноваций между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Индия.

ИЗУЧЕНИЕ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕННЫХ ФОРМ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАСТРОФАХ

В.С. Имаев, О.П. Смекалин, А.В. Чипизубов, Л.П. Имаева

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

imaev@crust.irk.ru



Изучение поверхностных и малоглубинных (до первых десятков метров) деформаций, возникших при сильных палеоземлетрясениях (с возрастом землетрясения до 3–5 тысяч лет), проводимое в стенах института уже более 50 лет и вылившееся в создание В.П. Солоненко и его коллегами палеосейсмогеологического метода, позволило получить объемный материал по особенностям образования разнообразных типов деформаций и их парагенезисов в плейстосейстовых областях сейсмических катастроф Байкало-Монгольского региона.

В качестве примеров приведены приповерхностные формы деформаций, расположенных в условиях растяжения (ПСД Неручанда) и близгоризонтального сжатия (ПСД Хустай и Гунжин). В первом случае в разрезах канав наиболее выразительно представлены трещины раскрытия – крэки. Их развитие обусловлено сбросовыми подвижками по плоскости смещения, угол падения которой с глубиной резко уменьшается. Другие трещины со смещением имеют второстепенный характер и связаны с изменением геометрии пространства, занимаемого массой рыхлых отложений. Основным агентом воздействия на породы является сила тяжести. Прямолинейность трещин, сохранность границ крыльев разрыва со стороны сместителя, а в некоторых случаях трещины, зияющие или заполненные мелкофракционными инъекциями, однозначно свидетельствуют о практически мгновенном (сейсмическом) смещении по разрывам, ведь речь идет о рыхлых нелитифицированных осадках. Данный эффект мог быть значительно усилен, если бы событие происходило в период промерзания грунта.

Принципиально другой тип деформаций мы видим в палеосейсмогенных структурах Монголии, сформированных при активном влиянии тектонических процессов, характерных для областей горизонтального сжатия. Здесь преобладают подвижки взбросовой и сдвиговой кинематики. Кроме характерных трещин со смещениями, трещин раскрытия, в условиях сжатия при сейсмических подвижках формируются складчатые деформации. Складки сейсмического генезиса охватывают не только рыхлые поверхностные слои, но и подстилающее их

коренное ложе, хотя для последних преобладающими являются процессы мелкоблоковой деструкции.

Ширина полосы складчатых (изгибовых) деформаций, протягивающаяся вдоль зоны разлома, не превышает первые десятки метров для дислокаций сдвиговой кинематики и первые сотни метров для надвигов. В сдвиговых дислокациях малоамплитудные валы сжатия находятся в парагенезисе с трещинами растяжения. Ширина раскрытия трещин достигает одного метра. Борты трещин вертикальные или крутонаклонные, образующие клиновидной формы расщелину, заполненную тонкодисперсными осадками (суглинки, супеси). Амплитуды антиклинальных валов достигают величины одного – полутора метров. Как правило, по периметру валы сжатия ограничены оперяющими разрывами, расположенными под углом к осевой линии дислокаций. Трещинами растяжения деформированы валы сжатия.

Совершенно иной природой обладают изгибовые деформации в случае надвиговых смещений. Значительная ширина деформаций вызвана наличием серии параллельных сместителей единой вергентности (фрагмент структуры «palm-tree»). Между сместителями формируются брахисинклинали шириной до 100 м и более с падением крыльев в первые градусы. В местах выхода сместителей на поверхность структура осложнена формирующимися крутыми складками со значительным наклоном осевой плоскости. Типичными здесь также являются пологонаклонные трещины со смещениями, достигающими разовых амплитуд в несколько метров, с закономерным сдваиванием разреза рыхлых отложений.

Проведенные исследования зон палеоземлетрясений в БРЗ и Монголии позволяют рассматривать их как упрощенные аналоги процессов тектонического разрушения горных пород. Они могут эффективно использоваться как некая модельная среда для изучения общих закономерностей процессов деструкции среды.

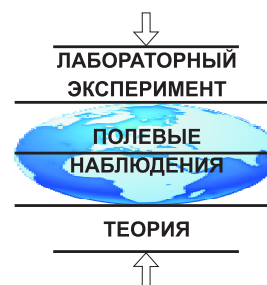
Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-05-00767-а и Междисциплинарного интегративного проекта СО РАН № 111.

ПОЛЕ ДАВЛЕНИЙ В ЖИДКОСТИ, СОЗДАННОЕ ИСТОЧНИКОМ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД

И.В. Калинюк

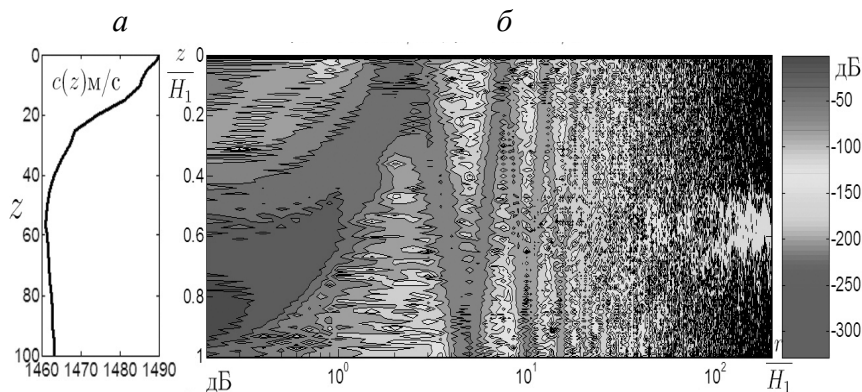
Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

kalinyuki2010@gmail.com



Процесс подготовки землетрясений сопровождается геоакустической эмиссией (ГЭ) [1]. Поиск высокочастотных источников ГЭ, расположенных под шельфовой частью морей и океанов, связан с необходимостью учитывать гидрологические параметры морской среды и дна. Изменения относительно фоновых параметров могут быть связаны с сезонной изменчивостью или выпадением атмосферных осадков. В результате вариаций параметров морской среды изменяется профиль скорости звука, который влияет на распространение звуковых волн. На рисунке показан фоновый профиль скорости звука Черного моря (а) и разрез звукового поля давлений (б). Используются следующие параметры модели горизонтально-слоистой среды с дном в виде однородного упругого полупространства: $H_1=100$ м; $d=12$ м; $f=1000$ Гц; $c_p=2757$ м/с; $\delta_p=0.0021$; $c_s=1591$ м/с; $\delta_s=0.0073$; $\rho_1=1030$ кг/м³; $\rho=2000$ кг/м³. При расчете акустических полей ис-

пользовались формулы, основанные на численно-аналитических методах [2, 3]. При расположении источника вблизи границы жидкости и упругого полупространства нормальные волны, участвующие в формировании акустического поля, имеют амплитуды одного порядка, из-за чего возникает сложная интерференционная картина. С увеличением глубины источника амплитуды отдельных мод преобладают над другими и определяют акустическое поле вблизи эпицентра. На рисунке показано, что моды высших номеров имеют преобладающие амплитуды, поэтому в начале трассы ярко выражена лучевая картина. С увеличением расстояния моды высших номеров затухают. В конечном итоге акустическое поле формируется первыми модами с малыми модальными коэффициентами затухания. Чем выше частота источника, тем сильнее изменяются профили скорости мод и тем больше нормальных волн захватывается подводным звуковым каналом.



Разрез звукового поля давлений: а – фоновый профиль скорости звука Черного моря; б – разрез звукового поля давлений.

Литература

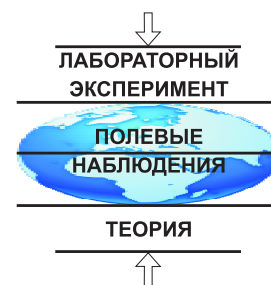
1. Ларионов И.А., Щербина А.О., Мищенко М.А. Отклик геоакустической эмиссии на процесс подготовки землетрясений в разных пунктах наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2005. Т. 2, № 6. С. 108–115.
2. Калинюк И.В. Распространение акустических волн, индуцированных морскими землетрясениями // Динамические системы. 2011. Т. 1(29), № 2. С. 243–253.
3. Porter M., Reiss E. A numerical method for bottom interacting ocean acoustic normal modes // J. Acoust. Soc. Am. 1985. V. 77, № 5. P. 1760–1767.

ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

А.Н. Камшилин, Е.Н. Волкова, П.А. Казначеев

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

kamshilin@ifz.ru



Пусть с помощью системы излучающих электродов и источника переменного тока в среде создано электрическое поле E_1 . Возникновение области подготовки катастрофического события (землетрясения, оползня, провала) означает пространственно-временное изменение характера неоднородности среды. В этом случае произойдет векторное изменение первоначального поля E_1 на величину ΔE . Разностное поле ΔE можно представить как поле некоторого источника, обусловленного изменением характера неоднородности среды, а источник определен как мультипликативная функция от неоднородности и источника энергии, подводимой к объекту, и связан с ним пространственно и количественно. Следовательно, необходимо обеспечить максимальную чувствительность к разностному полю ΔE и минимальную чувствительность к первоначальному полю E_1 , которое в данном случае рассматривается как помеха. Кроме этого, необходимо обеспечить низкую чувствительность к различным помехообразующим факторам, изменяющим E_1 скалярно, – температуре, влажности и пр. Векторное изменение исходного поля E_1 означает, что изменились формы эквипотенциальных линий поля E_1 и изменилось пространственное распределение токов, возбуждаемых в среде источником энергии. Следовательно, можно предложить два способа геоэлектрического мониторинга – контроль изменения

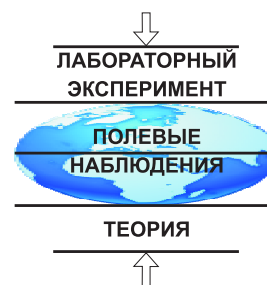
формы эквипотенциальных линий («эквипотенциальный» способ) и контроль изменения пространственного распределения токов, или миграции линий тока («токовый» способ). Эквипотенциальный способ измерения позволил не менее чем на три порядка уменьшить синфазную электрическую помеху. Влияние изменения проводимости приповерхностного слоя вследствие изменения температуры снизилось на два порядка и более. Непосредственное влияние осадков вообще не отмечалось. «Нормальный» временной ряд представляет собой квазипериодические колебания, основные периоды ~24, 12, 8 часов; землетрясения, подвижки оползневых склонов сопровождались разрушением «нормального» суточного хода за несколько часов до сильных землетрясений и активизации оползня, через несколько часов после события колебания восстанавливались. Этим способом удалось обнаружить момент образования закрытой суффозионной полости, не выходящей на поверхность (физическое моделирование). «Токовый» способ находится в процессе разработки. Исследован локальный измеритель тока, создан рабочий макет измерительной установки, проведены пробные полевые эксперименты с искусственной неоднородностью. Результаты «эквипотенциального» и «токового» способов показали хорошую сопоставимость, значит, общая идея справедлива.

ПОИСК ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

А.Н. Камшилин, Р.М. Насимов, Е.Н. Волкова

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

kamshilin@ifz.ru



В основе предлагаемого направления поиска предвестников землетрясений лежит следующее утверждение: результаты взаимодействия и взаимного преобразования геофизических полей различной природы (в данном случае сейсмоакустических и электромагнитных) различаются по совокупности параметров откликов при изменении напряженно-деформированного состояния среды. Если это так, то получаем тонкий инструмент контроля состояния среды, основанный на регистрации пространственно-временных изменений параметров передаточных функций, где возмущение и отклик – поля различной природы. Измеряемые отклики – амплитуда, фаза, параметры резонанса, скорость становления отклика (в том числе процесса формирования сигналов комбинационных частот). Предлагаемый метод позволяет изменять параметры воздействия и геометрию системы излучатель – объект – измерительные датчики таким образом, чтобы обеспечить максимальную чувствительность к исследуемому параметру объекта (напряженно-деформированному состоянию, например) и максимально подавить влияние помех различного вида (метеопомех, электрических и пр.).

В процессе полевых и лабораторных экспериментов были выявлены вышеуказанные результаты

взаимодействия полей. Отмечается подобие амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) электрического отклика на сейсмоакустическое воздействие, полученное в полевых и лабораторных условиях (резонансный характер). Обнаружена сильная зависимость различных параметров АЧХ электрического отклика на акустическое воздействие и передаточной функции $H = E / S$ при слабом увлажнении образцов песчаника флюидами различного состава (здесь E и S электрическая и акустическая энергия соответственно). В качестве предвестников могут также рассматриваться параметры автоколебаний, основанных на механоэлектрических и электромеханических преобразованиях в горных породах. В этом режиме чувствительность к изменениям свойств образцов возрастает многократно, поскольку эквивалентная добротность объекта увеличивается на порядки.

Выводы: разрешающая способность тестирования среды с использованием геофизических полей различной природы, особенно с учетом резонансного характера откликов, скорее всего, выше, чем у традиционных способов (аналогичное мнение обнаруживаем, например, в [1]).

Литература

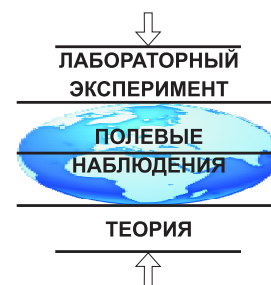
1. Черняк Г.Я. Электромагнитные методы в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недрра, 1987. 213 с.

К ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ СРЕД

Ф.Х. Каримов

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии
АН Республики Таджикистан, Душанбе, Республика Таджикистан

farshed_karimov@rambler.ru



В масштабах литосферы Земли возникновение тектонических платформ, плит и блоков связывается с явлениями дробления геосреды [1, 2]. Результат растрескивания глинистых почв в аридных зонах – такыры [3]. В настоящей работе дается интерпретация явления растрескивания и дробления твердых двухслойных сред на основе модели плоского упругого растяжения образцов. Нижний слой растягивается продольными силами, действующими в его плоскости однородно и квазистатически. Верхний слой длиной $2L$ прижимается к нижнему силой нормального давления N , и при растяжении нижнего верхний также растягивается за счет сил сухого трения между этими слоями (рисунок). Коэффициент трения – k , объем образца – V . Средняя точка верхнего слоя образца представляет собой нулевую точку 0 , которая определяется как неподвижная при деформировании этого слоя (например [3]). Растягивающие силы F действуют в противоположные стороны от точки 0 по оси Ox . Из условия равнове-

сия в поперечном сечении верхнего слоя с координатой x можно получить выражение для напряжения в виде $y = \frac{k \cdot N}{V} \cdot (L - 2x)$, откуда следует, что наибольшие напряжения растяжения должны быть сосредоточены в «нулевой» точке. Именно здесь, в середине верхнего слоя, возникают первые разрывы [2]. Полученное выражение показывает также, что средняя часть верхнего слоя с линейным размером L находится в состоянии растяжения, краевые части – сжатия, что качественно согласуется с экспериментальными наблюдениями [1]. Наибольшее сжатие – в торце верхнего слоя. Такое распределение напряжений характерно для сдвиговых деформаций в очагах землетрясений или в оползневых телах. Внешние вибрации нижнего слоя достаточно большой амплитуды и частоты могут влиять на растрескивание и дробление верхнего слоя.

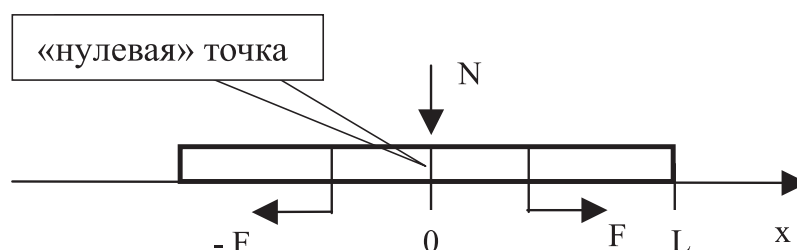


Схема двухслойной среды.

Литература

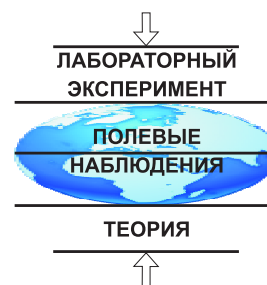
1. Садовский М.А., Денциков В.А., Кондратьев В.Н., Ромашов А.Н., Чубаров В.М. О моделях верхних слоев земной коры // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 9. С. 3–9.
2. Кулюкин А.М., Пономарёв В.С., Ромашов А.Н. Некоторые закономерности разрушения в двухслойной модели // Прогноз землетрясений. 1984. № 4. С. 200–210.
3. Каримов Ф.Х. Сейсмогенные оползни на территории Таджикистана: от оценки опасности до снижения риска. Душанбе: «Контраст». 68 с.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА И АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

И.А. Козлова, А.К. Юрков

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

akyurkov@mail.ru



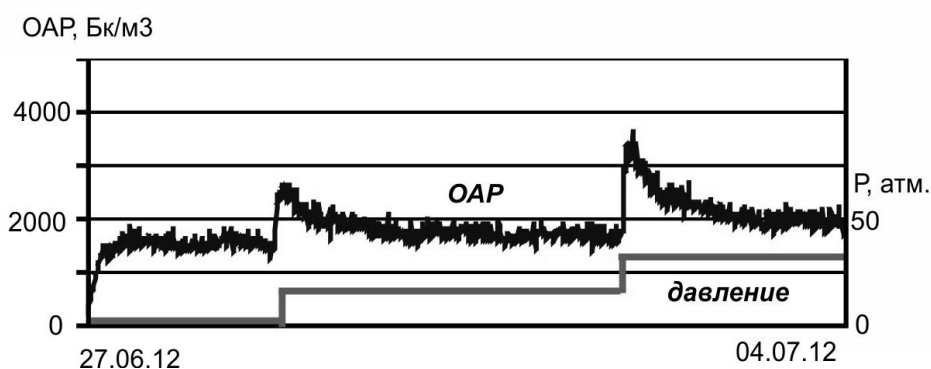
Целью работы является изучение выделения радона при одноосном сжатии образцов горных пород. Решались задачи определения условий нахождения радона в горных породах и оценки количественных соотношений между различными формами его нахождения.

Исследования проводились с образцами горных пород с различным содержанием естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) на лабораторной установке, позволяющей реализовать циркуляционную схему измерений. В ее состав входили: гидравлический пресс Prasa Hydrauliczna, радиометр радона AlphaGuard PQ200 PRO, насос, камеры для образца. Конструкция камеры позволяла изменять ее объем при сохранении герметичности. Процесс трещинообразования в образце при изменении давления контролировался двумя акустическими датчиками. Регистрация акустического спектра осуществлялась двухканальным спектрометром. Все измерения проводились с равновесными по радону образцами (накопление радона 25 суток).

Измерения объемной активности радона (ОАР) проводились в непрерывном режиме с 10-минутным интервалом осреднения. На рисунке приведен пример изменения ОАР для одного образца с высоким содержанием ЕРЭ при двухступенчатом повышении давления. Одновременно регистрировалась сейсмоакустическая эмиссия в образце.

Каждая ступень прилагаемого давления отмечалась лавинообразным повышением величины акустической эмиссии и сопровождалась увеличением уровня ОАР. Последующее уменьшение величины ОАР происходит с большим градиентом и не объясняется радиоактивным распадом. В качестве возможной причины такого поведения может выступать сорбция радона на открытых поверхностях образца горных пород и (или) на соединительных шлангах.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-5-1018.



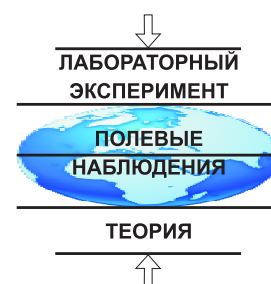
Изменение объемной активности радона для образца с высоким содержанием ЕРЭ при двухступенчатом повышении давления.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АФТЕРШОКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОТРАЖЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕОСРЕДЫ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ЯПОНОМОРСКО-САХАЛИНСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЫ)

А.В. Коновалов, Е.П. Семенова

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

konovalov@imgg.ru



Величина характеристического времени в эмпирическом законе Омори-Уцу [1, 5–7 и др.], после которого начинается спад афтершоковой активности, по всей видимости, играет решающую роль в изучении характера возбуждения процесса разрушения и его релаксации, отражающего напряженное состояние и реологические свойства геологической среды с повреждениями. Это подтверждается данными лабораторных экспериментов, натурных наблюдений и численного моделирования [1–4].

В настоящей работе будут проанализированы

эмпирические закономерности затухания афтершоковой активности на примере сильных землетрясений в Япономорско-Сахалинской сейсмогенной зоне и на сопредельной территории. Это позволит оценить степень сейсмического сцепления и уровень действующих напряжений в сейсмогенных зонах. Наблюдаемые закономерности будут сопоставлены с аналогичными результатами, полученными в других регионах Земли. Будет дана физическая интерпретация данных явлений.

Литература

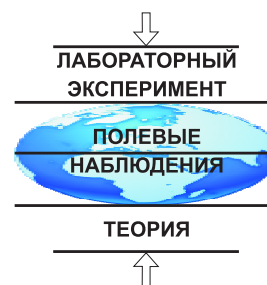
1. Смирнов В.Б., Пономарев А.В., Бернар П. и др. Закономерности переходных режимов сейсмического процесса по данным лабораторного и натурального моделирования // Физика Земли. 2010. № 2. С. 17–49.
2. Ben-Zion Y. Collective behavior of earthquakes and faults: continuum-discrete transitions, progressive evolutionary changes, and different dynamic regimes // Rev. Geophys. 2008. V. 46. RG4006. doi: 10.1029/2008RG000260.
3. Ben-Zion Y., Lyakhovsky V. Analysis of aftershocks in a lithospheric model with seismogenic zone governed by damage rheology // Geophys. J. Int. 2006. V. 165. P. 197–210. doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.02878.x.
4. Hamiel Y., Liu Y., Lyakhovsky V., Ben-Zion Y., Lockner D. A visco-elastic damage model with applications to stable and unstable fracturing // Geophys. J. Int. 2004. V. 159. P. 1155–1165. doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02452.x.
5. Nanjo K.Z., Enescu B., Shcherbakov R., Turcotte D.L., Iwata T., Ogata Y. Decay of aftershock activity for Japanese earthquake // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. B08309. doi: 10.1029/2006JB004754.
6. Shcherbakov R., Turcotte D.L., Rundle J.B. Scaling properties of the Parkfield aftershock sequence // Bull. Seis. Soc. Am. 2007. V. 96, № 4B. P. S376–S384. doi: 10.1785/0120050815.
7. Utsu T. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958 // Bull. Seis. Soc. Am. 1962. V. 52, № 2. P. 279–297.

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕДВЕСТНИК СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ В ИЗМЕНЕНИЯХ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ Е-1

Г.Н. Копылова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия

gala@emsd.ru



В настоящем докладе под гидрогеодинамическим предвестником землетрясений понимается закономерное, т.е. неоднократно повторяющееся понижение уровня воды с повышенной скоростью в скважине Е-1, проявляющееся в течение времени не менее пяти суток перед землетрясениями с $M \geq 5.0$ на расстояниях R до 350 км. Ретроспективное и в режиме реального времени выделение предвестника производится в соответствии с единообразным алгоритмом обработки данных уровневых наблюдений, включающим компенсацию баровариаций и количественный учет линейного тренда в изменениях уровня воды. Для выделения предвестника производится построение временного ряда суточной скорости изменения уровня воды и задается «пороговое» значение скорости. При превышении скорости понижения уровня «порогового» значения в течение пяти суток производится выделение предвестника и объявляется начало «времени тревоги», т.е. время ожидания землетрясения. Окончание «времени тревоги» определяется моментом землетрясения, соответствующим по параметрам ожидаемому событию. Если проявление предвестника заканчивается, а землетрясение не произошло, то «время тревоги» продлевается до 35 суток после окончания проявления предвестника. Если в течение этого времени происходит ожидаемое землетрясение, то оно сопоставляется с предшествующим проявлением предвестника.

Характеристиками информативности предвест-

ника для прогнозирования землетрясений являются: 1) вероятность его связи с последующими землетрясениями с величинами магнитуд $M \geq M_{\text{мин}} \geq 5.0$: $P = m/n$, где m – число землетрясений с $M \geq M_{\text{мин}}$, перед которыми предвестник проявлялся, n – общее число таких произошедших землетрясений; 2) сейсмопрогностическая эффективность $I = P/(\tau/t)$, где τ/t – отношение суммарного «времени тревоги» к общему времени наблюдений.

По данным наблюдений 1996–2012 гг. обнаружено, что в 81 % случаев проявления предвестника в течение его развития или через интервал времени порядка одного месяца после его окончания происходили землетрясения с $M \geq 5.0$ на расстоянии до 360 км от скважины; в 19 % случаев ожидаемое землетрясение не происходило («ложная тревога»). На примере 26 проявлений предвестника обнаружен рост величин вероятности его связи с последующими землетрясениями от $P=0.45$ до $P=0.73$ и его ретроспективной сейсмопрогностической эффективности от $I=1.4$ до $I=2.2$ при увеличении минимальной магнитуды последующего землетрясения в трех диапазонах магнитуд: 5.0–6.9, 5.5–6.9, 5.9–6.9.

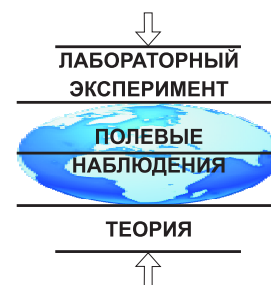
Приводится пример успешного прогноза землетрясения 28 февраля 2013 г. ($M=6.9$, $R=280$ км, интенсивность сотрясений в районе скважины 4–5 баллов) в режиме реального времени, зафиксированного в Камчатском филиале Российского экспертного совета.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТРЕЩИНЫ НА РЕЖИМ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ, ЗАПАСЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Г.Г. Кочарян, А.А. Будков, В.К. Марков, А.А. Остапчук

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

gevorgkidg@mail.ru



Влияние микроструктурных и макромеханических свойств заполнителя трещины на формирование различных режимов деформирования изучалось в лабораторных и численных экспериментах. Установлено, что спектр деформационных событий, которые могут произойти на нарушении сплошности, определяется не столько прочностными макрохарактеристиками материала, сколько его структурой на мезоуровне. Незначительное изменение структурных параметров может приводить к радикальной смене реакции на увеличение внешней квазистатической или динамической нагрузки. В лабораторном эксперименте мезоструктурами, определяющими режим деформирования, вероятно, являются нагруженные цепочки из зерен материала-заполнителя. Эволюция силовых цепочек, которые образуются и разрушаются в процессе сдвига по трещине, их протяженность и количество полностью определяют тип деформирования – стабильное скольжение, stick-slip, промежуточные режимы, для которых характерны дискретные подвижки с малой скоростью относительного перемещения берегов. В природе роль таких несущих элементов могут выполнять, например, «контактные пятна», определяющие закономерности концентрации напряжений в окрестности поверхности раздела. Их характерные

размеры образуют иерархический ряд подобно размерам блоков земной коры и межблоковых зон. Вариация кулоновской прочности определяет главным образом амплитуду скачка напряжений при динамическом срыве или акте проскальзывания с малой скоростью смещения и слабо влияет на изменение режима деформирования.

Эффект низкоамплитудного динамического воздействия на напряженный межблоковый контакт в значительной степени определяется фоновым режимом деформирования последнего. Наиболее эффективным воздействием вибраций оказывается для перевода низкоамплитудных подвижек в режим стабильного скольжения. В случае квазистабильного скольжения с небольшим количеством низкоамплитудных подвижек, кумулятивный сейсмический момент, реализованный через динамические подвижки, уменьшается многократно. При развитом stick-slip внешнее воздействие способно снизить амплитуды отдельных динамических событий, хотя кумулятивная величина излученной энергии остается неизменной. В условиях переходных режимов скольжения внешнее воздействие может даже увеличить амплитуду динамических срывов.

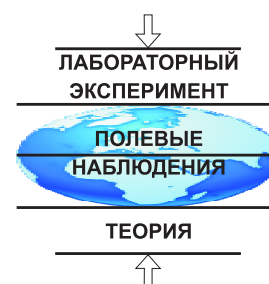
Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-05-00780) и программы ОНЗ РАН № 6.

МЕХАНИЗМЫ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ МРАМОРА ПРИ КВАЗИУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В.С. Куксенко, Х.Ф. Махмудов, А.Г. Кадомцев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

h.machmoudov@mail.ioffe.ru



Исследованы процесс поляризации мрамора при квазиупругой деформации и эффект их деполяризации при различных температурах. Обсуждаются механизмы деполяризации природного полупроводника после снятия нагрузки. Образец размером 50×50×100 мм нагружали одноосным сжимающим напряжением через жесткие керамические изоляторы.

Измерения индуцированного электрического потенциала на образце проводили бесконтактным способом при помощи высокочувствительного специально сконструированного электрометра [1]. После снятия нагрузки фиксировали потенциал противоположного знака, который также релаксировал (рис. 1). Исследовали поляризацию мрамора при температурах из интервала 20–200 °С. В таблице приведена длительность релаксации заряда на мраморе.

Согласно полученным результатам при увеличении температуры происходит заметное уменьшение продолжительности релаксации (рис. 2). Из зависимости среднего времени релаксации от kT , приведенной на рис. 3, следует, что релаксация может быть описана термоактивационным уравнением аррениусовского типа, что качественно согласуется с формулой: $\tau = \tau_0 \exp(-E/kT)$. Энергия активации, вычисленная из наклона зависимости, оказалась равной $E \approx 0.08$ эВ. Вероятно, релаксация заряда происходит в результате миграции молекул воды в объеме образца по термофлуктуационному механизму. При этом в основе эффекта релаксации заряда (энергия активации $E \approx 0.08$ эВ) [2], по-видимому, лежит процесс образования водородных связей: -О-Н...О-С-.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00320-а).

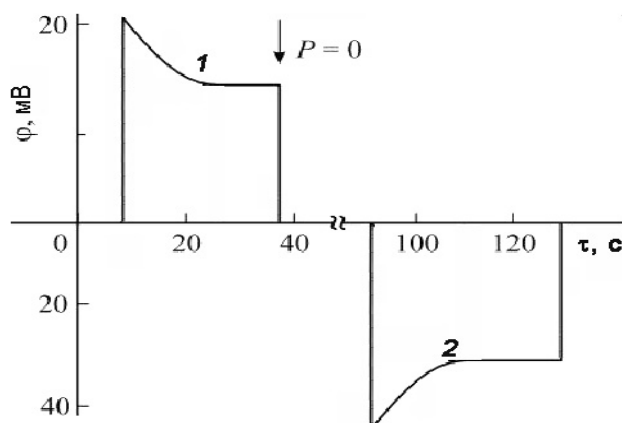


Рис. 1. Временные зависимости потенциала при упругом нагружении образца из мрамора и после его разгрузки.

Время релаксации заряда, индуцированного при механическом нагружении образцов из мрамора в разных температурах

Температура, °С	Эксперимент	Расчет
20	19.5	33.1
60	14.6	16.8
100	12.2	15.8
140	9.7	11.9
180	7.8	11.0
200	7.4	9.9

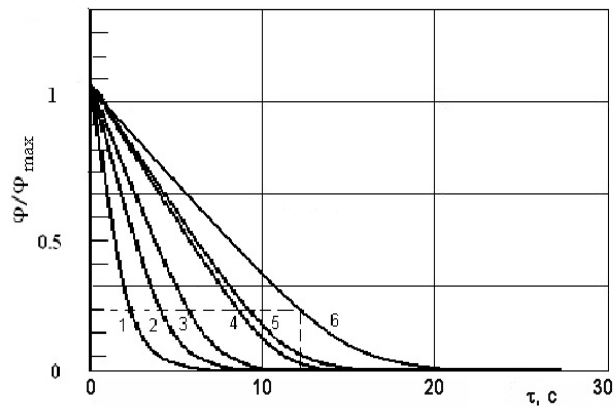


Рис. 2. График сравнения релаксационной зависимости в нормированных координатах при температурах: 1 – 200 °С, 2 – 180 °С, 3 – 160 °С, 4 – 100 °С, 5 – 60 °С, 6 – 20 °С.

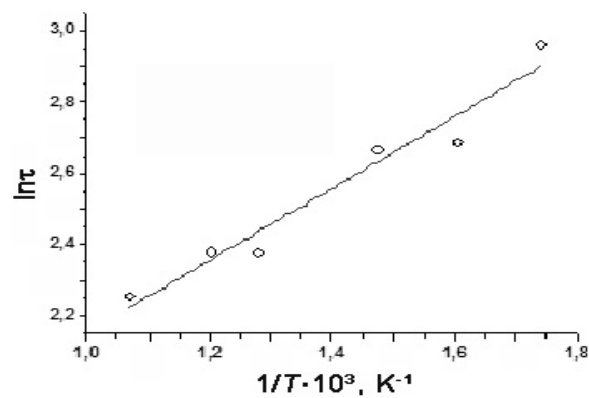


Рис. 3. Зависимость среднего времени релаксации от kT .

Литература

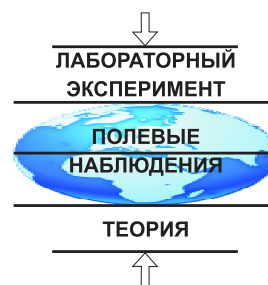
1. Махмудов Х.Ф. Термоактивационный механизм релаксации механоэлектрических эффектов в твердых диэлектриках // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 1. С. 76–81.
2. Махмудов Х.Ф. Поляризация мрамора в поле упругих сил при различных температурах // Деформация и разрушение материалов. 2012. № 8. С. 41–45.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ НА ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД

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

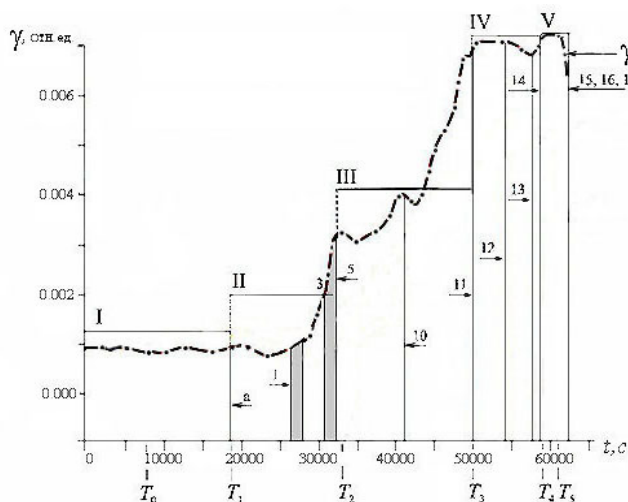
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

bubnova@ifz.ru



Целью работы является изучение динамики развития магистральной трещины при длительном нагружении образцов горных пород. В качестве нагружающего устройства использовалась невзрывная разрушающая смесь (НРС). Разработанная ранее методика позволяла создавать условия, близкие к натурным. В экспериментах для регистрации акустических сигналов (АС) применялся комплекс Aline-32. Для анализа результатов экспериментов использовалась новая методика обработки данных акустики и устанавливалась связь с деформационными изменениями на гранях образца. Приводится анализ тензометрических наблюдений, полученных на приборе Т-2В в эксперименте на образцах доломита и мрамора. Тензометрические наблюдения показали, что в верхней части образца наблюдается состояние растяжения. Тензометрическая кривая сдвига показала многоступенчатость деформационного процесса. Можно выделить пять стадий процесса деформирования на основании поведения кривой сдвига (γ). На первом этапе материал образца уплотнялся и отмечались только слабые вариации γ . На втором этапе происходил рост градиента, причем наиболее значительный – вблизи будущего разрыва. Третий этап характеризуется участком прекращения и началом нового роста деформаций, т.е. идет перестройка структуры в зоне. Для четвер-

того этапа характерно прекращение роста деформаций (выполживание кривой): формируется пластическое состояние вещества горной породы в зоне подготовки магистральной трещины. На пятом этапе происходит понижение и падение γ , возникает магистральная трещина. Этот момент характеризуется сигналом максимальной амплитуды по акустическим данным. Рассмотрена миграция источников акустических сигналов максимальной амплитуды, их распределение в зоне подготовки магистральной трещины. Определение координат источников произведено по разработанному алгоритму. Они группировались в двух областях зоны, где впоследствии возникла магистральная трещина. Приведена методика расчета координат источников акустических сигналов. Появление стабильности значений разности прихода волн АС (первых вступлений) говорит о близости момента возникновения магистральной трещины. Показано, что отсутствует единый центр разрушения, а формируется зона подготовки будущей магистральной трещины. Совместный анализ миграции сильных акустических сигналов с определением координат источников на фоне деформационных изменений позволяет более детально представить кинетику развития магистральной трещины при длительном нагружении образцов горной породы.



I - V - этапы деформирования Тензометрическая кривая сдвига γ — — —
1, 2, 3 — номера источников АС в порядке их возникновения

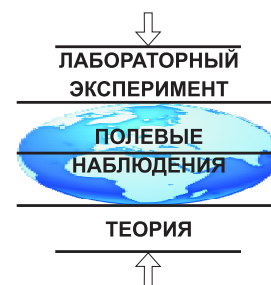
Этапы деформационных изменений.

ЭНТРОПИЙНЫЕ И МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПОЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ

А.А. Любушин

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

lyubushin@yandex.ru



Представлены результаты сравнительного анализа свойств волновых форм низкочастотного сейсмического шума (периоды свыше 2 минут) для наблюдений по следующим широкополосным сетям:

1. Объединение региональных сейсмических сетей в Калифорнии: 2008–2012, 142 станции.

2. Сеть F-net, Япония, 1997–2013, 78 станций.

3. Объединение глобальных сетей GSN (Global Seismic Network), G (GEOSCOPE), GE (GEOFON), 1997–2012, 229 станций.

Рассматриваются следующие статистики волновых форм сейсмического шума:

а) ширина носителя мультифрактального спектра сингулярности;

б) обобщенная экспонента Херста;

в) минимальная нормализованная энтропия распределения квадратов ортогональных вейвлет-коэффициентов;

г) эксцесс (мера отклонения распределения от гауссовского).

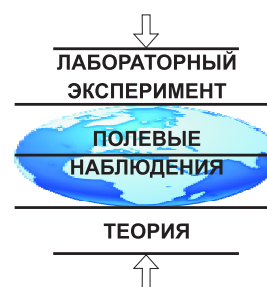
Исследуются прогностические свойства карт распределения этих параметров волновых форм шума по пространству и карт линейных корреляций между ними. Обсуждаются возможные физические механизмы, лежащие в основе прогностических свойств параметров низкочастотного сейсмического шума. Рассматривается гипотеза о приближении следующего мегаземлетрясения в Японии в районе желоба Нанкай. Выделены временные интервалы увеличения глобальных корреляций между параметрами шума.

ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

З.-Ю.Я. Майбук

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

rim@ifz.ru



При возбуждении упругими волнами звукового диапазона частот (0.1–20.0 кГц) полиметаллических руд либо при изменении в них напряженно-деформированного состояния возникает электромагнитное импульсное излучение (ЭМИ) в радиоволновом диапазоне частот (0.04–6.00 МГц) (Соболев Г.А., Демин В.М., Майбук З.-Ю.Я. ИФЗ РАН). Напряженность поля ЭМИ в источнике достигает $E \approx 10^5 - 10^6$ В/см². Радиоволновое излучение в меньшей степени зависит от минерального состава руденений и связано со сложным электрическим состоянием отдельных зон в объеме рудосодержащей породы, находящейся в условиях природного залегания, электрохимических реакций и градиента механических напряжений. Предполагается, что изучение вариаций естественных электрических полей (ЕП) в рудных телах позволит уточнить физические основы данного нелинейного преобразования.

Исследования проводились на полигоне – обнажении вкрапленной галенит-сфалеритовой руды, залегающей в скарированных известняках. На площади 1.3 м² на контактах вмещающей породы и руды пробурили более 200 шпуров (l = 15, ø = 5 мм) на расстоянии 2.5 см друг от друга, заполнили их фетровыми тампонами с раствором CaCl₂ и при помощи систем неполяризуемых электродов типа «Раделкис» и платиновых «ЭПВ-1» выделили аномальные области (величина потенциала от +25–28 мВ до –19–22 мВ, т.е. порядка 40–50 мВ на базе 2.5 см).

При отбойке на расстоянии 2.2 км значительной массы породы (≈ 3000) непрерывная регистрация

сигналов ЕП и эмиссия ЭМИ в двух аномальных областях «+» и «–» осуществлялась в течение 90 мин до отбойки и 24 ч после. Частотный диапазон аппаратуры сигналов ЕП до 150 Гц, а ЭМИ до 2.8 МГц. Кроме регистрации формы отдельных сигналов информация представлялась в виде индекса активности и максимальной амплитуды сигналов за время, равное одной минуте.

Результаты работ показали, что сигналы ЕП и ЭМИ резко изменились через 207 с (время прихода волны напряжения до полигона). Сигналы наблюдались без сопровождения упругими волнами. Сигналы ЕП в первой области («+») резко уменьшились до 3–5 мВ, а во второй («–») увеличились до 58–64 мВ. Возможно, это реакция руденений на крайне медленное изменение – восстановление квазипостоянного механического напряженного состояния вмещающего массива горных пород. Повторные измерения ЕП показали практически исходные величины сигналов только через 5 сут. Массовые сигналы ЭМИ (более 50 шт/с) регистрировались в течение 40–50 мин, а отдельные до 2 суток.

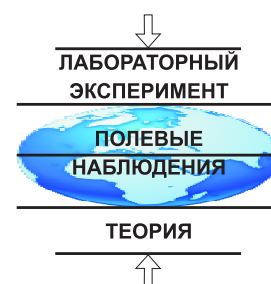
Наблюдаемая функциональная связь сигналов в природных геологических рудосодержащих объектах свидетельствует о сложности процессов, происходящих при квазистатических воздействиях, и предполагает, что должно наблюдаться изменение других параметров геофизического поля и возможно присутствие нескольких механизмов, связанных во времени и пространстве.

ВЫЗВАННАЯ ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РУДОНОСНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

З.-Ю.Я. Майбук, Г.А. Соболев

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

rim@ifz.ru

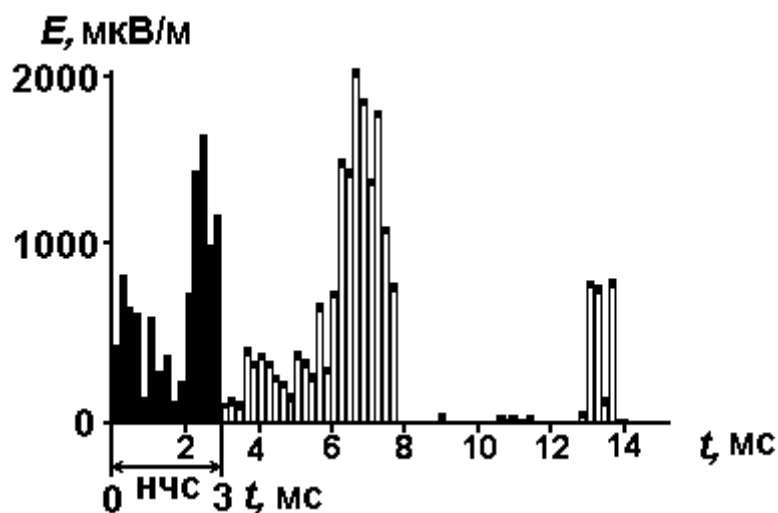


Массивы горных пород обладают механоэлектрической потенциальной энергией. Степень и методика воздействия, достаточные для изменения квазистабильного энергонасыщенного состояния в породах, зависят от строения и минерального состава. Особенно ярко выраженные эффекты и явления наблюдаются в областях полиметаллических оруденений при изменении напряженно-деформируемого состояния и при прохождении упругих волн. Данные процессы сопровождаются излучением электромагнитных сигналов.

Были проведены экспериментальные работы по активации эмиссии высокочастотного электромагнитного излучения (ВЧИ) низкочастотными электрическими сигналами (НЧС) на полиметаллическом месторождении. Ток от разряда конденсатора емкостью 10 мкФ ($U=600$ В) в виде прямоугольного импульса длительностью 3 мс поступал в землю через латунные электроды с разномом 70 м и межэлектродным сопротивлением 1.2 кОм. Зарегистри-

ровано несколько сотен ВЧИ; они характеризуются асимметричной импульсной формой с частотами 0.5–6.0 МГц. Напряженность поля ВЧИ составляла $E=150\text{--}2000$ мкВ/м во временном интервале от 1 до 14 мс после окончания НЧИ (рисунок).

Сигналы ВЧИ возникают в зонах скопления минералов-полупроводников – сульфидов и окислов металлов, различаются по форме, их амплитуда не зависит от времени задержки после возбуждающего импульса. Времена вступления не повторяются при последовательных пусках тока. Высокая частота указывает на небольшие размеры излучателей. Возможно, в результате электрохимических взаимодействий в оруденениях накапливаются мозаично распределенные электрические заряды, изолированные природными диэлектриками (породой) и контактами полупроводников (гетеропереходов). Под действием НЧС возникают локальные электрические пробой, сопровождаемые перераспределением электрического поля и излучением ВЧИ.



Напряженность поля высокочастотного электромагнитного излучения.

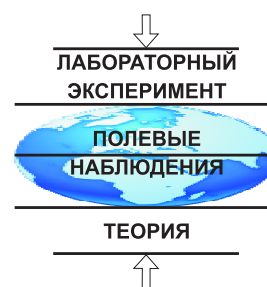
ДЕКОМПРЕССИЯ И ПРОНИЦАЕМОСТЬ СИЛИКАТНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ

В.Я. Медведев¹, Л.А. Иванова¹, Б.А. Лысов², В.В. Ружич¹

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

med@crust.irk.ru



Для выяснения причин, влияющих на повторяемость землетрясений, проведены эксперименты по декомпрессии силикатных пород с целью петрохимического моделирования эндогенных процессов в зонах разломов при резком изменении скорости смещений. Эксперименты проводились в диапазоне температур 200–600 °С и давлений 200–2500 бар с амфибол-биотитовыми гранодиоритами и с гранитами рапакиви при воздействии флюида системы С-О-Н. Моделировались режимы от постепенного приведения системы к стандартным условиям до шоковой декомпрессии.

Было выяснено, что декомпрессия образцов силикатных пород, помещаемых в условия повышенных температур и давлений, приводит к структурированию, выраженному не столько в количественном увеличении порового пространства, сколько в качественном изменении его конфигурации. В подвергнутых шоковой декомпрессии гранитах наблюдаются следующие явления: в биотите отчетливо проявляются трещины спайности, и повсеместно по этим трещинам выделяется мелкий рудный минерал черного цвета (вероятно, магнетит или гематит). В плагиоклазах появляются довольно широкие (до 0.02 мм) неминерализованные трещины. В крупных зернах наблюдается до 6–7 трещин, рассекающих зерно почти полностью. Нередко крупные трещины сопровождаются более мелкими «оперяющими». Зерна амфибола разбиты грубыми субпараллельными трещинами, в которых заметна хлоритизация.

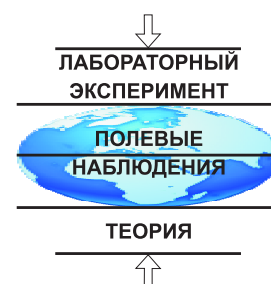
Часто наблюдаются не открытые трещины, а зоны, в которых амфибол деформирован. Ширина таких зон – порядка 0.012 мм. Многие крупные трещины рассекают не только отдельные зерна, но проходят и сквозь все минералы шлифа. Заметно увеличивается пористость породы за счет и трещин, и довольно крупных межзерновых пор овальной формы, причем размер последних достигает 1.8 мм. Показано также, что трещинно-поровая проницаемость пород и их физические свойства закономерно зависят от режима снятия давления. В случае максимально быстрого приведения системы к стандартным условиям, проницаемость гранодиоритов возрастает от 0.00797 мД в контрольном эксперименте до 0.11383 мД в образцах, полученных при шоковой декомпрессии, т.е. более чем на порядок. Таким образом, в зонах активных разломов на указанных глубинах под влиянием мгновенного спада давления в моменты сейсмогенных подвижек возможно ускоренное преобразование пород на фоне возникающих протяженных и многочисленных путей для перемещения газоводных флюидов. При этом резко ускоряются процессы залечивания посредством инициации интенсивного минерало- и рудоотложения. В зависимости от РТ-условий и наличия значительных объемов флюидов залечивание сейсмогенных разрывов и восстановление сдвигового сопротивления могут происходить за сравнительно короткие периоды, то есть от первых месяцев до нескольких лет.

ОПЫТ УСТАНОВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН ПО АНАЛИЗУ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНОРАНГОВЫХ РАЗЛОМАХ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ШАНЬСИ, КИТАЙ

М.Г. Мельников

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

mg_melnikov@crust.irk.ru

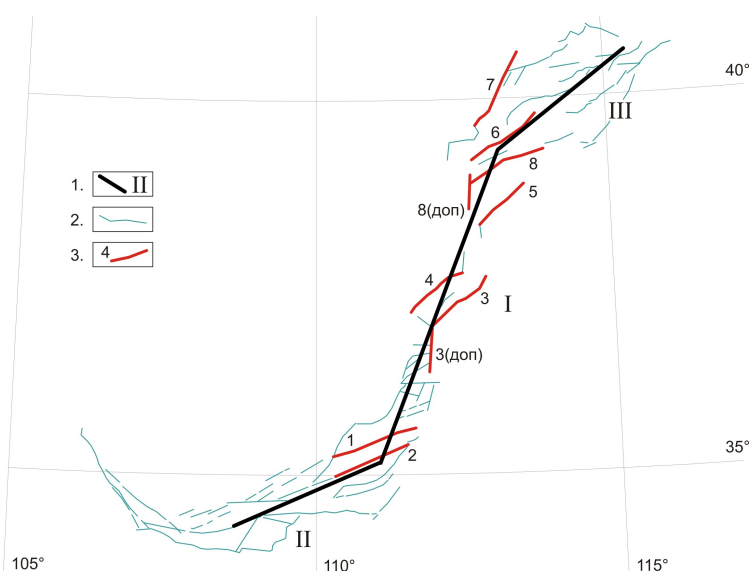


История изучения направленной миграции землетрясений в связи с волновыми процессами насчитывает уже более пятидесяти лет. Известные данные свидетельствуют: в различных регионах мира в зонах активных разломов фиксируются волны со скоростями 10–100 км/год. Последующими исследованиями установлено преобладание преимущественного направления деформационных волн в ряде сейсмических зон Центральной Азии. Задача данной работы – сравнительный анализ волновых процессов в областях динамического влияния разломов разного ранга рифтовой системы Шаньси (РСШ) [1].

По методике [2, 3] для главных разломов, образующих центральную часть РСШ (рисунок), получен вектор распространения деформационных волн в направлении северо-восток – юго-запад. По тем же методическим приемам выявлено наличие вол-

новых процессов в разрывах более низкого иерархического уровня, которые можно рассматривать как оперяющие разломы. Их длина порядка 100–150 км, что достаточно для оценки наличия волновых процессов по эпицентральному полюсам. Полученное направление движения волн коррелирует с основным направлением, характерным для всех сегментов этой рифтовой системы. Следовательно, волновой процесс захватывает по ширине практически всю РСШ и способствует возникновению землетрясений и миграции их очагов как в главной дизъюнктивной зоне, так и в ее оперении. Установлены параметры деформационных волн и уравнения регрессии, отражающие движения волн вдоль разрывов.

Исследования поддержаны грантом РФФИ 12-05-91161-ГФЕН_а, программами ОНЗ РАН 7.7, Президиума РАН № 4.1.



Карта разломов РСШ [1]. 1 – ось сейсмической зоны и номер сегмента; 2 – активные разломы рифта, взятые с карты; 3 – разломы, по которым проводились исследования.

Литература

1. *Map of active tectonics in China*. Chief compiler: Deng Qidong, principal participants: Deng Qidong, Ran Yongkang, Yang Xiaoping, Min Wei, Chu Quanzhi.
2. Sherman S.I., Gorbunova E.A. Variation and origin of fault activity of the Baikal rift system and adjacent territories in real time // *Earth Science Frontiers*. 2008. V. 15, № 3. P. 337–347. doi:10.1016/S1872-5791(08)60069-X.
3. Шерман С.И., Горбунова Е.А. Волновая природа активизации разломов Центральной Азии на базе сейсмического мониторинга // *Физическая мезомеханика*. 2008. Т. 11, № 1. С. 115–122.

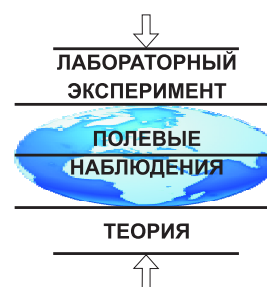
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРАНИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

М.Г. Менжулин¹, О.В. Мясникова²

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

² Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

okmyasn@krc.karelia.ru



Реальная прочность и разрушаемость горных пород определяется в основном размером, количеством и ориентацией дефектов и трещин. Кинетическая теория прочности, разработанная под руководством акад. С.Н. Журкова, рассматривает разрушение в среде как реально развивающийся во времени необратимый процесс накопления микроповреждений, появляющихся в результате термофлуктуационных разрывов внутренних связей между элементарными частицами материала в поле механических напряжений [1, 2].

В ходе многочисленных экспериментов [2, 3] было установлено, что кинетический характер трещинообразования позволяет характеризовать процесс разрушения некоторой скоростью накопления повреждений либо временем процесса разделения материала на части, т.е. долговечностью.

Основное уравнение для статической долговечности твердых тел под нагрузкой при линейном растяжении имеет вид:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right).$$

В процессе исследования были изучены различные типы гранитов, перспективные для добычи строительного камня. Экспериментальные определения термокинетических параметров разрушения были выполнены методом растяжения при изгибе на образцах – призмах с надпилотом, при котором нагрузка прикладывалась в середине образца. Результаты экспериментальных измерений термокинетических параметров гранитов представлены в таблице.

Из данных таблицы следует, что долговечность разрушения существенно различается для минерального сырья изученных месторождений. Наиболее предпочтительны для использования в дорожном строительстве и на других объектах граниты с величиной долговечности более 50 лет.

Наименование	ρ , г/см ³	$E \times 10^4$, МПа	U_0 , Дж/моль	γ_r , м ³ /моль	τ , лет
Хюпшиовара	2.67	6.79	148990	1.84×10^{-3}	144
Пергуба	2.70	6.74	149292	2.00×10^{-3}	58
Пиндушское	2.65	5.65	137638	1.41×10^{-3}	41

Литература

1. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // Доклады АН СССР. 1981. Т. 259, № 6. С. 1350–1353.
2. Регель В.Р., Слуцкер А.Н., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
3. Менжулин М.Г., Шишов А.Н., Серышев С.В. Термокинетическая модель разрушения горных пород и особенности ее численной реализации // Физика и механика разрушения горных пород применительно к прогнозу динамических явлений. СПб.: ВНИМИ, 1995. С. 59–65.

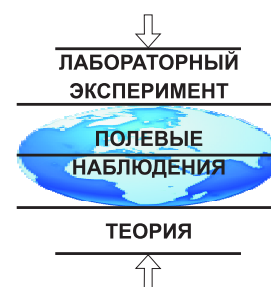
ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ В СВЯЗИ С ОЛЮТОРСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ

Ю.Ф. Мороз¹, Т.А. Мороз¹, В.А. Логинов¹, А.Г. Яковлев²

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

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

morozyf@kscnet.ru



В области сочленения Корякской и Олюторской складчатых зон произошло сильное Олюторское землетрясение (20.04.2006 г.; $M_w=7.6$). Данный район пересечен профилем МТЗ с шагом 2–5 км до (2004 г.) и после землетрясения (2008 г.). Это дает возможность оценить, в какой мере изменилась электропроводность геологической среды в связи с землетрясением.

Выявлены следующие особенности в структуре электропроводности литосферы. До землетрясения литосфера содержит зоны повышенной электропроводности в районе Авьинского синклинория и области сочленения Корякской и Олюторской складчатых областей. Проводящие зоны с удельным электрическим сопротивлением от первых единиц до первых десятков Ом·м выражены на глубинах от приповерхностных частей земной коры до 40 км.

После землетрясения структура электропроводности литосферы в значительной мере изменилась. Проводящая зона в районе Авьинского синклинория на глубинах более 15 км практически исчезла. Однако в верхних частях земной коры появились проводящие зоны шириной в первые километры. Они проявились от приповерхностных частей земной коры до глубин 10–15 км. Наиболее заметные изменения электропроводности среды произошли в области сочленения Корякской и Олюторской складчатых зон. Здесь сильно изменились границы и уве-

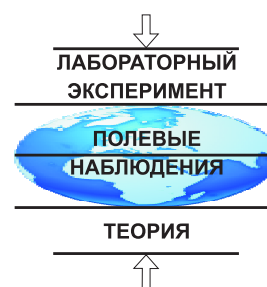
личились размеры проводящей зоны. Северо-западная граница является субвертикальной. Юго-восточная граница в пределах земной коры имеет наклон около 30 градусов. С глубиной ширина зоны возросла в юго-восточном направлении. На глубине 30 км ширина зоны достигает почти 30 км. Зона имеет продолжение в верхнюю мантию до глубины 100 км и более. Пониженные значения сопротивлений в первые десятки Ом·м отмечаются на глубинах 20–30 км. На дневной поверхности проводящая зона проявилась в виде трещины протяженностью около 80 км. Предполагается, что такие зоны связаны с глубинными разломами. Повышенная электропроводность разломов 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 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.

МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОГО СИНГУЛЯРНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯПОНИИ В 2009–2011 ГОДАХ

Л.Ф. Московская

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург, Россия

lf_mosc@mail.ru



Длительный мониторинг разнообразных полей в сейсмоопасных регионах дает возможность развивать новые и совершенствовать традиционные подходы к анализу данных, опираясь на фактуру реального полевого эксперимента.

Использовались результаты измерения магнитного поля в Японии (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>) и Сейсмической каталог (<http://www.ncedc.org/anss/catalog-search.html>). Анализировались временные ряды (2009–2011 гг.) компонент магнитного поля трех обсерваторий.

Задача состояла в совместном анализе синхронных вариаций магнитного поля на трех обсерваториях. Для ее решения была предложена модель сингулярного токового источника. Применялись три версии оценок расстояния до обобщенного источника. Предложен параметр меры пространственной однородности магнитного поля.

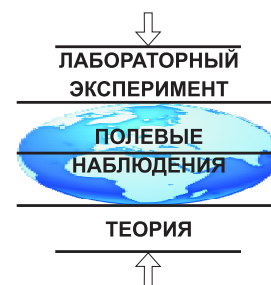
По данным измерений магнитного поля трех обсерваторий Японии за 2009–2011 гг. с использованием приближенных моделей интерпретации зафиксирован эффект регулярных вариаций кажущихся расстояний до эффективного сосредоточенного источника, связанный с ритмом геодинамических процессов в регионе. Наиболее сильное уменьшение кажущегося расстояния проявилось в связи с активизацией сейсмичности региона, включающей катастрофическое землетрясение 11 марта 2011 г. с магнитудой $M=9.1$. Аномальный характер поведения кажущегося расстояния до обобщенного источника в энергетических вариантах оценивания зарегистрирован не менее чем за две недели до катастрофического землетрясения. Характерные изменения кривых фиксировались в течение трех месяцев.

ОТРАЖЕНИЕ ГЕДИНАМИКИ ЛИТОСФЕРЫ ЯПОНИИ В РЕЗУЛЬТАТАХ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВАРИАЦИЙ ФУНКЦИЙ РАССТОЯНИЯ ДО ОБОБЩЕННОГО ИСТОЧНИКА

Л.Ф. Московская

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург, Россия

lf_mosc@mail.ru



В работе исследовались статистические характеристики вариаций функций кажущегося расстояния до обобщенного источника, рассчитанного по синхронным измерениям магнитного поля тремя обсерваториями Японии в 2006–2011 гг.

Для анализа корреляционных связей функций был развит метод корреляции с линейной редукцией сигналов. Анализ корреляционной связи параметров вариаций временного ряда со сплошным равномерным заполнением и дискретным рядом сейсмических событий проводился методом накопления с синхронизацией по землетрясениям.

Корреляционный анализ показал, что кажущееся расстояние связано с Ар-индексом магнитного возбуждения. Реакция обобщенной модели запаздывает на 2–3 месяца. Это можно трактовать как инерционность системы, способность оболочек Земли накапливать энергию внешнего возбуждения. На фоновый уровень несущего сигнала, задаваемый глобальными процессами электромагнитной динамики оболочек Земли, и их связи с солнечным возбуждением, накладываются пространственно-вре-

менные локальные аномалии. Причина локальных вариаций может быть связана с электромагнитными явлениями в литосфере-атмосфере-ионосфере, сопровождающимися геодинамическими процессами. Статистический анализ вариаций функций расстояния до обобщенного источника показал изменение характеристик в зависимости от геодинамической фазы тектонической структуры. Оценки абсолютных ускорений функций расстояния с участием данных обсерватории Какиока период 2009–2010 гг. характеризуются повышенным фоновым уровнем и большей возмущенностью функции. После репера землетрясения функция абсолютных ускорений заметно стабилизируется. Этот эффект можно интерпретировать как опосредованную регистрацию уменьшения напряжения в системе в результате землетрясения.

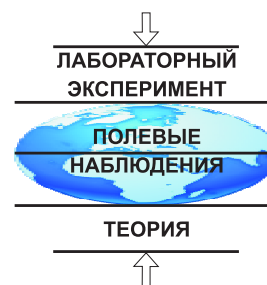
Выражаем глубокую признательность научным сообществам, поддерживающим научные сайты, за предоставленную возможность использования данных магнитных обсерваторий Японии и Сейсмического каталога Калифорнии.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗОН СДВИГА И УПЛОТНЕНИЯ ПРИ ТРЕХОСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ

Р.М. Насимов, А.В. Патонин

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

r.nasimov@ifz.ru



Высокопористые горные породы в природе являются коллекторами углеводородов. При эксплуатации этих месторождений возникают явления перераспределения напряжений на микроуровне и, как следствие, возникновение неоднородно-напряженного состояния в массиве, что приводит при превышении прочности пород к макродеформациям. Эти явления сопровождаются большими подвижками. Возникает риск техногенных катастрофических явлений, типа «проседания» верхних слоев на значительную величину, сопровождаемых локальными землетрясениями, опасными в относительно спокойных сейсмических областях.

В докладе будут представлены результаты испытаний высокопористых песчаников при осевой деформации в различных условиях: одноосных и в условиях всестороннего сжатия (до 120 МПа). При этом, наряду с регистрацией осевой и поперечной деформаций, рассчитывалась объемная деформация в сухих и водонасыщенных образцах при скорости деформации до 10^{-6} с^{-1} . Цилиндрические образцы песчаников, различного геологического происхождения с пористостью от 18 до 23 %, имели диаметр 30 мм и высоту 60 мм. В процессе опытов (длительность ≈ 7 часов) через одну минуту измерялась скорость продольных волн по 16 трассам с помощью соответствующей цифровой аппаратуры. В промежутках между сеансами прозвучивания про-

водилась непрерывная регистрация событий акустической эмиссии (АЭ). Волновые формы событий от 16 датчиков АЭ записывались на ПК, и в последующем определялись координаты событий.

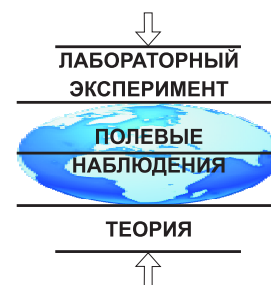
Полученный объем координат событий АЭ анализировался по следующему алгоритму: в ортогональных плоскостях, пересекающих ось образца, производилась выборка координат событий АЭ, которые попадали в объем, ограниченный ± 1 мм от осевых плоскостей. Мы обнаружили, что координаты событий АЭ на различных участках σ - ϵ локализируются в упорядоченные структуры, которые динамически изменяются при осевом давлении. При этом возникают структуры, которые можно идентифицировать как зоны сдвига и зоны сжатия. Сопоставление фото развертки боковой поверхности образцов с трещинами и полученных нами кластеров событий АЭ позволило оценить всестороннее давление и ту величину деформации, при которой возникают те или иные явления (зоны сжатия или зоны уплотнения). В дополнение к этим экспериментам, мы провели «упрощенный вариант» эксперимента, когда задача сводилась к одномерному варианту в камере цилиндр-поршень (с нерасширяющимся образцом). Была проведена «одномерная» локация событий АЭ. Эти эксперименты подтвердили нашу гипотезу.

ПОТЕНЦИАЛ ВЫСОКОМАГНИТУДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАРГУЗИНСКОМ РИФТЕ: СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ТРЕВОЖНЫЕ ПРИЗНАКИ

А.А. Никонов

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

nikonov@ifz.ru



В Баргузинской ветви Байкальской рифтовой системы сейсмическое «молчание» (на уровне событий с $M > 5.5$) длится 200–250 лет. Теперь выясняется, что здесь в 1693 г. имело место сильнейшее землетрясение с $M = 7.6–8.0$, в литературе и каталогах отсутствующее.

Структура Баргузинского рифта, как доказано работами нескольких групп сибирских специалистов по палеосейсмогеологии, является тектонически активной и в течение последних 10 тыс. лет многократно испытывала землетрясения с $M = 7.5–8.2$. Реальные интервалы повторения таковых в регионе пока не установлены.

Длительный период сейсмического спокойствия («молчание» на уровне событий с $M > 5.5$) в структуре с доказанным высшим сейсмическим потенциалом – признак не успокаивающий, а, скорее, подозрительный и тревожный. На это до сих пор не обращено внимание исследователей, хотя интервал повторения сильнейших землетрясений в регионе

оценивался в 300–500 лет.

Тревожными признаками, на которые до сих пор не обращено внимания, автор считает следующие:

а) выявление в текущем году неизвестного землетрясения с $M = 7.6–8.0$ в 1693 г. и истекший с тех пор период 320 лет;

б) отсутствие за этот период в Баргузинской впадине землетрясений с $M > 5.5$.

в) фиксация вокруг всей области «молчания» в соответствии с простиранием главного Баргузинского сейсмогенерирующего разлома овала («кольца») сейсмически активных участков на уровне событий с $M \leq 5$ и нескольких событий с $M = 5.0–5.5$.

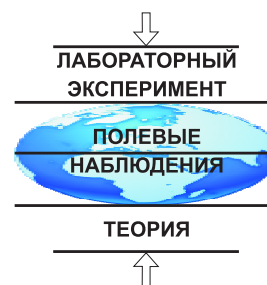
В этой ситуации безотлагательные исследования, сначала камеральные, а затем натурные, по специальной комплексной программе, представляются императивом, что может быть осуществлено в рамках намечаемого комплексного полигона в Байкальской рифтовой системе.

МЕДЛЕННАЯ МИГРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ОБЛАСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ГРАНИЦЕ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКОЙ И ТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТ

А.В. Новопашина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

anek_sanek@mail.ru



Пространственно-временная визуализация параметра суммарной сейсмической энергии для фрагментов границ Тихоокеанской и Североамериканской плит проведена для эпицентрального поля разлома Сан-Андреас и примыкающего к нему с северного окончания разлома Мендосино. Оба разлома являются правосторонними сдвигами. Скорость горизонтальных смещений достигает 28 ± 3 мм/год [2]. Пространственно-временные диаграммы были построены по методике, описанной в работе [1], для зон отдельных скоплений эпицентров различной протяженности (200–500 км) временного периода 1974–2012 гг., включающих очаги сильных землетрясений.

Анализ показал, что сейсмическому процессу зон сдвига свойственно прохождение миграционных последовательностей в сегментах разломов, расположенных вблизи узлов сочленения крупных тектонических структур. Рассчитаны скорости миграций, варьирующиеся от 10 ± 5 до 250 ± 50 км/год для одних и тех же областей проецирования, что можно объяснить непостоянством скоростного режима межплитных смещений.

Литература

1. Novopashina A.V., San'kov V.A. Velocities of slow migration of seismic activity in Cis-Baikal region // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2010. V. 1, № 2. P. 197–203.
2. Wallace R.E. The San Andreas fault system, California. Washington, 1990. 283 p.

Эпизоды миграции зафиксированы в зонах проецирования сейсмических данных, построенных для концентраций эпицентров в области тройного сочленения Мендосино, сочленения разломов Сан-Андреас и Калаверас, разломов Санта-Моника и Сан-Габриель, зоне разлома Камп-Рок, к которым приурочены сильнейшие землетрясения инструментального периода, такие как Кейп Мендосино 1992 г. ($M_w=7.2$), Лома-Приета 1989 г. ($M_w=6.9$), Паркфилдское 2004 г. ($M_w=6.0$), Нордридж 1994 г. ($M_w=6.7$), Ландерс 1992 г. ($M_w=7.3$) и Гектор-Майн 1994 г. ($M_w=7.1$).

В зонах очагов сильных землетрясений миграция может предшествовать главному толчку, а может включать афтершоковые последовательности. Также она наблюдается на соседних параллельных структурах, тем самым, возможно, проявляется «перекличка» между последовательно активизирующимися разломами, что для субпараллельных зон отражает динамику перераспределения напряжения в области их взаимодействия.

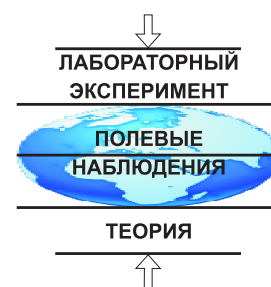
Работа выполняется при поддержке проекта программы Президиума РАН № 4.1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА УРТИТА СРЕДНЕЗЕРНИСТОГО МАССИВНОГО

А.К. Пак, Н.Н. Кузнецов

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

nikavalon@mail.ru



Оценка влияния скорости нагружения на прочностные свойства пород является крайне важной при ведении горных работ, так как она позволяет судить о том, как поведет себя та или иная порода в конкретной ситуации. Такими исследованиями занимались отечественные ученые: А.Н. Ставрогин, Б.Г. Тарасов, Е.В. Лодус, В.А. Мансуров и др.

В данной работе рассматриваются результаты физического моделирования на образцах процесса изменения прочности среднезернистого массивного уррита под влиянием скорости нагружения. Образцы уррита были отобраны на Расвумчоррском руднике ОАО «Апатит» с глубины 370 м. Размеры образцов соответствовали отношению высоты к диаметру 2:1. Испытания проводились при значениях динамических скоростей нагружения от 1 до 10 кН/с, при которых образцы разрушались в течение нескольких минут.

В ходе исследований была установлена динами-

ка изменения пределов прочности на одноосное сжатие образцов при увеличении скорости нагружения. Определены границы диапазонов скоростей нагружения, при которых снижаются и увеличиваются значения пределов прочности, а также проведена статистическая обработка результатов с определением их надежности.

Несмотря на различие факторов, определяющих прочность пород в лабораторных, а также шахтных и природных условиях, им присуще принципиальное единство, заключающееся в деформировании и частичном разрушении твердого неоднородного материала под действием напряжений. Это позволяет использовать (с учетом масштаба и других горно-геологических факторов) установленные в лабораторных условиях закономерности разрушения породных образцов для контроля геомеханического состояния более сложной и крупной природно-технической системы.

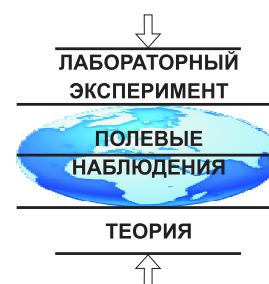
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

И.А. Пантелеев¹, В.А. Гаврилов²

¹ Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

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

ria@icmm.ru



Работа направлена на исследование физических причин и механизмов эффекта синхронизации внешнего электровоздействия и интенсивности перестройки дефектной структуры горных пород, проявляющейся в виде сигналов акустической эмиссии (АЭ). Впервые эффект модулирующего воздействия внешнего электромагнитного излучения на интенсивность геоакустических процессов был обнаружен средствами скважинных измерений геоакустической эмиссии и электрической составляющей внешнего электромагнитного поля, проводимых на территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона [1]. На основе анализа данных комплексного скважинного геофизического мониторинга было выдвинуто предположение, что в асейсмичные периоды изменение интенсивности геоакустических процессов в геосреде определяется изменениями напряженности внешнего электрического поля и электропроводностью горных пород в районе скважины, тогда как во временных окрест-

ностях сильных тектонических землетрясений роль внешнего электрического поля становится незначительной на фоне локального роста токов электрокинетической природы, вызванных перераспределением порового давления [2].

Для проверки выдвинутых гипотез, а также установления условий реализации режима синхронизации внешнего электрического воздействия и интенсивности АЭ проведен комплекс лабораторных экспериментов на образцах магматических и осадочных горных пород. В теоретической части работы проведена оценка максимальной плотности электрокинетического тока, вызванного изменением напряженно-деформированного состояния геосреды при подготовке тектонического землетрясения. Проведено численное моделирование эволюции электрокинетического тока, вызванного перераспределением порового давления с учетом воздействия внешнего электромагнитного поля.

Литература

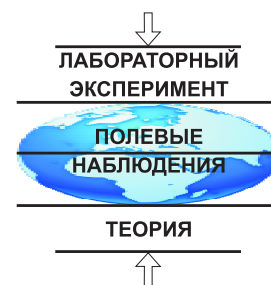
1. Гаврилов В.А. Физические причины суточных вариаций уровня геоакустической эмиссии // Доклады АН. 2007. Т. 414, № 3. С. 389–392.
2. Gavrilov V.A., Pantelev I.A., Ryabinin G.V., Morozova Yu.V. Modulating impact of electromagnetic radiation on geoaoustic emission of rocks // Russian Journal of Earth Sciences. 2013. V. 13. ES1002. doi:10.2205/2013ES000527.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОДНООСНОМ НАГРУЖЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

И.А. Пантелеев, О.А. Плехов, О.Б. Наймарк

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Россия

ria@icmm.ru



В настоящее время накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал по поведению горных пород при сжимающих нагрузках, который является фундаментом для расчета напряженно-деформированного состояния элементов шахтного поля. Однако особенности деформирования горных пород, находящихся в поле действия растягивающих напряжений, практически не изучены. Применительно к геомеханике рассмотрены только аспекты, связанные с изучением прочностных свойств породы при растяжении. Актуальность и необходимость изучения процесса локализации деформации и разрушения горных пород при растяжении объясняются возможностью перехода трещин сдвига в поле сжимающих напряжений к резкому росту трещин отрыва при появлении растягивающих напряжений. При данном сценарии существует потенциальная возможность разрушения кровли выработок, а также образования и развития квазивертикальных трещин, например, в водозащитной толще. Эти процессы, в условиях разработки, в частности, водорастворимых полезных ископаемых, могут привести к катастрофическим последствиям.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию пространственно-временной локали-

зации процессов деформирования и разрушения горных пород при квазистатическом сжатию и растяжению с использованием методов акустической эмиссии и построения полей деформации на поверхности образцов. Проведена серия экспериментов по квазистатическому растяжению пород с использованием оригинальной оснастки для крепления образцов. Скорость нагружения варьировалась в диапазоне от 0.025 мм/мин до 0.100 мм/мин. Регистрация акустической эмиссии в процессе эксперимента производилась с помощью системы Amsy-5 (Vallen, Германия) в двух частотных диапазонах: 50–400 кГц и 350–2000 кГц. Для построения полей деформации и перемещений поверхности образцов была использована оптическая система Strain Master (Германия). Для выявления особенностей локализации деформации и разрушения при растяжении и сжатию образцов горных пород проведен сравнительный анализ построенных полей компонент деформации и данных акустической эмиссии.

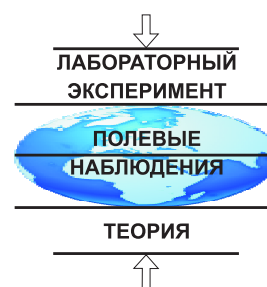
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-05-96005-р_урал_а, № 12-05-00670-а) и гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-6741. 2013.1).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЕЕ СВЯЗЬ СО СТАДИЯМИ СЕЙСМОГЕНЕЗА

В.А. Петров, А.О. Мострюков

Геофизическая обсерватория «Борок», филиал ИФЗ РАН,
пос. Борок, Россия

petrov@borok.yar.ru



В сейсмологической практике выделение реализованной плоскости механизма очага землетрясения возможно при сопоставлении ее с разрывом на поверхности (при условии его выхода и обнаружения) и в основном осуществляется для сильнейших и сильных землетрясений. Без такого выхода разрыва в очаге на поверхность для большинства землетрясений выделение реализованной плоскости без привлечения других данных (структура облака афтершоков, ориентация оси промежуточного напряжения в механизме очага, микроземлетрясения, динамика сейсмических волн) практически невозможно. Отсутствие таких данных не позволяет развивать существующие на сегодня модели подготовки землетрясений, базирующиеся в основном на теоретических и экспериментальных данных.

Для территории Северной Калифорнии и Байкала по данным о механизмах очагов землетрясений проведена реконструкция главных осей напряжений, определены реализующиеся при землетрясении сдвиговые плоскости и изучены особенности характера разрушения горных пород. При расчете компонент поля тектонических напряжений использовался кинематический метод, предложенный О.И. Гу-

щенко. Задача решена посредством массового определения геометрических и деформационных параметров реализовавшейся плоскости разрыва в очаге каждого отдельного землетрясения. Для «реализованных» плоскостей вычислены значения коэффициента Лоде-Надаи, отношение величины касательного напряжения к величине максимального касательного напряжения, а также величина нормального напряжения. Особенности разрушения горных пород позволили выявить динамику и стадии сейсмотектонического процесса как в пространстве, так и во времени, выяснить их связь с подготовкой и реализацией очага сильного землетрясения. Выделены сейсмоактивные объемы с разным типом поля напряжений [1], и выявлены в них особенности разрушения. Особый интерес представляют временные изменения реализации плоскостей в очагах землетрясений на разных стадиях деформационного процесса и при разных типах напряженно-деформированного состояния. Эти объемы с разным типом поля напряжений отличаются не только геометрией своего нагружения, но и специфическими особенностями и динамикой разрушения.

Литература

1. Гущенко О.И., Мострюков А.О., Петров В.А. Структура поля современных региональных напряжений сейсмоактивных областей земной коры восточной части Средиземноморского подвижного пояса // Доклады АН СССР. 1990. Т. 312, № 4. С. 830–835.

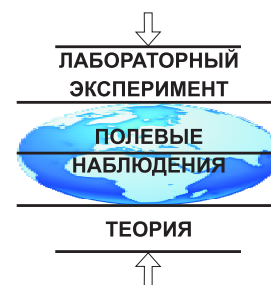
РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ТОХОКУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 11.03.2011 г.

А.Ю. Полец¹, Ю.Л. Ребецкий²

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

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

polec84@mail.ru



11 марта 2011 г. в районе о. Хонсю, Япония, произошло мегаземлетрясение, которое продолжило цепочку сильнейших событий, произошедших в новейшую эпоху цифровых инструментальных наблюдений: Суматро-Андаманское землетрясение 26.12.2004 г. ($M_w=9.3$), чилийское Мале землетрясение 27.02.2010 г. ($M_w=8.8$), Тохоку землетрясение 11.03.2011 г. ($M_w=9.0$) и двойное землетрясение у берегов Суматры 11.04.2012 г., $M_w=8.6$; $M_w=8.2$.

Северо-Западный фланг Тихоокеанской области – один из наиболее сейсмически активных районов Земли. Для изучения особенностей поля тектонических напряжений, действовавших в земной коре этой области, перед землетрясением 11 марта 2011 г. была выполнена реконструкция параметров напряженного состояния. Реконструкция выполнялась на основе метода катакластического анализа разрывных смещений [2]. Этот метод позволяет не только определять параметры эллипсоида напряжений, но и оценивать величины напряжений. Реконструкция тектонических напряжений выполнялась в пределах области $30-43^\circ N$ и $135-146^\circ E$, по данным о механизмах очагов землетрясений из каталога JMA в двух диапазонах магнитуд M_w : 1) от 3.0 до 5.5 и 2) от 5.0 до 7.0 и для разных глубинных интервалов: 0–20; 10–30; 20–40; 30–50; 50–70 и 70–90 км. По результатам реконструкции установлено: ось

океанического желоба резко разделяет верхнюю часть тектоносферы на два геодинамических режима: 1) субгоризонтального сжатия к западу от оси желоба; 2) субгоризонтального растяжения к востоку от оси желоба. Смена геодинамических режимов происходит резко без формирования промежуточных режимов горизонтального сдвига или сдвига вертикального. Тип тензора напряжений, определяемый значениями коэффициента Лодэ-Надаи μ_σ практически для всех доменов близок к чистому сдвигу ($-0.2 < \mu_\sigma < 0.2$). Развитие очага землетрясения 11 марта происходило в области сочленения участков коры с высоким и низким уровнем эффективного давления, в зоне максимального градиента напряжений. Эта область протягивалась вдоль оси океанического желоба и наиболее выраженной была на глубине 30 км. На всех глубинах к западу от области высокого градиента напряжений присутствовала обширная область пониженного уровня эффективного давления, которая, согласно работам [1, 2], является наиболее предпочтительной для развития хрупкого разрушения.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты № 12-05-31329, 13-05-00892) и гранта президента РФ МК-1904.2013.5.

Литература

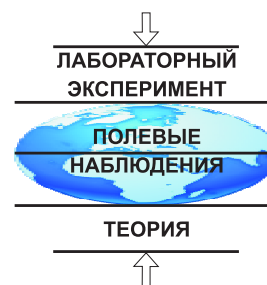
1. Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Доклады АН. 1999. Т. 365, № 3. С. 392–395.
2. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 406 с.

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ПОДГОТОВКИ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОМ ЛЬДУ. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

Е.И. Пономарёва

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Squirrel@crust.irk.ru



В данном сообщении обсуждаются материалы, полученные в ходе работ в рамках совершенствования способов прогноза землетрясений средствами физического моделирования в ледовом покрове Байкала. Ранее было установлено [1], что изменения прочности ледяного покрова и его разрушение очень тесно связаны с солнечной инсоляцией и режимом температурных вариаций льда. Рассмотрим это на следующем примере.

Наступлению ледовых ударов 25 февраля 2013 г. предшествовал ряд признаков, а именно зафиксированные аппаратурой сейсмические, деформационные и температурные изменения показателей. Так, амплитудно-частотные изменения в сейсмическом режиме обнаружили за сутки до ледовых событий. Вначале установленная сейсмометрическая аппаратура зафиксировала спад уровня сейсмического фона, а примерно за 4 часа отмечалось его резкое нарастание вплоть до 1-го удара. Первые деформационные признаки также проявились примерно за 24 часа в изменении суточного хода. Перед днем удара не было зафиксировано обычного ночного растяжения трещин с остаточной амплитудой смещения. Следующий и более явный деформационный признак приближения большого динамического разрушения льда – развитие аномального сжа-

тия трещин за 1–4 часа. На данном примере показана возможность прогноза за несколько суток или часов признаков подготовки и проявления ледовых ударов, но лишь на вероятностном уровне, поскольку выявленные предвестники не были строго однозначными по численным показателям в разных участках становой трещины, что обусловлено ее структурными различиями.

Полученные результаты имеют важное значение для физического моделирования с целью совершенствования методов прогноза тектонических землетрясений, поскольку выявленные признаки подготовки ледовых ударов, исходя из выявленных ранее условий физического подобия, могут иметь место и при формировании очагов землетрясений. Для более однозначного прогнозирования землетрясений, формирующихся в конкретных участках зон разломов, важно проведение не только детальных сейсмологических, но также и деформометрических измерений, по которым можно более уверенно зафиксировать приближение сильных толчков. Без применения расширенного комплекса измерений в потенциально опасных местах активных тектонических разломов невозможно с необходимой точностью прогнозировать сейсмоопасные смещения.

Литература

1. Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н., Борняков С.А., Гранин Н.Г. Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 3. С. 289–299.

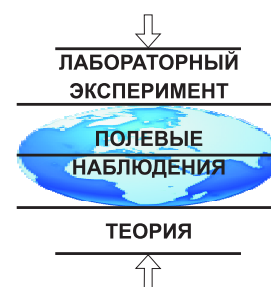
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ УДАРОВ НА БАЙКАЛЕ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С.Г. Псахье¹, В.В. Ружич², Е.Н. Черных², Е.В. Шилько¹,
Е.А. Левина², Е.И. Пономарёва²

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

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Ruzhich@crust.irk.ru



Обсуждаются подходы к решению проблем среднесрочного прогноза тектонических землетрясений с позиций физического моделирования на основе результатов исследований, проводимых авторами в течение восьми лет в пределах ледяного покрова Байкала. Цель исследований – детальное изучение условий динамического разрушения ледяного покрова, в котором полевыми сейсмостанциями фиксируются сейсмические акты, с энергией $E=10^5-10^8$ Дж, названные нами ледовыми ударами. Представлены следующие результаты и выводы, касающиеся возможностей прогноза ледовых ударов. Ранее были выявлены главные причины деформирования и разрушения ледяного покрова в Байкальской акватории после ледостава: температурные перепады, инициирующие расширение и сжатие ледяных полей, а также их деформирование и растрескивание, воздействия подледных течений, штормовых ветров разного направления, изменения атмосферного давления, выпадение снежного покрова, изменяющего тепловой баланс льда и его физико-механические свойства. Режим подготовки ледовых ударов, генерируемых зонами станковых трещин, в наибольшей степени обусловлен температурными вариациями льда. Использование метеосводок позволяет прогнозировать за 1–2 недели и в течение отдельных суток время потеплений, выпадения осадков и проявления штормов, влияющих на возникновение сейсмогенерирующих ледовых ударов. Согласно статистическому анализу, наиболее информативен совместный мониторинг температуры льда, а также подвижек и сейсмических колеба-

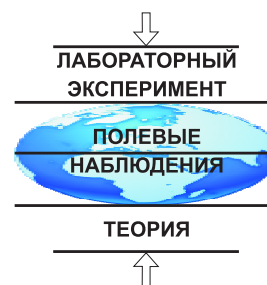
ний в разных сегментах станковых трещин, что позволяет в оперативном режиме уверенно контролировать ход подготовки сильных сейсмических актов в конкретных сегментах станковых трещин. Показано, что, несмотря на расширенные возможности контроля за причинами подготовки ледовых ударов, их прогноз может быть относительно успешным только на вероятностном уровне. Это обусловлено затрудненным учетом многообразных сочетаний упомянутых метеогенных факторов, а также физико-механических и структурных особенностей в разных сегментах станковых трещин, ограниченной точностью метеосводок, используемых для прогноза. Полученные результаты физического моделирования в ледовых условиях Байкала позволяют количественно оценивать степень влияния различных факторов на формирование высоконапряженных сегментов в зонах многокилометровых магистральных трещин, что способствует более успешному прогнозированию их динамического развития. На основе физического моделирования сделан вывод о том, что главной причиной несовершенства в вероятностном прогнозе тектонических землетрясений является недостаток необходимой информации о режимах их подготовки, низкая точность измерений. Сложившаяся ситуация обусловлена отсутствием детальных инструментальных наблюдений за геофизическими параметрами подготовки очагов землетрясений, в том числе на сейсмофокальных глубинах. Исследования проводились при финансовой поддержке по интеграционным проектам СО РАН № 23 и 100.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ОРГРАФОВ

Б.Г. Пустовитенко, В.Б. Спиртус

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

bella@seismoexpert.crimea.ua



Для анализа связанных событий предложено использовать формализованный критерий соседства землетрясений и построенные на этой основе орграфы [1]. Методические вопросы выделения связанных событий с помощью теории графов отрабатаны на примере землетрясений центральной части Крыма. За период инструментальных наблюдений в этом районе отмечено более 20 групп связанных последовательностей землетрясений, наиболее сложные из которых произошли в 1927, 1967, 1984, 1998 и 2009 гг. Изучение последовательностей этих толчков [2] позволило определить их некоторые общие свойства: в начальный период T разгрузки очаговой зоны число сейсмических событий в единицу времени уменьшается по закону Омори с коэффициентом p от 0.78 до 1.29 (при среднем значении $p=1.04\pm 0.15$); скорость изменения интенсивности потока афтершоков обратно пропорциональна времени начального активного периода T ; в пределах очаговых зон связанных землетрясений, ограниченных малым сроком реализации сейсмичности, параметры закона повторяемости землетрясений

существенно отклоняются от долговременных значений.

При использовании орграфов для формализованного выделения связанных групп землетрясений Крыма [1] установлено: с помощью теории графов отображаются все имевшие место значимые периоды повышенной сейсмической активности и выделяются агломерации связанных форшоков и афтершоков; некоторые землетрясения имеют афтершоки и в то же время являются форшоками последующих более сильных толчков; наиболее сильным событиям не обязательно отвечает максимальное число входящих дуг $id(v)$ в вершине орграфа; перед главными толчками выделены цепочки связанных событий продолжительностью около двух лет, подтверждающие миграцию событий низкого ранга к месту будущего крупного [3].

Предложенный формализованный способ выделения взаимосвязанных последовательностей сейсмических событий и изучения их динамики с помощью теории орграфов представляется перспективным для использования в комплексе методов среднесрочного прогноза землетрясений.

Литература

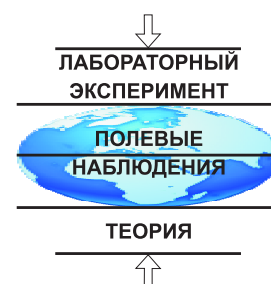
1. Спиртус В.Б. Применение теории графов для оценки связанности землетрясений Крымско-Черноморского региона // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 1. С. 130–141.
2. Пустовитенко Б.Г. Некоторые свойства сложных последовательностей землетрясений Крыма // Геодинамика. 2011. № 2 (11). С. 257–262.
3. Пустовитенко Б.Г., Поречнова Е.И. О процессах формирования очаговых зон сильных землетрясений // Геофизический журнал. 2008. № 5. С. 73–90.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 9 ОКТЯБРЯ 1864 Г. И 13 НОЯБРЯ 1898 Г.: ДОПОЛНЕНИЕ К КАТАЛОГУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Я.Б. Радзиминович

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

ian@crust.irk.ru



Территория Западного Забайкалья характеризуется умеренной сейсмической активностью. Вместе с тем здесь возможно возникновение довольно сильных сейсмических событий, способных причинить значительный материальный ущерб расположенным вблизи эпицентра населенным пунктам. В сейсмологическом отношении Западное Забайкалье изучено недостаточно. Параметрические каталоги землетрясений для этой территории, охватывающие исторический период времени, требуют коррекции и дополнения. Среди землетрясений, пропущенных в современных каталогах, есть как уже известные события, не прошедшие процедуру параметризации в силу ограниченности исходных данных, так и события, ранее не попадавшие в поле зрения специалистов.

В качестве источника первичных макросейсмических данных послужила региональная периодическая печать XIX в. Тщательный поиск информации в газетах «Иркутские епархиальные ведомости», «Байкал», «Восточное обозрение» позволил обнаружить новые сведения о двух землетрясениях, эпицентры которых можно локализовать в Западном Забайкалье. Первое из них произошло 9 октября 1864 г. (н. ст.) вблизи г. Петровск-Забайкальский (ранее – Петровский Завод). Координаты эпицентра (51.1° с.ш., 108.5° в.д.) и магнитуда ($M=5.1$) землетрясения

определены по имеющимся макросейсмическим данным. Второе событие произошло 13 ноября 1898 г. (н. ст.) в районе западного окончания Малханского хребта. Координаты эпицентра определены как 50.4° с.ш., 107.8° в.д.; оценка магнитуды составила $M=5.9$.

Полученные результаты позволяют существенно восполнить дефицит знаний о сейсмичности рассматриваемого района и уточнить представления о минимальном сейсмическом потенциале активных структур. Землетрясения 9 октября 1864 г. и 13 ноября 1898 г. по энергетическому уровню нельзя назвать рядовыми для территории Западного Забайкалья. Возможность возникновения здесь землетрясений с подобными или даже большими магнитудами следует принимать во внимание при разработке планов развития южных районов Восточной Сибири. Нельзя также утверждать, что каталог землетрясений для Западного Забайкалья на данный момент является исчерпывающим. Вполне возможно обнаружение новых данных об еще неизвестных сейсмических событиях – необходима лишь тщательная работа с максимально широким диапазоном исторических источников.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 111.

ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА УРАНА И $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ В ВОДАХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛИИ

С.В. Рассказов^{1,2}, Е.П. Чебыкин^{1,3}, Е.Н. Воднева^{1,3}, А.М. Ильясова¹,
Е.А. Михеева^{1,2}, И.С. Чувашова^{1,2}, С.А. Борняков^{1,2},
А.К. Семинский¹, С. Дэмбэрэл⁴

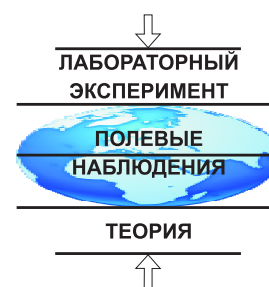
¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

³ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

⁴ Исследовательский центр по астрономии и геофизике МАН,
Улан-Батор, Монголия

rassk@crust.irk.ru



При поисках подходов к прогнозу вероятных крупных сейсмических событий в районе г. Иркутска и на сопредельных территориях побережья Байкала и Юго-Западного Прибайкалья, представляющих потенциальную сейсмическую опасность, проводится сравнительный изотопно-геохимический мониторинг вариаций концентраций U и ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) (в скобках – единицы активности) в водах родников и минеральных источников. В качестве эталонов сравнения используются изотопно-геохимические характеристики вод Байкала и речных бассейнов, пространственно соответствующих зонам исследуемых разломов. Работы проведены на полигонах: 1) Мондинском, 2) Тункинском, 3) Торском, 4) Култукском, 5) Иркутском, 6) Листвянском, 7) Приольхонском и 8) Восточно-Прибайкальском. Соответственно исследовались зоны разломов: на первом – третьем полигонах – Тункинского, на четвертом – области сочленения Обручевского и Главного Саянского, на пятом – Ангарского, на шестом – области его сочленения с Обручевским, на седьмом – Приморского, на восьмом – Баргузинской, Итандинской и других впадин Восточного Прибайкалья.

Определение U и ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) проводили методом ИСП-МС на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 се в ЦКП «Ультрамикрoанализ» (ЛИН СО РАН, г. Иркутск). Для определения изотопного состава урана в природных водах разработана методика выделения и обогащения урана на ионообменной смоле TRU (Eichrom). Образцы воды фильтровали (0.45 мкм), подкисляли азотной кислотой (3 %) и загружали в ионообменные полипропиленовые колонки, содержащие 0.5 мл смолы TRU. Уран элюировали 1.5 мл 0.1 М оксалата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Элюаты разбавляли в два раза 3%-ной HNO_3 и анализировали методом ИСП-МС согласно подходам, разработанным ранее [1]. Типичная отно-

сительная ошибка определения изотопных отношений $\sim 1\%$ (1 σ). Предварительно в пробах определялся спектр 65 химических элементов.

Первые результаты работ на Култукском полигоне приведены в отдельном сообщении [2]. В настоящей работе представлены результаты изотопно-геохимических исследований вод на пунктах опробования восьми перечисленных полигонов и отслеживания временных вариаций ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Для сравнения выполнены измерения концентраций U и ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в водах сейсмоопасных разломов Центральной Монголии.

Общий анализ полученных данных приводит к заключению о различном характере выражения эффекта обогащения вод изотопом ^{234}U на выбранных полигонах. Отсутствие на них крупных сейсмических событий в период наблюдений пока не дает возможности определения состояния урановой изотопной системы в водах исследуемых активных разломов перед такими событиями, во время и после них. Выполненные систематические работы создали основу для изучения изменений ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) как одного из прогностических признаков опасных сейсмических процессов. Основное внимание будет сосредоточено на отслеживании синхронных изменений урановых параметров в водах Иркутского и Култукского полигонов. Для получения более полной картины временных вариаций урана и ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в водах из зон активных разломов Байкальской рифтовой зоны необходимо расширение сети станций наблюдений в ее северо-восточную часть.

Работа выполнена по проекту ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», соглашение № 14.В37.21.0583.

Литература

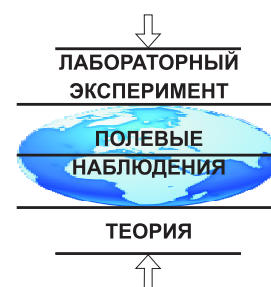
1. Чебыкин Е.П., Гольдберг Е.Л., Куликова Н.С., Жученко Н.А., Степанова О.Г., Малопевная Ю.А. Метод определения изотопного состава аутигенного урана в донных отложениях озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 6. С. 604–616.
2. Чебыкин Е.П., Рассказов С.В., Воднева Е.Н., Ильясова А.М., Михеева Е.А., Чувашова И.С., Борняков С.А., Семинский А.К., Снопков С.В. Мониторинг U и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в водах активных разломов на западном замыкании Южно-Байкальской впадины Байкальской рифтовой зоны // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: Материалы Всероссийского симпозиума с международным участием. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГОВ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ю.Л. Ребецкий

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

reb@ifz.ru



Следует признать, что в настоящее время мы плохо представляем условия, определяющие возможность начала крупномасштабного хрупкого разрушения – землетрясения. Из результатов лабораторных экспериментов мы знаем, в каких условиях происходит зарождение макротрещины, но не представляем условия, определяющие возможность ее разрастания до сдвигового разлома протяженностью в десятки и сотни километров. По умолчанию предполагается, что критерии прочности, определяющие формирование трещины микро- и макроскопического (доли миллиметров и первые сантиметры), а также мегаскопического (десятки сантиметров – десятки километров) уровня, одинаковые, т.е. хрупкое разрушение обладает свойствами фрактальности. Из этого следуют представления на всю область подготовки очага землетрясения как на участок коры повышенного уровня напряжений. Предполагается, что здесь имеет место «зацеп» или область повышенного трения, определяющая накопление энергии упругих деформаций. Результатом землетрясения является разрушение области повышенных напряжений и сброс накопленной энергии упругих деформаций.

С другой стороны, эксперименты по разрушению образцов показывают, что хрупкая прочность

горных пород зависит от уровня всестороннего давления и поэтому высокому уровню девиаторных напряжений, который способен выдержать образец, отвечает и высокий уровень обжимающего давления. Установлено также, что с повышением обжимающего давления уменьшается величина сброшенных упругих деформаций, а следовательно, уменьшается энергетическая эффективность хрупкого разрушения. При определенном уровне всестороннего сжатия хрупкое разрушение макроскопического уровня вообще становится невозможным и процесс диссипации энергии девиаторных упругих деформаций смещается на уровень зерен и кристаллов, что соответствует пластическому поведению среды. Таким образом, с учетом масштабного фактора области коры с повышенным уровнем напряжений следует интерпретировать как участки, где развитие крупномасштабного землетрясения невозможно.

В докладе будут показаны результаты тектонофизических реконструкций природных напряжений в очагах подготовки сильнейших землетрясений последнего десятилетия. Напряженное состояние этих областей имеет характерные особенности, что позволяет выделять их до момента возникновения землетрясения.

ПРОБЛЕМА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

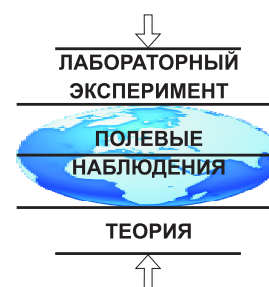
М.В. Родкин¹, В.Ф. Писаренко¹, Нго Тхи Лы², А.А. Никонов³

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

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

³ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

rodkin@mitp.ru



При расчете сейсмической опасности сейсмический режим принято полагать стационарным. В этом случае основная проблема оценки сейсмической опасности связана с оценкой поведения хвоста распределения – вероятности реализации наиболее сильных и редких землетрясений. В монографии Е.А. Рогожина [1] для довольно широкого набора регионов приводятся данные о стационарности сейсмического режима на экстремально протяженных интервалах времени, и более того – о сохранении удивительно прямолинейного графика повторяемости землетрясений вплоть до экстремально редких известных событий с повторяемостью раз в несколько тысяч лет и даже еще более редких. С формальной точки зрения такое поведение графика повторяемости представляется, однако, довольно проблематичным, так как свидетельствует о как бы теоретически бесконечной средней выделенной сейсмической энергии. Естественно, это возражение можно обойти, если предположить, что загиб вниз графика повторяемости происходит на еще более длительных интервалах времени (скажем, порядка миллиона лет).

Существенно иные результаты получаются по данным для ряда других регионов. При этом существенно и то, что довольно типично выявляется не только загиб вниз графика повторяемости, но и признаки явной нестационарности сейсмического режима. Наиболее простой пример выявляется уже на мировом каталоге землетрясений на примере повышенной вероятности реализации сильнейших $M \geq 8$ землетрясений на границе XX и XXI веков. Стати-

стические оценки показывают, что случайным образом такая концентрация сильных событий может реализоваться с весьма низкой вероятностью.

Наиболее понятный с физической точки зрения пример нестационарности связан с сейсмическим режимом Фенноскандии. Статистические оценки по инструментальным данным дают оценку максимального сейсмического потенциала региона на уровне $M \geq 6$ [2]. Однако палеосейсмические данные достаточно убедительно указывают на реализацию в регионе в прошлом событий диапазона $M \geq 8$. Но в данном случае естественно предположить, однако, что изменение сейсмического потенциала связано с затуханием гляциоизостатических движений в регионе и потому достаточно ожидаемо.

Неожиданно сильное рассогласование инструментальных и исторических и палеосейсмических данных выявилось также для Вьетнама и прилегающих территорий. В этом случае также оценка сейсмического потенциала по историческим и палеоданным оказывается заметно выше, чем по современным инструментальным. Оценка величин квантилей максимально сильных ожидаемых землетрясений по историческим и инструментальным данным для интервалов времени прогноза 50–100 лет различается на величину, близкую к единице магнитуды, что принципиально важно в плане оценки сейсмической опасности.

Авторы не претендуют на решение поставленной задачи, но хотели бы привлечь внимание специалистов к возможной существенной нестационарности сейсмического режима.

Литература

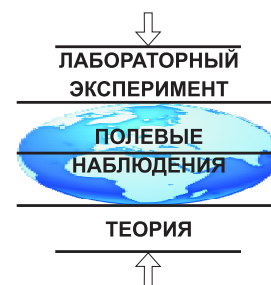
1. Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмоструктуры. М.: Институт физики Земли, 2012. 339 с.
2. Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Неустойчивость параметра M_{\max} и альтернатива его применению // Физика Земли. 2009. № 12. С. 48–59.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА – МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АКТИВНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М.В. Родкин, Т.А. Рукавишникова

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

rodkin@mitp.ru



Сейсмический режим часто трактуют как пример реализации режима самоорганизующейся критичности (SOC). Однако механизмы реализации SOC применительно к сейсмическому процессу предложены не были. Для описания сейсмического процесса широко используются также модель объединения закона повторяемости Гутенберга-Рихтера и Обобщенного закона Омори и во многом аналогичная ей эпидемическая модель сейсмического режима Epidemic Type Aftershocks-Sequences, ETAS. Однако эти модели носят чисто статистический характер, и уточнение значений параметров модели и их взаимосвязи не позволяет существенно продвинуться в понимании физики сейсмического процесса. Наиболее естественной для понимания процесса сейсмичности представлялась бы статистическая модель, описывающая сейсмичность в терминах, характеризующих свойства сейсмоактивной среды и активность протекающих в ней неравновесных процессов. В реализующей такой подход модели [1] (statistical earthquake model, SEM) сейсмический

режим моделируется совокупностью эпизодов лавинообразной релаксации, развивающихся случайным образом на множестве статистически идентичных метастабильных подсистем. Модель позволяет описать Обобщенный закон Омори и тенденцию связи моментов реализации сильных землетрясений с пониженными значениями наклона графика повторяемости. Здесь рассматривается развитие SEM-модели, позволяющее имитировать режимы сейсмического цикла и характеристических землетрясений. Тенденция сейсмических циклов в рамках SEM-модели является следствием требования стационарности сейсмического режима в «долгом времени». Возможность возникновения характеристических землетрясений обуславливается наличием или отсутствием членов высших порядков в кинетическом уравнении развития лавинообразного процесса развития землетрясения. Обсуждается вопрос возможной физической интерпретации отсутствия/наличия таких членов высших порядков.

Литература

1. Родкин М.В. Модель сейсмического режима как совокупности эпизодов лавинообразной релаксации, возникающих на множестве метастабильных состояний // Физика Земли. 2011. № 10. С. 18–26.

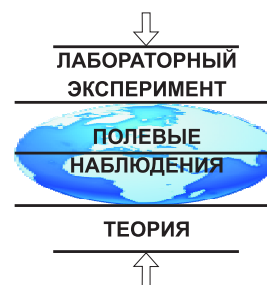
ПРОГНОЗНЫЙ ЭФФЕКТ ВСПЛЫВАНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ОБОБЩЕННОЙ ОКРЕСТНОСТИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И АФТЕРШОКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

М.В. Родкин¹, И.Н. Тихонов², Т.А. Рукавишникова¹

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

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

rodkin@mitp.ru



В сейсмологии регулярно возникает вопрос, в какой степени механизмы разрушения горных пород в эксперименте аналогичны природному процессу разрушения горных пород при землетрясениях. Некоторые природные эффекты не могут быть смоделированы в лаборатории. Среди таких процессов важную роль играют процессы изменения глубин землетрясений. Разными авторами ранее неоднократно отмечалась тенденция изменения глубины землетрясений в связи с реализацией сильных землетрясений. Однако выводы получались обычно не вполне ясными из-за недостатка статистических данных. В работе приводятся данные по изменению средней глубины землетрясений при подготовке и реализации сильных землетрясений, и всплесках активности в афтершоковых последовательностях. Количество землетрясений в окрестности готовящихся сильных землетрясений обычно бывает недостаточным для надежного статистического определения свойств форшоковой последовательности. С целью обойти указанную трудность нами были использованы данные по обобщенной окрестности сильного землетрясения, собранные по большому числу (в данном случае для 1000) сильных неглубоких ($H < 70$ км) землетрясений. Был использован Гарвардский СМТ каталог сейсмических моментов за 1976–2012 годы. По данным исследования Обобщенной окрестности сильного землетрясения было выявлено, что примерно за сотню суток до

сильного события намечается тенденция уменьшения средней глубины землетрясений. Уменьшение происходит линейно в зависимости от логарифма времени, остающегося до главного толчка. Для афтершоковой последовательности типично компенсационное увеличение глубин землетрясений, которое устойчиво выявляется начиная с первого дня после сильного землетрясения в течение 2–3 лет после землетрясения.

Близкие по характеру изменения выявляются и в характере афтершоковой последовательности ряда исследованных афтершоковых последовательностей сильных землетрясений. В этих случаях существенными уменьшениями средней глубины очагов выделяются всплески числа афтершоков. В большинстве случаев такие изменения сопровождаются также уменьшениями величин наклона графика повторяемости и корреляционной размерности облака гипоцентров.

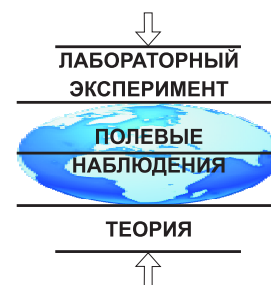
Выявленные особенности наиболее естественно связать с наличием в сейсмогенной области глубинного флюида малой плотности, эпизоды прорыва которого к поверхности и сопровождаются уменьшениями глубин землетрясений. Остается неясным, однако, в какой мере этот процесс является сопутствующим развитию сейсмического режима, а в какой степени он является необходимым для развития сейсмогенеза.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ

В.В. Ружич, Е.А. Левина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Ruzhich@crust.irk.ru



Представлены результаты многолетних сейсмопрогностических исследований, касающихся создания подхода для средне-долгосрочного прогноза землетрясений применительно к особенностям геодинамического развития Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). С позиций сейсмогеологии БРЗ рассматривается как сложноустроенная зона мегаразлома в литосфере Центральной Азии, длительное формирование которой сопровождается сейсмическими явлениями, включая и сильные землетрясения с $M \geq 7.5$. Авторская версия сейсмопрогностического подхода основывается на созданной и постоянно совершенствуемой ГИС-системе, которая позволяет на основе анализа каталога землетрясений изучать режимы подготовки землетрясений и на их основе выявлять признаки готовящихся событий с учетом параметров: места, энергии и времени. Дополнительно к этому, используются также возможности разработанной ГИС-системы и для мониторинга сейсмических режимов в сопредельных сейсмоопасных регионах и в целом для Земли. Получаемые сведения среднесрочного прогноза передавались ежеквартально в штаб ГУ МЧС Иркутской области в виде сводок и карт. Согласно данным, указанным на картах прогноза, начиная с 1995 г. наиболее удовлетворительные результаты получены при выявлении потенциально опасных мест подготовки землетрясений с $M=6.0-7.5$, где значения вероятности составили порядка 0.7. В определении энергии произошедших в БРЗ толчков с $M=5.5-6.3$ отклонения ожидаемых сейсмических событий составили $\pm 0.75 M$. Время реализации ожидаемых событий определялось как некая вероятность их реализации в период ожидания: в ближайший год, в очередной квартал с учетом требований представителей органов МЧС. При выявлении признаков про-

гнозируемого ухудшения сейсмической ситуации на юге Иркутской области в органы МЧС отправлялись соответствующие предупреждения. По мнению авторов, результаты проведенных исследований в рамках среднесрочного сейсмопрогноза можно оценить как удовлетворительные.

Одна из главных проблем в совершенствовании прогноза связана с недостатком информации, т.е. ограничениями по оперативности и детальности получаемых сейсмологических сведений, например по изменениям глубин гипоцентров на стадии подготовки сильных толчков. Подобное, характерное для России, состояние в наибольшей степени обусловлено недостаточным финансированием и соответственно низкой технической оснащенностью сейсмологических служб. Другой существенной причиной является практически полное отсутствие важной геофизической информации об изменениях физико-механических параметров глубинных процессов в очагах землетрясений на стадии подготовки. В итоге, имея в настоящее время лишь ограниченные сейсмологические сведения и при отсутствии возможности расширенного геофизического мониторинга подготовки финальной стадии землетрясений в их очагах, практически невозможно добиться хороших результатов в их прогнозе. Заметим, что достижения в прогнозе землетрясений могут быть важным, но лишь промежуточным звеном на пути решения проблем по обеспечению сеймобезопасности. Целесообразно конечной целью считать создание технологий для контроля и управления подготовкой горных ударов и землетрясений с помощью комплексных техногенных воздействий.

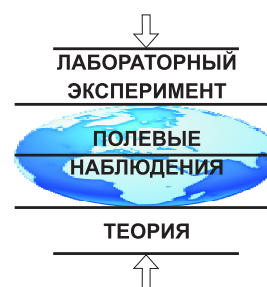
Исследования проводились при частичной финансовой поддержке по интеграционным проектам СО РАН № 100, 23.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

Д.В. Салко, С.А. Борняков, В.В. Ружич

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

bornyak@crust.irk.ru



Проведение исследований по разработке прогноза процесса сейсмогенного разрушения горных пород на разных масштабных уровнях невозможно без инструментального мониторинга комплекса предвестниковых параметров в режиме реального времени. Организация такого мониторинга, как правило, сопряжена с рядом технических проблем, и основная из них заключается в наличии регистраторов, снимающих показания с датчиков и передающих полученную информацию в режиме on-line на базовый сервер. Более двух десятков лет мониторинговые работы на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне проводились с использованием регистратора «Сдвиг» и его модификаций [1]. В последние годы разработан и апробирован регистратор нового поколения с аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) (рисунок).

Регистратор имеет компактные размеры, малую

энергоёмкость, систему сотовой связи для передачи данных. В нем используется шина RS485, на которую можно одновременно подключить до 32 АЦП, каждый из которых, в свою очередь, может иметь один или два аналоговых входа. Важным моментом, с точки зрения мониторинга, является возможность расположения АЦП и датчиков на одном кабеле длиной в несколько сотен метров. Инструментальный комплекс работает по следующей схеме. Показания с датчиков поступают сначала на аналого-цифровой преобразователь, который оцифровывает сигнал в точно заданный момент времени, записывает в буфер и высылает по запросу на прибор-регистратор. Далее серверная часть принимает данные от регистраторов, сохраняет их в базу данных и по запросу передает их на клиентскую программу. Данные по сотовой связи GSM поступают на сервер с задержкой в несколько секунд.



Внешний вид регистратора «Пчелка».

Литература

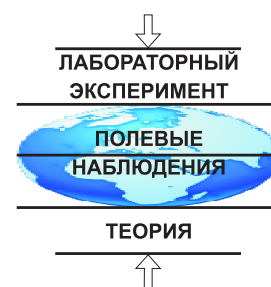
1. Ружич В.В. Высокоточный измерительный комплекс «Сдвиг» // Научный и промышленный потенциал Сибири. Инвестиционные проекты, новые технологии разработки. Международный каталог. Новосибирск: ЗАО «Новосибирский биографический центр», 2004. С. 90–91.

ЭТАПЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕЙСМОПРОЦЕССОВ В ТАДЖИКИСТАНЕ (1963–2013 ГГ.)

Н.Г. Саломов

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии
АН Республики Таджикистан, Душанбе, Республика Таджикистан

seismtadj@rambler.ru



В течение длительного периода времени (с 1963 г. по настоящее время) в Таджикистане наряду с полевыми сейсмогеофизическими наблюдениями проводятся лабораторные исследования по моделированию процессов деформации и разрушения геосреды в связи с сейсмическими явлениями. В настоящем докладе приводятся наиболее важные результаты этих работ.

Первый этап (1963–1970 гг.): лабораторные эксперименты по деформации и разрушению модельных образцов проводились в условиях возрастающей разрушающей нагрузки с большими скоростями деформации ($\epsilon=10^{-6}-10^{-3} \text{ с}^{-1}$), которые значительно превышают скорости деформации земной коры в естественных условиях. В этих опытах выявлено, что на процесс образования микротрещин (микроземлетрясений) и подготовки главного разрыва (крупные землетрясения) в геосреде в большей степени влияет скорость деформации, а также степень неоднородности, прочность и другие упруго-пластические свойства материала. Второй этап (1971–1980 гг.): опыты проводились при постоянной разрушающей нагрузке на образец (80–90 % от предельной), при которой достигались меньшие скорости деформации ($\epsilon=10^{-9}-10^{-8} \text{ с}^{-1}$), близкие к скоростям деформаций в земной коре ($\epsilon=10^{-13}-10^{-11} \text{ с}^{-1}$) в сейсмоактивных зонах. Здесь выявлено, что процесс деформирования и разрушения модельных образцов является процессом квазивязкого те-

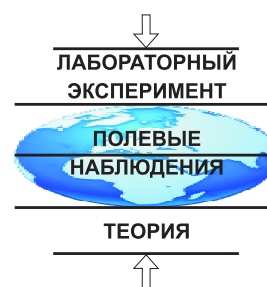
чения (пластические деформации) с постоянной скоростью и полное разрушение материала (главный разрыв) происходит на фоне «сейсмического затишья» (отсутствия сейсмоакустических импульсов). Аналогичные явления обнаружены при землетрясениях и горных ударах в естественных условиях. Третий этап (1981–1990 гг.): в опытах с постоянной нагрузкой впервые (в экспериментах по моделированию сейсмопроцессов) обнаружено явление скачкообразности пластических деформаций как кристаллических, так и аморфных твердых тел, причина которого – влияние внешних механических воздействий на процесс деформирования. Четвертый этап (1991–2000 гг.): с помощью разработанной высокочувствительной аппаратуры и соответствующей методики исследованы зависимости скорости пластических деформаций и процесса трещинообразования в геосреде от частоты, амплитуды (мощности) и длительности времени воздействия внешних механических колебаний. Получено, что основным регулирующим фактором в этих процессах является частота (спектр) воздействующих механических колебаний. Пятый этап (2001–2013 гг.): в лабораторных условиях обнаружено явление аномального изменения скорости пластических деформаций напряженной модели геосреды перед сильными близкими и удаленными коровыми, а также глубокофокусными Памиро-Гиндукушскими землетрясениями в Таджикистане.

МЕХАНИЗМ ПРИЛИВНЫХ ЭФФЕКТОВ В СЕЙСМИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ АМПЛИТУДНО-ЗАВИСИМОЙ ДИССИПАЦИИ

В.А. Салтыков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия

salt@emsd.ru



Модель амплитудно-зависимого поглощения была предложена ранее для объяснения приливных эффектов в сейсмической эмиссии [1]. Основываясь на иерархическом самоподобии сейсмического процесса, можно использовать эту же модель и для землетрясений. Целью представляемой работы является обнаружение «приливных» изменений измеряемой магнитуды землетрясения M . Предполагалось, что такие вариации можно обнаружить, анализируя разницу магнитуд ΔM , определенную по данным двух сейсмических станций.

Для анализа были выбраны афтершоки сильного землетрясения 21 июня 1996 г. $M_w=6.8$ ($53.88^\circ N$, $159.63^\circ E$), зарегистрированные сейсмическими станциями KRI и SPN на Камчатке. Рассмотрены 150 землетрясений, произошедших в течение одного года. Были обнаружены периодические вариации ΔM с периодом основных приливных волн. Амплитуда этих вариаций достигает $\Delta M = 0.1$. Такие изменения ΔM могут быть вызваны изменением декремента затухания $\theta = 0.0005$. Эта оценка находится в

диапазоне значений $3 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-3}$, полученных для нескольких полевых экспериментов [1].

Приведена оценка кажущегося изменения сейсмического потока при изменении декремента θ на 0.005 в пространственной области размером 70 км (типичный размер очага землетрясения с $M=7$). В этом случае магнитудная ошибка $\Delta M = 0.15 \dots 0.35$ ведет к изменению сейсмического потока в 1.4...2.2 раза (если мы используем каталог с нижним порогом энергии используемых землетрясений). Эта оценка соответствует «приливной» вариации потока землетрясений, обнаруженной в очаговых зонах нескольких сильных камчатских землетрясений [2].

Таким образом, показана возможность внесения «приливных» искажений в энергетические оценки землетрясений. Оценка соответствующего изменения сейсмического потока соответствует эмпирическим данным о приливной модуляции сейсмичности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФФ (проект № 11-05-00303).

Литература

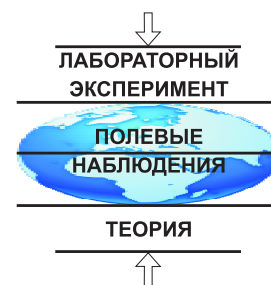
1. Зайцев В.Ю., Салтыков В.А., Матвеев Л.А. О связи приливной модуляции сейсмических шумов с амплитудно-зависимыми потерями в горных породах // Акустический журнал. 2008. Т. 54, № 4. С. 621–628.
2. Салтыков В.А., Иванов В.В. Вариации статистических параметров сейсмичности, связываемых с земными приливами // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2003. № 1. С. 130–134.

О СООТНОШЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ И СЕЙСМИЧНОСТИ В МОНГОЛО-БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

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

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

sankov@crust.irk.ru



В своем исследовании мы исходим из положения о том, что наблюдаемый сейсмический процесс в континентальной литосфере является частью процесса ее тектонического деформирования и деструкции. Современные деформации земной поверхности, измеряемые геодезическими методами, содержат информацию о тектоническом нагружении и релаксации деформаций в результате медленных (пластических) и быстрых (сейсмогенных) процессов. По данным измерений методом GPS-геодезии на юге Сибири и в Монголии на региональном уровне высокие скорости деформаций приурочены к позднекайнозойским подвижным зонам – Байкальской рифтовой системе, сдвиговым зонам Монголии, Алтае-Саянской горной области, характеризующимся стабильно повышенным уровнем сейсмической активности. Пониженные скорости деформаций соответствуют территориям современных тектонических плит – Северо-Евразийской и Амурской, с низкой сейсмической активностью. Внутри подвижных зон выделяются блоки с пониженным уровнем современных деформаций и участки интенсивных деформаций, приуроченные к блоковым ограничениям, часто коррелирующие с зонами повышенной сейсмической активности.

На примере Байкальской впадины показано, что скорость реализации сейсмического момента за инструментальный период составляет первые проценты от скорости накопления геодезического момента. При этом выявлена прямая корреляция между уровнем сейсмической активности и скоростью деформаций удлинения поперек впадины. Долговремен-

ная скорость реализации сейсмического момента, по данным каталога землетрясений с $M \geq 5$ с 1742 г. в пределах ошибки близка к скорости накопления геодезического момента, определенной по данным спутниковой геодезии. Близкие значения скоростей деформации сжатия и ее реализации в виде сильных сейсмических событий прошлого столетия получены нами ранее также для территории Западной Монголии и Алтая. Можно заключить, что на временных отрезках порядка сотен лет в областях как растяжения, так и сжатия континентальных массивов преобладает существенно упругий механизм накопления тектонических деформаций.

Установленный механизм накопления деформаций предполагает возможность возникновения аномалий современных движений в областях подготовки сильных землетрясений. В Байкальском рифте аномалии вертикальных движений отмечены перед двумя событиями – Южно-Байкальским 1999 г. ($M=6.0$) и Култукским 2008 г. ($M=6.3$). По данным Б.Т. Мазурова, на Алтае такая аномалия предшествовала Чуйскому землетрясению 2003 г. ($M=7.5$).

Таким образом, развитие измерений современных движений в Монголо-Сибирском регионе на базе применения спутниковой геодезии открывает определенные перспективы по оценке текущей сейсмической опасности отдельных крупных сейсмогенных структур, а также по определению возможных зон подготовки сильных землетрясений.

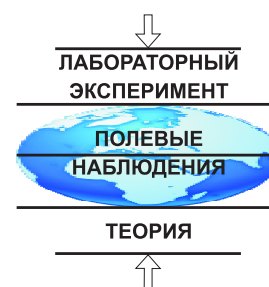
Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (№ 12-05-98035-р_сибирь_а, 13-05-01097-а) и проекта ОНЗ РАН № 4.1.

РАДОНОВАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗЛОМНЫХ ЗОН И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛО-МОНГОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

К.Ж. Семинский, А.А. Бобров

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

seminsky@crust.irk.ru



Целью проведенного исследования была оценка возможности использования радоновой активности зон разломов для прогноза землетрясений в Байкало-Монгольском регионе на основе изучения ее пространственной и временной изменчивости под влиянием внутренних (геодинамических) и внешних (планетарных) факторов. В процессе работ проанализированы результаты мониторинговых наблюдений (два пункта) и профильной эманационной съемки, проведенной для десятков разноранговых дизъюнктивных структур: от Байкальского рифта в целом до локальных разломов в Западном Прибайкалье и Центральной Монголии.

Установлен сложный, неравномерный в пространственно-временном отношении характер аномалий почвенного радона, связанных с активными разломными зонами земной коры. Пространственная неравномерность определяется неоднородной структурой зоны влияния разлома, причем его сместитель, как правило, маркируется минимумом, а крылья – максимумами концентраций почвенного радона. Строение аномалий осложняется воздействием вещественного фактора, увеличивающего или уменьшающего интенсивность эманаций в зависимости от наличия соответственно урансодержащих пород или слабопроницаемых осадков и продуктов выветривания. Временная неравномерность эманаций определяется изменениями напряженного состояния массива горных пород вследствие вариаций тектонической активности разлома и атмосферного давления, отражающего роль внешних факторов.

Сопоставление данных мониторинга метеопараметров и эманаций радона в зоне рифтообразующего Приморского сброса с вариациями сейсмической активности в Прибайкалье позволило наметить два иерархических уровня взаимосвязей, перспективных для разработки в плане организации прогностических исследований в Байкало-Монголь-

ском регионе. Первый уровень имеет отношение к среднесрочному прогнозу, поскольку свидетельствует, как и в некоторых других регионах мира, о нарушении синхронности изменений атмосферного давления и концентраций почвенного радона на достаточно большой территории в течение нескольких недель перед сильным землетрясением. Второй уровень включает наличие краткосрочных (сутки) спадов и восстановлений эманационной активности разлома, приуроченных к периодам повышения уровня сейсмичности в районе расположения мониторинговой станции.

Установленные пространственно-временные особенности поля радона в разломных зонах земной коры свидетельствуют о вполне определенных перспективах эманационного подхода к прогнозу землетрясений в Байкало-Монгольском регионе (определение «чувствительных точек» для организации мониторинговых станций – пространственный аспект, отработка эффективной многоуровневой стратегии исследований по выявлению эманационных предвестников – временной аспект). В то же время состояние этих работ в Байкало-Монгольском регионе таково, что не позволяет рассчитывать на получение практического результата в ближайшее время. Продолжительность периода поисковых исследований определяется возможностью организации плотной сети станций мониторинга на полигонах, получением 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.

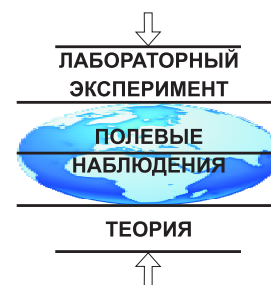
О СЕЙСМИЧЕСКОМ ОТКЛИКЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА БИШКЕКСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ (КИРГИЗИЯ)

В.Б. Смирнов^{1,2}, А.Д. Завьялов²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

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

zavyalov@ifz.ru



Представлены результаты анализа данных сейсмических каталогов за период 1967–2008 гг. на Бишкекском геодинамическом полигоне, проведенного с целью выяснения характера отклика сейсмичности на электромагнитные зондирования земной коры в ходе двух серий натурных экспериментов: 1983–1990 гг. с зондированием импульсами МГД-генераторов и 2000–2005 гг. с зондированием импульсами конденсаторно-тиристорного источника мощных электромагнитных импульсов ЭРГУ 600-2. Исследовались временные вариации набора статистических параметров сейсмического режима, используемых при изучении фонового и переходных режимов сейсмичности. Анализ проведен на двух уровнях детальности: несколько лет – анализ вариаций до, во время и после серий экспериментов и несколько суток – анализ вариаций в течение 10 суток после каждого акта зондирования.

Анализ на масштабе нескольких суток показал следующие результаты: непосредственно в период осуществления актов зондирования наклон графика повторяемости землетрясений существенно выше своего фонового уровня; постепенное уменьшение наклона графика повторяемости после прекращения зондирования длится около полутора суток; сейсмическая активность в период зондирования значительно увеличивается; после зондирования, в период уменьшения наклона графика повторяемости, активность минимальна. Такой характер вариаций сейсмического режима отличается от сценария, вы-

явленного ранее для других переходных сейсмических режимов.

Анализ вариаций сейсмического режима на масштабе первых лет указывает на изменения параметров режима, приходящиеся на интервалы зондирований 1983–1990 и 2000–2005 гг. На этих интервалах наблюдаются некоторые локальные увеличения наклона графика повторяемости, что качественно согласуется с результатом, полученным на масштабе первых суток. Кроме того, на этом масштабе обнаружено изменение других параметров сейсмического режима: смещение барицентра сейсмичности к зондирующему диполю, увеличение размера сейсмогенной области и увеличение фрактальной размерности сейсмичности, что не согласуется с результатами анализа на детальном масштабе. Совпадение времени изменений параметров режима с интервалами зондирований нельзя считать доказательством соответствующей причинно-следственной связи. Вариации, выявленные на масштабе первых лет, могут быть обусловлены и чисто тектоническими причинами, в первую очередь процессами подготовки и последствия относительно сильных землетрясений, произошедших в периоды зондирований.

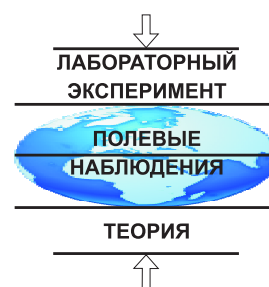
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-12059-офи_м и частично грант 11-05-00135-а), а также гранта государственной поддержки ведущих научных школ России НШ-5583.2012.5 «Физика и прогноз землетрясений».

ВЛИЯНИЕ БОЛЬШИХ ТАЙФУНОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ УДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Г.А. Соболев

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

sobolev@ifz.ru



Исследовано влияние мощных тихоокеанских циклонов на сейсмичность Камчатки, Японии и Филиппин. Используются представительные сейсмологические каталоги этих регионов длительностью в несколько десятков лет. Установлено, что возникающие на западе Тихого океана циклоны в целом не оказывают значимого триггерного эффекта на сейсмичность указанных трех регионов, по крайней мере в краткосрочном аспекте – в течение нескольких недель. Генерируемые тайфунами сейсмические колебания, которые могли бы рассматриваться как триггеры, не превышают по амплитуде колебания от многочисленных местных землетрясений умеренной магнитуды $\sim 4-5$ и удаленных более сильных землетрясений. Исследована реакция землетрясений Камчатки с минимальным представительным энергетическим классом $K \geq 8.5$ на 214 сильных землетрясений мира с магнитудами $M \geq 7.5$ и на 40 земле-

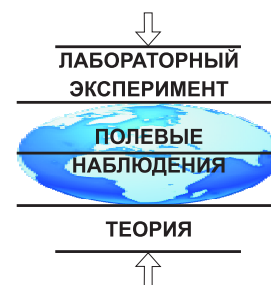
трясений с магнитудами $M \geq 8$. Интервал анализа охватывал 1963–2012 гг., и расстояния от очагов сильных землетрясений до центра Камчатской сейсмоактивной зоны изменялись от 600 до 16000 км. Установлено, что удаленные землетрясения вызывают повышение сейсмической активности на Камчатке, по крайней мере, в тех случаях, когда вызванные поверхностными волнами относительные динамические деформации превышали 10^{-6} . Это соответствовало добавочным напряжениям в 10^{-2} МПа, ускорениям свыше 0.1 см/с^2 , периодам поверхностных волн ~ 20 с и длительности воздействия в несколько часов. Отклик на удаленные землетрясения постепенно возрастал в течение нескольких суток. Чувствительность отклика к воздействию удаленных землетрясений менялась со временем, что проявилось на интервалах в несколько десятков лет.

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Г.А. Соболев, Р.А. Лементуева, В.Ф. Лось

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

sobolev@ifz.ru



Лабораторные исследования точечной акустической эмиссии с применением вычислительно-измерительного комплекса Aline-32 позволяют проводить анализ плотности энергии акустических сигналов, наблюдаемых в эксперименте. Целью проведенного анализа явилось изучение изменений максимумов плотности энергии в спектрах акустических сигналов (АС) при длительном нагружении (около суток) образцов доломита и мрамора. Для примера приводится анализ результатов, полученных при суточном нагружении образца доломита. Была применена методика нагружения с применением невзрывной разрушающей смеси. Нагружение производилось линейно со скоростью 12 кг/см^2 в час. Применение Aline-32 позволило при обработке результатов вычислить координаты очагов возникновения АС. Одновременно проводились точечные тензометрические наблюдения за деформационными изменениями в образце. При эксперименте на образце доломита было зарегистрировано 1300 акустических событий. Для спектрального анализа были выбраны 35 наиболее мощных; для 18 из них проведено определение центров излучения по программе А.В. Треусова. С учетом полосы пропускания аппаратуры и резонансной частоты датчиков АС 200 кГц, частотный анализ проводился в диапазоне 30–180 кГц. В данном эксперименте основная энергия АС лежала в диапазонах 40–90 кГц (НЧ – низкочастотная область) и 140–180 кГц (ВЧ – высокочастотная область), причем соотношение энергий в этих диапазонах заметно изменялось в процессе

деформирования и разрушения образца.

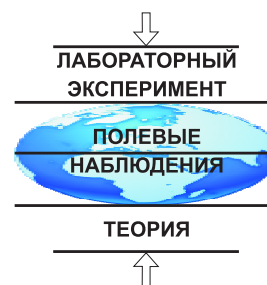
Для изучения динамики изменения спектров АС и установления взаимосвязи с процессом развития механических нарушений был введен коэффициент K_E , равный отношению энергии НЧ области сигнала к энергии в ВЧ области. В спектрах сигналов наблюдается неравномерность плотности выделения энергии с максимумами то в НЧ, то в ВЧ области, что характеризует процесс формирования магистральной трещины. При нагружении образца дефектные структуры перемещаются относительно друг друга, изменяя картину излучаемой энергии в сторону низких частот. Во время многочасового эксперимента изменение стадийности деформационных процессов в образце приводит к миграции центров АС и к изменению распределения плотности энергии в спектрах. Изменения в графиках плотности энергии на различных стадиях нагружения содержат информацию о механизмах и стадиях разрушения при подготовке и возникновении магистральной трещины. Увеличение доли НЧ энергии вызвано укрупнением дефектов с преобладанием сдвигового механизма. Возникновение магистральной трещины характеризуется акустическим сигналом большой амплитуды с практически равными энергиями в НЧ и ВЧ областях спектра. Интерпретация изменения формы акустических сигналов и плотности энергии в их спектрах приводит к выводу о том, что на заключительном этапе происходили отрывы с элементами сдвига, а далее шло объединение дефектов путем сдвига в единую магистральную трещину.

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА

И.И. Степанов, В.И. Степанов

ОАО Александровская опытно-методическая экспедиция Министерства природных ресурсов, Александров, Россия

GEOAOME@mail.ru



Мониторинг с помощью геохимического объемного деформометра (конструкции авторов) деформационного поля поверхностных образований на территории Камчатки позволил установить, что перед всеми ЗМТ, с заметными магнитудами, происходящими на Камчатке, возникает импульсное (длительностью час и более) увеличение деформаций в среднем за 16 ± 10 часов до события.

С 2004 г. такие же измерения продолжились в г. Александрове Владимирской обл., давшие аналогичные результаты. Аномальные усиления деформационного поля наблюдались перед событиями со значительными магнитудами при эпицентральных расстояниях в несколько тысяч километров.

В 2008 г. вместо геохимического объемного была разработана конструкция более совершенного деформометра на физическом принципе, позволившего вести мониторинг деформаций в векторной форме с чувствительностью, намного большей, чем у геохимического объемного деформометра.

Сигналы-предвестники регистрируются не только перед сильными ЗМТ, но часто и перед умеренными и даже слабыми, иногда при очень больших эпицентральных расстояниях.

Одна точка наблюдения гарантирует определение лишь времени события за 16 ± 10 ч. Точность оперативного прогноза близка к 0.9. Для определе-

ния положения эпицентра необходимо располагать сетью точек наблюдения с расстояниями между ними около 1000 км.

Предложена гипотеза формирования ЗМТ, согласно которой ЗМТ происходит не в момент нарушения целостности блоков коры, а после разгона блока по образовавшейся зоне скольжения и резкой его остановки при встрече с очередным препятствием.

Согласно предложенной гипотезе процесс образования зоны скольжения не происходит мгновенно, а занимает более или менее длительное время, сопровождаясь формированием деформационного возмущения – сигнала-предвестника ЗМТ.

Показано, что деформации подвержены суточным циклам не по местному, а по мировому времени. Их максимумы соответствуют положению Солнца в зените над территорией примерно с долготой около 70° в.д.

Изучение распределения числа событий по мировому времени с $M \geq 6$, произошедших за четыре последних года (всего 708 событий), показало, что имеет место статистически значимая неравномерность распределения. Выделяются три интервала с повышенной вероятностью ЗМТ – около 7, 19 и 23 часов мирового времени.

АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПО ДЕФОРМИРОВАНИЮ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

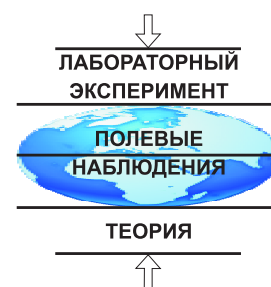
Ю.П. Стефанов¹, А.И. Ахтямова², В.А. Киндюк³

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

² Томский государственный университет, Томск, Россия

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

stefanov@ispms.tsc.ru



Современные методы численного моделирования позволяют использовать достаточно сложные математические модели описания поведения горных пород под нагрузкой. Применение таких моделей часто наталкивается на проблему определения необходимых для проведения расчета параметров. Проведение специальных экспериментов для их определения не всегда возможно. Однако дополнительный анализ экспериментальных данных, выполненный в рамках стандартных методик, может позволить определить многие из необходимых дополнительных параметров.

В последние годы наибольшее распространение получили модели с неассоциированным законом течения. Применение такого закона позволяет рассматривать коэффициент дилатансии, описывающий объемную деформацию, в виде независимого параметра. Результаты экспериментальных измерений показывают, что данный параметр зависит от

давления и может меняться в процессе деформирования. Также в ходе процесса меняются прочностные характеристики, которые описывают поверхность предельного состояния. Таким образом, для полноценного описания поведения геоматериалов, наряду с начальными значениями прочностных параметров и коэффициента дилатансии, необходимо определение закономерностей их изменения в ходе деформирования.

В работе выполнен анализ доступных экспериментальных данных и построены графики зависимости коэффициента дилатансии от давления и накопленной деформации для образцов песчаника разной пористости. Рассмотрено влияние давления на характер деформации и эффективную прочность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00661-а) и Интеграционного проекта СО РАН № 89.

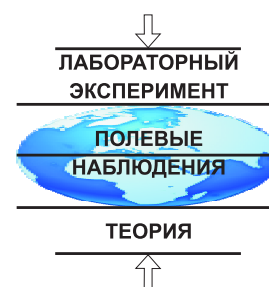
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭТАПОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СДВИГА

Ю.П. Стефанов¹, Р.А. Бакеев¹, В.А. Конторович², Б.В. Лунев²

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

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

stefanov@ispms.tsc.ru



В работе представлены результаты численного исследования формирования нарушений в осадочном слое при разрывном сдвиге основания. Предполагалось, что слой упругохрупкопластической среды находится под действием силы тяжести и лежит на двух жестких блоках. Горизонтальное смещение блоков в противоположных направлениях обеспечивает на начальных этапах деформирования условия, подобные антиплоскому сдвигу. По мере развития деформации, от разреза в основании, формируются зоны локализации деформации, называемые цветковыми структурами нарушений. Численное моделирование процесса деформации и исследование строения таких зон возможны лишь в 3D постановке.

Рассмотрены особенности строения зон локализации деформации на разных этапах развития, от зарождения нарушений вблизи разреза в основании до их выхода на поверхность и соединения отдельных участков в линию разлома. Проведенные расчеты показали, что в условиях разрывного горизон-

тального сдвига основания возможно формирование двух принципиально различных структур. В первом типе основными являются наклонные поверхности Риделя, ориентированные под небольшим углом в горизонтальной плоскости в узкой зоне оперяющих структур. Второй тип имеет более сложное пространственное строение, состоит из наклонных поверхностей нарушений, ориентированных под углом $\sim 40^\circ$ в горизонтальной плоскости по отношению к оси сдвига. Отмечен факт парного, подобного створкам устрицы, образования данных полос. После их выхода на свободную поверхность сверху формируется магистральный разрыв с хорошо выраженными оперяющими зонами разной ориентации. Возможно формирование двух равноценных систем нарушений по разные стороны от оси сдвига и их последующее слияние в два магистральных разрыва.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00661-а) и Интеграционного проекта СО РАН № 127.

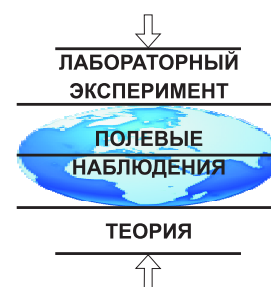
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА РОСТ ТРЕЩИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

Ю.П. Стефанов¹, В.В. Ревердатто², О.П. Полянский²

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

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

stefanov@ispms.tsc.ru



Выполнено исследование развития трещин под действием давления заполняющей их магмы. Рассмотрено влияние свойств среды на режимы развития деформации и возможные механизмы роста трещин в зависимости от глубины. Выполнен анализ условий нагружения и прочностных свойств, при которых возможно развитие трещин отрыва и сдвига. Показано влияние параметров модели на характер разрушения и развития трещин. Получены оценки максимальной глубины, когда возможно существование трещин отрыва при растяжении коры, в зависимости от прочности среды. Показано, что растяжение коры не может играть существенную роль в росте трещин отрыва на больших глубинах.

Результаты расчетов показали, что характер разрушения и возможность ветвления трещины зависят от начального напряженного состояния, а также упругих и прочностных свойств среды.

Описание процесса деформации за пределом

упругости осуществлялось в рамках модифицированной модели Друккера-Прагера-Николаевского с неассоциированным законом течения и параметрами, зависящими от давления и накопленной неупругой деформации. В ходе неупругой, пластической деформации происходит накопление повреждений. С ростом поврежденности материала происходит снижение прочности, а раскрытие трещин происходит под действием растягивающих напряжений. Разрушение среды и распространение трещин описывалось явным образом с выделением новых поверхностей при помощи разделения узлов расчетной сетки и неявным – через деградацию свойств в разрушенных ячейках. Моделирование процессов деформации осуществлялось путем численного решения уравнений динамики упругопластической среды по явной численной схеме.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 12.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОРНЕЙ

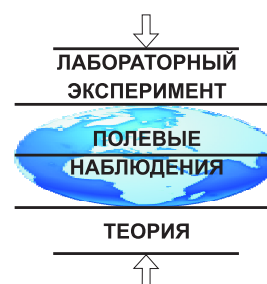
В.Д. Суворов¹, Ю.П. Стефанов², Е.В. Павлов¹,
В.А. Кочнев³, Е.А. Мельник¹

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

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

³ Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

suvorovvd@ipgg.sbras.ru



В рамках упругохрупкопластической постановки рассмотрено напряженно-деформированное состояние вертикального сечения земной коры до глубины 90 км по профилю Тарим-Алтай. Исследовано влияние прочностных свойств и структуры разреза коры на формирование зон пластической деформации, рельеф дневной поверхности и границу Мохо под действием гравитационных сил и горизонтального сжатия. Рассмотрена приуроченность зон локализации деформации к особенностям рельефа и границы Мохо. Моделирование процесса деформации осуществлялось в двумерной постановке для условий плоской деформации. Расчеты проводились с использованием модифицированной модели Друккера-Прагера-Николаевского.

Двухслойный разрез земной коры и упругие модули заданы из средних скоростных характеристик, согласованных с плотностью, полученной при учете изостатической уравновешенности коры на уровне Мохо и гравитационных аномалий Буге. Результаты расчетов показывают, что под действием гравитации на развитие упругопластических деформаций в верхней коре существенное влияние оказывают горы, прочность верхнего слоя коры и присутствие ослабленных областей в нижней коре. Развитие более контрастного, чем высота гор, про-

гиба Мохо под ними также обусловлено областью пониженной прочности в нижней коре и в верхах мантии. Получено, что ширина таких областей примерно соответствует областям горного рельефа, в районе Алтая она более широкая, чем под Тянь-Шанем. Изучено влияние изменения прочности с глубиной на упругопластическую деформацию и образование зон ее локализации, формирующих изменяющийся рельеф дневной поверхности, внутренней границы и Мохо.

Под действием силы тяжести происходит погружение, в первую очередь, наиболее высоких горных участков Тянь-Шаня, а у подножий часто образуются зоны локализованного сдвига. Для обеспечения роста гор необходимо горизонтальное сжатие, причем подъем горных участков с образованием вершин относительно межгорных впадин наблюдается при повышенной прочности верхней коры и наличии ослабленных участков в ее нижней части. В условиях горизонтального сжатия существование межгорных впадин (Джунгария и Тарим) обеспечивается достаточно высокопрочной нижней корой под ними. Корни гор, выраженные контрастным прогибом Мохо, развиваются в условиях податливой, пластичной мантии.

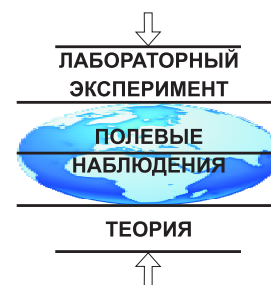
О ВАРИАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ПЕРИОД ЗОНДИРОВАНИЙ КОРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ОДНОПОЛЯРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА

В.Н. Сычев¹, Л.М. Богомолов², Н.А. Сычева¹

¹ Научная станция РАН, Бишкек, Кыргызстан

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

sychov@imgg.ru



Изложены результаты исследований суточных распределений числа землетрясений, произошедших на территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань) в 2000–2005 гг. в период проведения экспериментальных электромагнитных зондирований с применением мощного источника – электроразведочного генераторного устройства, заменившего геофизические МГД-генераторы. Зондирования в экспериментальном режиме выделяются среди обычных, используемых для мониторинга кажущегося сопротивления, повышенным значением длительности импульсов и их энергии. Данные о сейсмичности Северного Тянь-Шаня в 2000–2005 гг., полученные с помощью телеметрической сети KNET, являются кондиционными для продолжения исследования вопроса о влиянии мощных электромагнитных импульсов на вариации сейсмичности, внимание к которому было привлечено

результатами работ, посвященных электровоздействиям при «МГД-пусках» (библиография в [1]). В докладе, как и в наших предыдущих работах [1, 2], анализируется взаимосвязь между вариациями сейсмичности (оцениваемыми по суточному числу событий) и экспериментальными зондированиями земной коры импульсами тока от обычного источника. Расширены и несколько дополнены результаты [2, 3] о кратковременном (несколько суток) приросте слабой сейсмичности после экспериментальных зондирований. Рассмотрены особенности пространственно-временных распределений сейсмичности при формировании отклика среды на воздействие электромагнитных импульсов. Обсуждается фактор предыстории в связи с откликами среды на электроимпульсные воздействия (роль длительного облучения в обычном режиме).

Литература

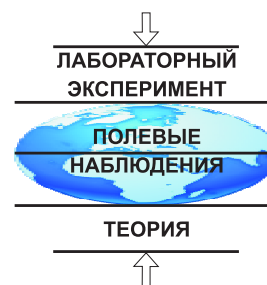
1. Богомолов Л.М., Закупин А.С., Сычев В.Н. Электровоздействия на земную кору и вариации слабой сейсмичности. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 410 с.
2. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Рыбин А.К., Сычева Н.А. Влияние электромагнитных зондирований земной коры на сейсмический режим территории Бишкекского геодинамического полигона // Триггерные эффекты в геосистемах / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2010. С. 316–325.
3. Смирнов В.Б., Завьялов А.Д. К вопросу о сейсмическом отклике на электромагнитное зондирование литосферы Земли // Физика Земли. 2012. № 7–8. С. 63–88.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЮГА ОСТРОВА САХАЛИН

А.С. Сычев, А.В. Коновалов

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

sychov@imgg.ru, konovalov@imgg.ru



Разрушительное Невельское землетрясение 02.08.2007 г. ($M_L=6.2$), произошедшее на юге о. Сахалин, предварялось Горнозаводским землетрясением 17.08.2006 г. ($M_L=5.6$). Данные события приурочены к Западно-Сахалинскому разлому. В пределах указанной сейсмогенной зоны произошло Чаплановское землетрясение 13.09.2009 г. ($M_L=4.5$). Особый интерес представляет изучение величины сброшенного напряжения в афтершоковых последовательностях указанных событий, отражающих переходной режим сейсмического процесса.

С помощью пакета вычислительных программ SEISAN [1] было обработано большое количество цифровых записей. Сформированная единая база данных, которая используется в дальнейшем для расчета динамических характеристик очага, насчитывает приблизительно 1200 сейсмических событий, локализованных по трем и более станциям.

Ранее, при калибровке локальной магнитуды M_L для юга о. Сахалин, было выявлено систематическое завышение амплитуд для некоторых пунктов наблюдений [3]. Данный эффект проявлялся как в высокочастотной части спектра (1–20 Гц), так и в диапазоне 0.25–1.00 Гц при расчете среднего уровня спектров смещений и, видимо, является следствием резонансных явлений в осадочных породах под станциями, толщина которых по некоторым данным достигает 0.5 км. Учет резонансных явлений в аналитическом виде требует детальных знаний о глубинном строении верхней коры в районе станции. Однако такие исследования не проводились, поэтому пункты, в которых происходило существенное

искажение спектров из-за резонансных явлений, были исключены из расчетов локальной магнитуды и других динамических характеристик очага. В качестве опорных пунктов было отобрано четыре станции, цифровые записи которых использовались в расчетах.

К настоящему времени выполнено следующее:

1. Уточнена функция добротности среды от частоты для юга о. Сахалин по коде сейсмических волн: $Q_c(f) = 60.0 \cdot f^{0.8}$. Рабочий диапазон частот составляет от 0.25 до 20 Гц.

2. Определены поправочные коэффициенты для поглощения под пунктами наблюдений. Параметр k для четырех опорных станций составляет от 0.025 до 0.055, что является близким к оценкам в [2].

3. Выполнено массовое определение скалярного сейсмического момента, размера очага и сброшенного напряжения для афтершоков Горнозаводского 2006 г., Невельского 2007 г. и Чаплановского 2009 г. землетрясений, произошедших на юге о. Сахалин. Динамические характеристики очагов определены по спектрам SH -волн с поправкой на поглощение, станционные условия и геометрическое расхождение.

В докладе будут проанализированы средние значения сброшенных напряжений для трех афтершоковых последовательностей землетрясений, отражающие развитие сейсмического процесса на стадиях подготовки очага, его реализации и дальнейшей постсейсмической релаксации напряжений.

Литература

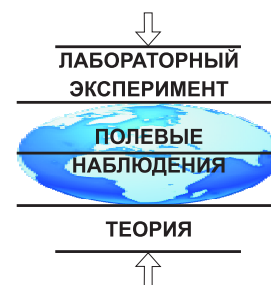
1. Коновалов А.В., Степнов А.А., Патрикеев В.Н. Организация автоматизированного рабочего места сейсмолога с использованием пакета сейсмологических программ SEISAN // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 4. С. 34–49.
2. Коновалов А.В., Сычев А.С., Соловьев В.Н. Массовые оценки скалярных сейсмических моментов очагов слабых землетрясений на юге о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30, № 3. С. 66–75.
3. Сычев А.С., Коновалов А.В. Калибровочные параметры локальной магнитудной шкалы для южной части острова Сахалин // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Апатиты. 15–19 августа 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 325–330.

ВЛИЯНИЕ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.Т. Тарасов

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

tarasov@ifz.ru



Изучены пространственно-временные изменения V_p/V_s – отношения скоростей продольных и поперечных волн в пределах двух наиболее сейсмоактивных областей Средней Азии – Гармского района Таджикистана и Северного Тянь-Шаня после облучения их коры мощными электромагнитными импульсами (ЭИ) магнитогидродинамических генераторов, применявшихся в качестве источников при проведении глубинного электрического зондирования. Этот параметр однозначно связан с коэффициентом Пуассона, характеризующим способность горных пород к поперечному деформированию. Показано, что после облучения средние значения V_p/V_s несколько увеличиваются в обеих рассматриваемых областях. При этом такое повышение очень незначительно ($\sim 0.15\%$) и его статистическая значимость мала. Более интересным оказалось поведение дисперсии этого параметра. После облучения коры ЭИ значения дисперсии заметно уменьшались как в Гармском районе, так и на Северном Тянь-Шане, причем статистическая значимость такого понижения составляла в этих областях соответственно 0.0014 и 0.0028, т.е. наблюдаемые изменения высокозначимы. Однако изменение дисперсии V_p/V_s может быть связано как с изменением физических свойств коры, так и с пространственной локализацией землетрясений в пределах структур с близкими значениями V_p/V_s . Чтобы проверить это, кора

Гармского района была разбита на трехмерные блоки размером $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ км. По землетрясениям, возникшим в пределах каждого из них до и после облучения коры, были вычислены значения среднеквадратичных отклонений V_p/V_s (σ_b и σ_a , соответственно). В результате их сопоставления методом наименьших квадратов была получена зависимость

$$\sigma_a = (0.869 \pm 0.040) \cdot \sigma_b + (0.003 \pm 0.004),$$

из которой следует, что уменьшение среднеквадратичных отклонений V_p/V_s после облучения коры наблюдается во всех блоках и составляет $\Delta\sigma = -(13.1 \pm 4.0)\%$. То же можно сказать и об области Северного Тянь-Шаня, хотя аналогичная оценка здесь заметно ниже $\Delta\sigma = -(4.3 \pm 2.7)\%$. Следовательно, причиной уменьшения дисперсии V_p/V_s является изменение физических свойств коры, приводящее к уменьшению числа землетрясений, по записям которых определялись аномально низкие значения V_p/V_s . Такие землетрясения могут возникать в областях консолидации или дилатансионного упрочнения коры. Это позволяет предположить, что воздействие ЭИ приводит к повышению пластичности горных пород в областях их повышенной прочности, вызывая тем самым дополнительную релаксацию упругих напряжений.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

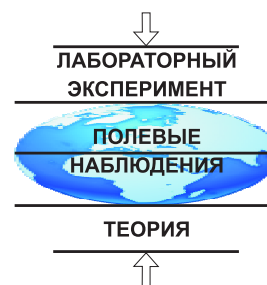
Н.Т. Тарасов¹, Н.В. Тарасова¹, Ф.Т. Фроунд^{2,3}

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

² Исследовательский центр НАСА, Моффетт филд, США

³ Государственный университет Сан-Хосе, Сан-Хосе, США

tarasov@ifz.ru



В предыдущих работах авторами было показано, что облучение земной коры мощными электромагнитными импульсами (ЭИ) вызывает заметную активизацию слабой сейсмичности. Триггерное воздействие ЭИ может быть обусловлено резким повышением электропроводности горных пород, связанным с присутствием в их составе одновалентного кислорода, образующего непрочные пероксидные связи О-О. Вблизи от источника, где при облучении возникают сильные электромагнитные поля, эти связи могут разрушаться. В результате появляется большое количество подвижных носителей положительных зарядов и возникает дырочная проводимость горных пород, которая позволяет им распространяться на большие расстояния. Для проверки этой гипотезы изучены пространственно-временные изменения сейсмичности после сеансов глубинного электрического зондирования коры, проводившихся в 2006–2012 гг. Научной станцией РАН недалеко от Бишкека. Показано, что после облучения заметная активизация сейсмичности возникает на расстояниях 52–420 км. В пределах этой области выделяется ряд землетрясений, у которых расстояние до излучающего диполя R закономерно увеличивается со временем t , прошедшим с момента облучения коры. По их совокупности была получена аппроксимирующая зависимость:

$$\lg R = (0.548 \pm 0.054) \cdot \lg t + (3.625 \pm 0.032). \quad (1)$$

При этом коэффициент корреляции достигал 0.958, а уровень значимости такой корреляции был равен 0.002. Это позволяет сделать уверенный вывод о том, что величины t и R коррелированы друг с другом. Следовательно, возникновение этих землетрясений связано с триггерным воздействием ЭИ. Соотношение (1) можно переписать как

$$R(t) = 10^{3.62} \cdot t^{0.548}. \quad (2)$$

По своему виду (2) очень близко к соотношениям, описывающим движение диффузионного фронта в зависимости от времени. Из него легко получить выражение для мгновенной скорости распространения зарядов:

$$v(t) = 10^{3.62} \cdot 0.548 \cdot t^{-0.452}, \quad (3)$$

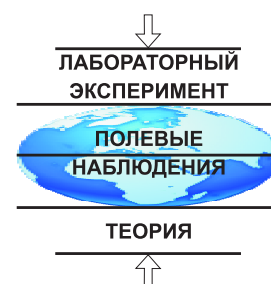
из которого следует, что она уменьшается со временем, что характерно для процесса диффузии. Из (2) и (3) было получено, что в пределах рассматриваемого диапазона расстояний $v(t)$ меняется от 288 м/с до 52 м/с. Это неплохо согласуется с опубликованными ранее результатами лабораторных измерений и теоретическими оценками, которые показывают, что максимальные скорости распространения носителей положительных зарядов должны лежать в пределах 100–300 м/с. Таким образом, предложенное объяснение не противоречит экспериментальным данным.

ПРОЯВЛЕНИЕ ТРИГГЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ВОЗБУЖДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКОВОДНЫХ АНГАРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Т.А. Ташлыкова

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

tta1964@mail.ru



С началом эксплуатации глубоководных ангарских водохранилищ в энергетических целях в геосистеме Средней Ангары БФ ГС СО РАН стали регистрироваться десятки локальных землетрясений с $K \geq 8-11$. Среди них выделяются несколько попарно произошедших сейсмособытий в районе плотин Братского и Усть-Илимского гидроузлов, возникших как наведенные от стремительных разновариантных комбинаций изменения гидродинамических показателей при интенсивной эксплуатации водохранилищ (сейсмособытия межсезоний 1978 и 2000 гг., а также конца июня 1979 г.).

В данной работе исследуется геологический процесс, относящийся к разряду опасных, развивающийся локально в геосистеме Средней Ангары в результате эксплуатации глубоководных водохранилищ в энергетических целях.

В ходе исследований выяснено, что имеющая место практика их эксплуатации с применением условий экстремальной сработки уровня на фоне резкого увеличения сбросных расходов гидроузлов, а также неравномерный высокоамплитудный характер работы ГЭС создают в верхней части земной коры устойчиво нарастающее напряженно-деформированное состояние. Такие вариации интенсив-

ного характера эксплуатации водохранилищ в отдельных случаях вызывают вынужденную подвижку тектонических блоков техногенного слоя земной коры, в результате чего в крупных тектонических разломах кристаллического ложа водохранилищ начинают формироваться и проявляться триггерные эффекты, способствующие оживлению сейсмического процесса в виде наведенных землетрясений.

В ходе исследований установлено, что ускоренная/залповая сработка больших объемов водных масс из ангарских глубоководных водохранилищ в экономических целях экологически крайне опасна, поскольку создает благоприятные условия для инициации вынужденных блоковых смещений в верхнем слое земной коры, ведущих к разбалансировке внутренних связей в геологической среде, и проявления сейсмичности.

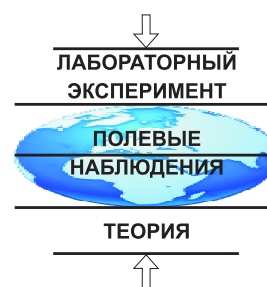
Таким образом, прогнозирование наведенных землетрясений локального уровня в геосистеме Средней Ангары следует связывать с применяемыми режимами гидродинамических нагрузок экстремального характера при эксплуатации глубоководных Братского и Усть-Илимского водохранилищ в энергетических целях.

АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НАКАНУНЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Н.Б. Узбеков, О.М. Белослюдцев

Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

nursarsen@inbox.ru



Приведены результаты исследования связи вариаций модуля полного вектора геомагнитного поля и его компонент с сейсмичностью Северного Тянь-Шаня за период 1982–2012 гг. в соответствии с принятым делением по времени возникновения предвестников землетрясений на краткосрочные (от нескольких суток до одного месяца) и долгосрочные (от нескольких месяцев до нескольких лет).

Краткосрочные локальные геомагнитные аномалии. Поиск локальных изменений с помощью «разностной обработки» во временных рядах ΔT не позволил обнаружить локальные аномалии в вариациях ΔT с длительностью до одного месяца, которые можно было бы уверенно связать с процессами подготовки какого-либо конкретного землетрясения в пределах АПП. В работе рассмотрены возможные причины такой «неудачи» и предложены новые методы анализа и интерпретации данных ГПМ.

Долгосрочные локальные аномалии в вариациях геомагнитного поля. Анализ материалов показал, что на АПП существуют три вида долгосрочных вариаций:

1. Вариации ΔT с периодом около года (годовые) и полной амплитудой до 2–3 нТл. Наблюдаются в разностных среднемесячных значениях между станциями, разнесенными в меридиональном направлении. Корреляция между параметрами сейсмично-

сти и характером этих типов вариации T и ΔT на данном этапе анализа не установлена.

2. Вариации ΔT с периодом более года. Общим для района является монотонное убывание (до 1987–1988 гг.) и увеличение (после 1989–1990 гг.) абсолютных значений магнитного поля (T) со средней скоростью порядка от 10–15 до 20–30 нТл/год, которое представляет собой вековой ход. Скорость трендов ΔT неодинакова для различных пар станций в одни и те же годы, и они также изменяются от года к году. Изучена их связь с сейсмичностью АПП.

3. Аномальные вариации передаточных функций магнитного поля. Обработаны и проанализированы многолетние материалы, полученные на трехкомпонентных магнитовариационных станциях АПП. Выделены аномальные изменения передаточной функции перед сильными землетрясениями на АПП.

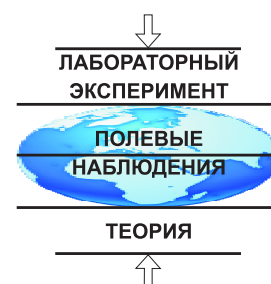
В настоящее время геомагнитный метод на АПП получил всестороннее развитие, что в конечном итоге позволило выйти на качественно новый уровень интерпретации геомагнитных данных. Однако многие методические вопросы, связанные с прогнозированием землетрясений, нуждаются в дальнейшей разработке.

ВАРИАЦИИ НЕРАВНОМЕРНОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЭФФЕКТ ТРИГГИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЛАНЕТЫ

В.И. Уткин, А.К. Юрков, И.А. Козлова

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

voutkin@mail.ru



На основании данных каталогов NEIC и IERS рассмотрены связи между неравномерностью скорости вращения Земли и общей сейсмичностью планеты, проявляющейся в количестве землетрясений за единицу времени. Показано, что сейсмичность Земли увеличивается как при ускорении, так и при замедлении вращения планеты. Как видно из графика, между изменением направления ускорения скорости вращения Земли (индекс 5) и началом процесса тектонического землетрясения (индекс 3) может проходить более двух суток, что дает возможность организации краткосрочного прогноза тектонического события.

Резкие изменения направления ускорения вращения (индекс 1) планеты (первая производная скорости вращения) всегда предшествуют увеличению общей сейсмичности планеты (индекс 4) и возникновению землетрясений высокой энергии (индекс 3). На рисунке отчетливо фиксируется время между моментом изменения направления ускорения вращения планеты и крупными сейсмическими событиями.

Можно считать, что неравномерность вращения планеты является одним из мощных «триггерных»

факторов, воздействующих на земную кору и приводящих к инициализации землетрясений в различных регионах литосферы, находящихся в напряженном состоянии.

Смена знака ускорения вращения планеты служит общим (для всех землетрясений планеты) краткосрочным предвестником тектонического землетрясения. При этом всем землетрясениям с магнитудой более 6 обязательно предшествует резкое изменение знака ускорения вращения Земли.

В первые 24–36 часов после изменения знака ускорения вращения планеты вероятность землетрясений крайне мала (около 1 %) и последовательно увеличивается до 10–12 % на 3–5-й день после него. Эти данные позволяют сделать вывод о возможности определения момента сейсмического события за 48–120 часов до его наступления. Подготовка землетрясений, генерируемых мощными пространственными массивами, четко отражается на кривой производной скорости вращения Земли.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-5-1018.

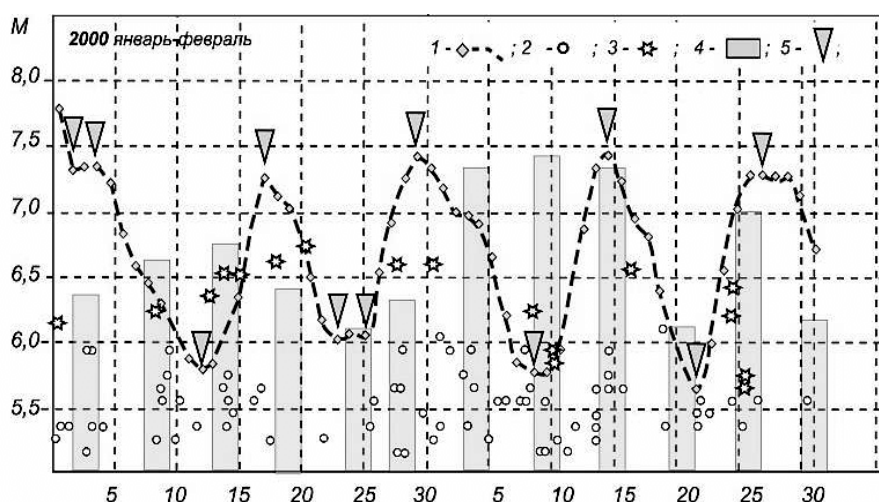


График вариаций ускорения вращения планеты и проявления крупных сейсмических событий.

МОНИТОРИНГ РАДОНА КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИНДИКАТОР ТЕКТОНИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ

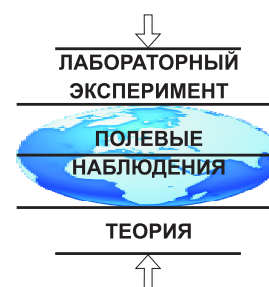
В.И. Уткин¹, Chi-Yu- King², И.А. Козлова¹, А.К. Юрков¹, Р.К. Dutta³

¹ Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Earthquake Prediction Research Inc., Los Altos, CA, USA

³ Department of Electronics & Tele-Communication Engineering, Jadavpur University, Kolkata, W Bengal, India

voutkin@mail.ru



Результаты уникального эксперимента радонового мониторинга, проведенного в 1978–1981 гг. Геологической службой США в районе разлома Сан-Андреас, до сих пор недостаточно изучены. Современное изучение процессов подготовки и реализации тектонических событий позволяет более детально интерпретировать результаты этого эксперимента. Необходимо отметить, что непосредственно сам газ радон, ввиду его малого содержания в почвенном воздухе верхнего слоя земной коры (около 10^{-16} %), не может влиять на поведение горного массива при сжатии–растяжении, но радон, увлекаемый почвенным воздухом, может служить хорошим индикатором изменения состояния газофлюидной составляющей порового заполнения горных пород. Изучение процессов подготовки и реализации землетрясений выполнено на основе анализа данных мониторинга радона (объемной активности радона – ОАР).

В пределахдвигающегося блока земной коры (или литосферы) при торможении отдельных его частей возможно возникновение явления дилатансии и неподвижного центра, находящегося в условиях сжатия и обеспечивающего накопление упругой энергии. В массиве образуются явно выраженные зоны сжатия и растяжения. Дальнейшее разви-

тие образовавшейся при движении структуры (литосферных блоков и плит) идет в двух направлениях. В зоне сжатия напряжение увеличивается до некоторой максимальной величины (минимальное наблюдаемое значение ОАР), сохраняющейся до разрушения структуры. В зоне растяжения свободный газ выделяется и возникает газо-жидкостная смесь в межблочном пространстве. Это может приводить к резкому уменьшению межблочного трения и распаду неподвижной структуры, накопившей в процессе дилатансии достаточное количество упругой энергии. Сброс упругой энергии приводит к землетрясению. Размер зоны дилатансии определяет возможную мощность сейсмического события (ориентировочно по зависимости $R=10^{0.4M}$, где M – магнитуда события) и координаты эпицентра события. После сброса упругого напряжения литосферные блоки получают возможность продолжить свое движение практически в первоначальном направлении. При дальнейшем движении ансамбля блоков возможно повторение описанной ситуации и возникновение очага землетрясения в другой части сейсмогенного района.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проекты № 12-П-5-1018, 12-Т-5-1004 и 12-0-5-1029.

ЭВОЛЮЦИЯ ВО ВРЕМЕНИ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПО ДАННЫМ ПОСТСЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ НА ГИГАНТСКИЕ КУРИЛЬСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2006–2007 ГГ.: 4 ГОДА МОНИТОРИНГА GPS

Д.И. Фролов¹, Н.Ф. Василенко², М.Г. Коган³, Д.Т. Фраймюллер⁴,
Г.М. Стеблов⁵, А.С. Прытков²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

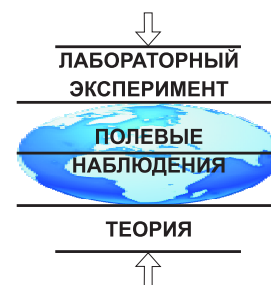
² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

³ Обсерватория Ламонт-Дозрти Колумбийского университета, Палисейдс, США

⁴ Университет штата Аляска, Фэрбенкс, Аляска, США

⁵ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

dm.frolov@mail.ioffe.ru



Непрерывная пластическая деформация земной поверхности наблюдалась при помощи GPS спустя 40 лет после двух гигантских ($M_w \sim 9$) субдукционных землетрясений XX столетия: Чилийского 1960 г. и Аляскинского 1964 г. Этот постсейсмический сигнал был приписан вязкоупругой релаксации в максвелловском мантийном клине с постоянной вязкостью порядка 10^{19} Pa·s. Напротив, постсейсмическая деформация через 3–4 года после землетрясения Денали 2002 г. ($M_w=7.9$) и землетрясения Мани в Тибете 1997 г. ($M_w=7.6$) требует значительно меньшей максвелловской вязкости – порядка 10^{17} – 10^{18} Pa·s.

В данной работе мы анализируем деформацию поверхности после дублета Курильских субдукционных землетрясений 2006–2007 гг. ($M_w > 8$), используя четыре года непрерывных временных рядов GPS, полученных на Курильской сети. Мы разбили

эти ряды на четыре годичных интервала начиная с мая 2007 г., т.е. спустя примерно семь месяцев после землетрясения 2006 г., и оценили оптимальную максвелловскую вязкость по годам, с поправкой за афтерслип и фоновый интерсейсмический сигнал. Мы протестировали три простых варианта поправок за интерсейсмическое движение в этой области. Во всех вариантах поправки за интерсейсмическое движение оптимальная вязкость эволюционирует от 2×10^{17} Pa·s в первом годичном интервале до 1×10^{18} Pa·s в четвертом интервале. Возрастание со временем эффективной максвелловской вязкости астеносферы позволяет предположить, что реальный физический механизм – это дислокационный крип со степенной зависимостью скорости деформации от напряжения.

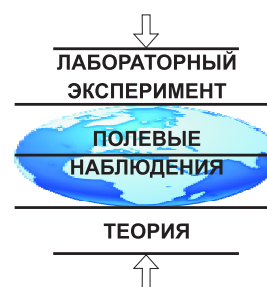
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-00152-а).

ФОРМИРОВАНИЕ СКОЛОВ РИДЕЛЯ ПУТЕМ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТРЕЩИН ОТРЫВА В ГРАНУЛИРОВАННЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ И В ПРИРОДЕ

Н.С. Фролова

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

n.s.frolova@mail.ru



Несмотря на то, что механики изучают разрушение материалов в течение нескольких столетий, проблема зарождения и развития макроразрывов в неоднородной геологической среде до конца не решена. Например, остается открытым вопрос – что первично, трещины отрыва или трещины скалывания? Впервые представление о том, что трещины скалывания формируются путем объединения трещин отрыва, было высказано в работе [1], однако оно было слабо подтверждено экспериментально, к тому же авторы полагали, что такое развитие универсально.

В настоящее время считается, что эквивалентными материалами, подходящими для моделирования верхних частей земной коры, являются гранулированные материалы. В последних хорошо выражен эффект дилатансии. Как происходит формирование трещин скалывания в таком материале, как песок, показали многочисленные эксперименты лаборатории тектонофизики и геотектоники МГУ по воспроизведению простого сдвига. Вначале возникали мелкие трещины отрыва, которые обеспечивали увеличение объема уже в самом начале деформации. Трещины располагались эшелонированно вдоль направления будущих трещин скалывания. По мере увеличения деформации сдвигания, пере-

мычки между трещинами отрыва то в одном, то в другом месте рвались, они объединялись и таким образом формировались более крупные сколы Риделя. В экспериментах с использованием влажной глины (материал, который в начале деформирования обладает «отрицательной дилатансией») трещин отрыва видно не было.

В природе иногда наблюдаются серии трещин отрыва, заполненных кварцем («лестничные жилы»), и эшелонированно расположенных вдоль «недоразвитых» сопряженных систем трещин скалывания. Но наиболее ярким примером, подтверждающим наши представления, могут служить сдвиги, формирующиеся в рыхлых осадках в результате современных землетрясений. Это хорошо показано в работе [2]. На фотографиях отчетливо видно, что сколы Риделя протяженностью в сотни метров состоят из эшелонированных трещин отрыва.

По аналогии с лабораторным и «природным» экспериментом, можно полагать, что формирование сколов в верхних частях земной коры начинается с образования трещин отрыва. При формировании крупных разрывов скалывания резкое разрушение перемычек между этими трещинами может вызвать серию землетрясений.

Литература

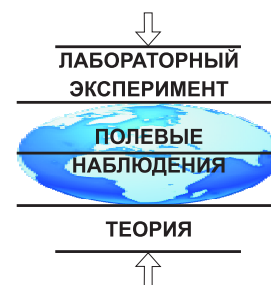
1. Гончаров М.А., Талицкий В.Г. Зарождаются ли «трещины скалывания» путем скалывания? // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1998. № 3. С. 18–22.
2. Rao G., Lin A., Yan B. et al. Co-seismic Riedel shear structures produced by the 2010 M_w 6.9 Yushu earthquake, Central Tibetan Plateau, China // Tectonophysics. 2011. Vol. 507. P. 86–94.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА МАССИВА НА ВЗРЫВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

О.А. Хачай

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

olgakhachay@yandex.ru



Исследование состояния массива с использованием подходов теории динамических систем [1–3] проводилось с целью оценки критериев смены режимов диссипативности для реальных горных массивов, находящихся под сильным техногенным воздействием. Для реализации этого исследования были использованы данные сейсмического каталога Таштагольского подземного рудника за два года – с июня 2006 г. по июнь 2008 г. В качестве данных использованы пространственно-временные координаты всех динамических явлений-откликов массива, произошедших за этот период внутри шахтного поля, а также взрывов, произведенных для отработки массива, и значения зафиксированной сейсмической станцией энергии [3]. Фазовые портреты состояния массивов северного и южного участков построены в координатах $E_v(t)$ и $d(E_v(t))/dt$, t – время, выраженное в долях суток, E_v – выделенная массивом сейсмическая энергия в Дж. В результате анализа выделена характерная морфология фазовых траекторий отклика массива, находящегося локально во времени в устойчивом состоянии: на фазовой плоскости

имеется локальная область в виде клубка переплетенных траекторий и небольшие выбросы от этого клубка, не превышающие по энергии значений 10^5 Дж. В некоторые промежутки времени этот выброс превышает 10^5 Дж, достигая 10^6 и даже 10^9 Дж [3]. Введение дополнительного параметра – скорости распространения медленных деформационных волн – позволило с использованием метода фазовых диаграмм идентифицировать их иерархическую структуру, что позволит в дальнейшем использовать эту информацию для моделирования и интерпретации распространения сейсмических и деформационных волн в иерархических структурах. Исследована тонкая структура хаотической области методом фазовых диаграмм с использованием сейсмического детального шахтного каталога для двух откликов массива на массовый высокоэнергетический взрыв в его северной и южной частях. Результат важен для понимания зарождения резонансного высокоэнергетического выброса и выработки критерия оценки устойчивости массива.

Литература

1. Наймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 424 с.
2. Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. М.: Физматлит, 2003. 294 с.
3. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Климко В.К., Шупеев О.В. Отражение синергетических свойств состояния массива горных пород под техногенным воздействием в данных шахтного сейсмологического каталога // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. 2010. № 6. С. 259–271.

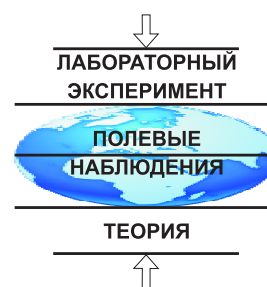
ОТРАЖЕНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ И СИНЕРГЕТИКИ ОТКРЫТЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД В ДАННЫХ ВОЛНОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

О.А. Хачай¹, А.Ю. Хачай²

¹ Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

olgakhachay@yandex.ru



Известно, что геологическая среда является открытой динамической системой, испытывающей на разных масштабных уровнях естественное и искусственное воздействие, изменяющее ее состояние, приводящее в результате к сложной многогранной иерархической эволюции, что и является одним из предметов изучения геосинергетики [1, см. библиографию]. Используя синергетический подход, следует четко различать масштабы природных явлений. Парадигма физической мезомеханики, введенной академиком В.Е. Паниным и его школой, включающая в себя синергетический подход, является конструктивным средством для изучения и изменения состояния гетерогенных материалов. В наших исследованиях нестационарной геологической среды в рамках натурных экспериментов в реальных горных массивах, находящихся под сильным техногенным влиянием, было показано, что динамика состояния может быть выявлена с использованием синергетики в иерархических средах. Важную роль для исследования динамических геологических систем играет сочетание активного и пассивного геофизического мониторинга, который можно осуществить с использованием электромагнитных и сейс-

мических полей. Изменение состояния системы на исследуемых пространственных базах и временах проявляется в параметрах, связанных со структурными особенностями среды второго и более высокого ранга. Таким образом, изучение динамики состояния, структуры и явления самоорганизации массива следует вести геофизическими методами, настроенными на многогранную иерархическую нестационарную модель среды. В работе [1] обобщены результаты по методике изучения синергетических проявлений геологической среды, находящейся под активным внешним воздействием, с помощью метода фазовых портретов исследован вопрос об отражении синергетических свойств геологической среды в данных активного электромагнитного и сейсмического мониторинга. Полученные результаты анализа детального сейсмологического каталога с точки зрения математических основ синергетики и открытых динамических систем, обладающих свойствами нелинейности и диссипативности, приводят нас к необходимости постановки новой задачи математического моделирования, отличной от имевшей место ранее постановки.

Литература

1. Хачай О.А. Геосинергетика: теория, методика, эксперимент. Комплексный анализ электромагнитных и других геофизических данных. М.: КРАСАНД, 2011.

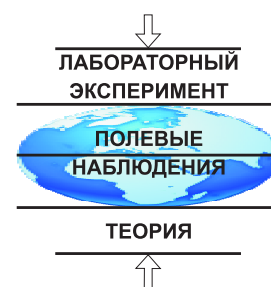
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕНЕРАЦИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Р.Г. Хлебопрос¹, А.В. Ключевский²

¹ Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

olikru@yandex.ru



В настоящее время общепринято, что процесс развития трещин (разрывов) является определяющим при разрушении горных пород во время землетрясений, а одна из основных проблем сейсмологии – очаг землетрясения – сводится к физике и механике разрушения горных масс в условиях земных недр. Очаг тектонического землетрясения понимается как динамический разрыв сплошности материала Земли, происходящий по некоторой поверхности и возникающий под действием напряжений, накопленных при тектонофизических деформациях. Полагают, что разрыв сплошности геологической среды служит универсальным механизмом катастрофической разрядки напряжений. Наш подход к механизму генерации сильных землетрясений базируется на этой концепции с учетом особенностей нелинейной геодинамики литосферы Байкальской рифтовой системы (БРС), протянувшейся из Северо-Западной Монголии вдоль оз. Байкал к Южной Якутии.

В рамках нелинейной геодинамики БРС эволюция напряжений в литосфере описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d}{dt}S = \alpha_1 + \alpha_2 S + S^3,$$

где $\alpha_1 = \frac{S_h - S_V}{S_{\max}}$, $\alpha_2 = \frac{S_H - S_V}{S_{\max}}$, S_H и S_h – максимальная и минимальная горизонтальные составляющие, S_V – вертикальная составляющая поля напряжений, а S_{\max} – максимальная из трех компонент напряжений. Бифуркации напряжений в структурах-аттракторах рифтогенеза (САР) формируют колебательный характер эволюции системы, для описания которой нами используется модель нелинейного осциллятора с диссипацией:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -2\gamma \frac{dx}{dt} - \beta x^3 + f \cdot \cos(\omega t),$$

где x и ω_0 – амплитуда и собственная частота осциллятора, γ – константа диссипации, β – константа нелинейности, f и ω – амплитуда и частота вынуждающей силы. Эти уравнения характеризуют эволюцию структуры сборки с «жесткими» бифуркационными переходами, или катастрофами, приводящими к генерации энергии и выделению ее в виде пар пространственно разнесенных, но близких во времени сильных землетрясений. Энергетическое взаимодействие между осцилляторами порождает связь частот (или фаз) и тем самым открывает возможность возникновения фазовой когерентности трех осцилляторов САР, ведущей к потере устойчивости и приводящей к бифуркациям нелинейного резонанса и сильным землетрясениям. Такое сочетание факторов обеспечивает, вероятно, наиболее «эффективный» вариант эволюции системы в режиме сброса высокой энергии в экстремальном состоянии перестройки напряжений в литосфере БРС.

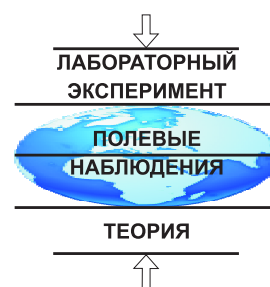
Проведенный анализ показал, что пространственно-временное и магнитудное распределение пар сильных землетрясений в литосфере Байкальского региона сохраняется для всего периода инструментальных наблюдений, отражая природу, энергию и время активизации порождающих их явлений. Это верифицирует предложенную модель бифуркации при гистерезисе нелинейного резонанса под воздействием импульсных возмущений, возникающих в разнесенных в литосфере САР, например при фазовых переходах «газ – жидкость». Однако конкретный физический механизм, управляющий системой осцилляторов и передачей энергии, остается пока неясным и требует дальнейших исследований.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова, И.М. Абдулин

Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, Россия

belousova_o@ngs.ru



А.А. Ильюшин рассматривал пластическое деформирование материалов как процесс, происходящий во времени (время – параметр нагружения). По-видимому, так же следует относиться не только к пластическому, но и к любому другому виду деформирования, в том числе упругому и запредельному, когда происходит накопление повреждений с образованием магистральных трещин. На этом пути есть множество вопросов – каковы определяющие соотношения того или иного процесса, каким ограничениям эти соотношения должны удовлетворять с точки зрения континуального рассмотрения среды

(сплошная среда), каковы паспортные кривые среды, каков путь их строения?

Все эти вопросы в том или ином виде будут рассматриваться в работе с обсуждением и анализом известных математических моделей, известных экспериментальных данных, с предложением новых решений поставленных вопросов.

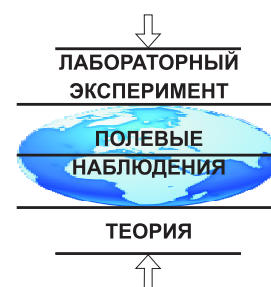
Особое внимание будет уделено вовлечению в рассмотрение структуры среды, определению контактных площадок, характеризующих структуру, учету трения на этих площадках.

МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДИСЛОКАЦИЙ

А.С. Черепанцев

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

s6319a@mail.ru



В основе предлагаемой модели лежит анализ применимости концепции возникновения самоорганизованного критического состояния в диссипативной модели взаимодействующих дискретных элементов (модель OFC) к системе дискретных блоковых структур, находящихся в напряженном состоянии и формирующих систему разрывов при достижении в отдельном элементе параметром состояния критического значения.

Модель OFC, являясь системой взаимодействующих соседних элементов, не предполагает возможность нарушения параметров такого взаимодействия и возникновения разрывов сплошности системы и образования разломной структуры. В предлагаемой работе связь вариаций поля напряжений в блоковой среде достигается при сбросе избыточных напряжений путем возникновения сдвиговых и нормальных дислокационных разрывов. Модель позволяет получить как дискретный ряд возникающих событий в пространственной, временной и амплитудной областях, так и непрерывные ряды параметров системы – средние значения объемной деформации, упругой энергии, кулоновского напряжения.

Для построения взаимодействия дискретных элементов, отражающих закономерности распределения сейсмичности в пространственно-энергетической области, рассмотрена упругая среда как система элементов, в каждом из которых возможно возникновение разрыва сплошности при достижении некоторого критического значения. Возникающая сдвиговая или нормальная дислокация формирует возмущение поля напряжений в соседних элементах, что может привести к достижению также критического значения и возникновения новой дислокации и нового поля добавочных напряжений в соседних элементах и т.д. Такой триггерный механизм определяет как взаимодействие отдельных элементов за счет возникновения возмущающего поля, так и формирование разрывных зон, в которых возникли дислокации.

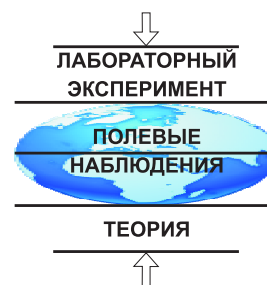
На основе моделирования различных видов нагружения проведен анализ закономерностей возникновения устойчивых распределений возникающих сбросов в пространственной и энергетической областях.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ВОЗДУШНЫХ ВОЛН НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЛИГОНЕ УСЛОН

Е.Н. Черных

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

cher@crust.irk.ru



При выполнении работ по утилизации устаревших боеприпасов путем их взрывания на полигоне Услон в Иркутской области возникли проблемы их безопасного проведения. Вблизи от полигона расположены города Зима и Саянск, п. Услон, а также промышленные площадки ОАО «Саянскхимпласт» с химическим производством, рудник с подземными хранилищами этилена, санатории «Кедр» и «Строитель». Несмотря на относительную удаленность места подрыва боеприпасов, поступали многочисленные жалобы от жителей прилегающих к полигону поселений, а также специалистов, отвечающих за безопасную работу промышленных предприятий с экологически опасными производствами, к числу которых в первую очередь следует отнести ОАО «Саянскхимпласт».

По нашему мнению, беспокойство, поток жалоб и требований на запрет проведения подрыва боеприпасов на различных полигонах вызван рядом неучтенных (технических и социальных) факторов при проведении таких работ. К числу технических факторов следует отнести: недоучет динамического воздействия от ударной воздушной волны, наличие на прилегающих к полигонам территориях деформированных и ослабленных зданий и опасных про-

изводств, цикличность при подрыве боеприпасов, наведенную сейсмичность.

Для анализа проблем и причин, связанных с безопасностью проведения взрывных работ на полигоне Услон, был проведен сейсмомониторинг. Регистрация сейсмических колебаний велась автономными цифровыми сейсмостанциями «Байкал-7HR» с трехкомпонентными пьезоэлектрическими сейсмоприемниками А1638. В комплекте с такими датчиками станции позволяют регистрировать ускорения колебаний от 1 мкм/с^2 до 2 м/с^2 в полосе частот 0.3–25.0 Гц. В течение одного дня обычно выполнялся подрыв нескольких отдельных групп боеприпасов, а подрыв группы боеприпасов производился серией взрывов с замедлением. Учитывая, что замедления выполнялись с относительно большими интервалами (0.5–2.5 с), можно считать это серией из отдельных (мгновенных) взрывов. Таких взрывов за месячный период наблюдений было зафиксировано 1170.

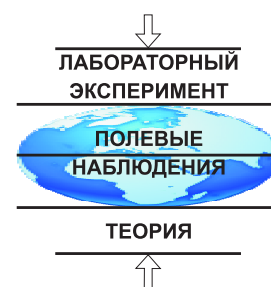
Получены экспериментальные данные о динамическом воздействии сейсмических и воздушных волн на инженерные сооружения, и выполнена оценка степени сейсмической опасности взрывных работ по утилизации боеприпасов.

ВАРИАЦИИ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В БАЙКАЛЬСКОМ РИФТЕ

Е.Н. Черных, А.А. Добрынина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

dobrynina@crust.irk.ru



Низкочастотные микросейсмические колебания несут информацию о земной коре, отражают изменение ее состояния и, как следствие, могут использоваться для прогноза землетрясений [1, 2]. Целью настоящего исследования является поиск краткосрочных предвестников землетрясений Байкальской рифтовой системы (БРС) по данным о низкочастотных микросейсмических колебаниях. Поиск предвестников в БРС осуществлялся с помощью спектрально-временного анализа записей микросейсм, полученных на сейсмических станциях Байкальского филиала ГС СО РАН, локализованных на расстояниях от 3 до 55 км от эпицентров землетрясений. Всего было рассмотрено 30 землетрясений с энергетическими классами $K_p=9.5-14.3$ (магнитуды $M=3.1-5.7$), произошедших на территории БРС за период 2002–2009 гг. Анализировались часовые записи микросейсм за 1–2 суток перед землетрясением и за сутки после землетрясения. В результате для девяти событий с $K_p=10.1-14.3$ ($M=3.4-5.7$) установлено значительное понижение уровня сейсмического шума за несколько часов до землетрясения (в среднем, за 4–5 часов до землетрясения). Эффект понижения уровня спектрального шума перед близким землетрясением установлен для сейсмических станций Северомуйск, Нижнеангарск, Талая, Уоян и двух временных станций в районе Южного Байкала.

Отсутствие предвестника для других рассматриваемых станций объясняется низким отношением сигнал/шум, где под сигналом понимается предвестник, а под шумом – аппаратные искажения. Большую роль здесь играет расстояние от приемника до эпицентра землетрясения. Так, на сейсмостанции Талая (стоит на скальном основании) наблюдалось понижение уровня сейсмического шума перед слабым землетрясением ($K_p=10.1$), локализованным на расстоянии 3 км, в то время как перед одним из афтершоков Култукского землетрясения 2008 г. (эпицентральное расстояние 27 км, $K_p=12.1$) изменений в частотном составе микросейсм не наблюдалось.

Таким образом, методом спектрально-временного анализа сейсмического шума для девяти землетрясений БРС установлено значительное понижение уровня сейсмического шума за несколько часов перед толчком, что может классифицироваться как краткосрочный предвестник. Указанный эффект может быть использован для автоматического определения приближающегося землетрясения на объектах повышенной опасности, где ведется сейсмический мониторинг.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-98035-р_сибирь_a) и программы Президиума РАН № 4.1.

Литература

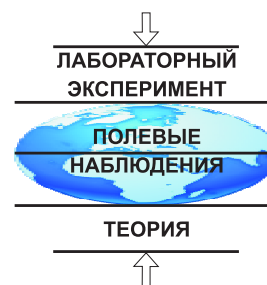
1. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники / Отв. ред. В.Н. Страхов. М.: Наука, 2003. 270 с.
2. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 г.: долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсмам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 9–35.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ И «Пороговый» ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ – МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ ДВУХ ПОДХОДОВ

П.Н. Шебалин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики,
Москва, Россия

p.n.shebalin@gmail.com



В теории и практике работ по прогнозу землетрясений сложилось два параллельных и практически непересекающихся подхода – «пороговый», или бинарный, и вероятностный. В первом случае прогнозы формулируются в виде тревог для определенной пространственной области на определенный период времени. В этой пространственно-временной области ожидается землетрясение определенной силы. В известном алгоритме М8, например, время тревоги в соответствующем круге интерпретируется как «период повышенной опасности» возникновения сильного землетрясения. В таких подходах, как правило, решение об объявлении тревоги принимается в случае превышения каким-то наблюдаемым параметром («контрольным параметром», или «функцией тревоги») заранее принятого порогового значения. В вероятностном подходе прогнозы формулируются как оценки вероятности возникновения землетрясения заданной силы в некоей пространственно-временной области. Обычно это небольшие пространственные ячейки (линейного размера порядка нескольких километров) и интервалы времени с заданным шагом. Главным недостатком первого подхода является отсутствие вероятностных оценок. Во втором же подходе до сих пор не решена проблема очень малых величин в оценках вероятности ввиду небольшого размера рассматриваемых пространственно-временных ячеек, а также в результате необходимости сглаживания оценок. Вместе с тем оба подхода имеют общие черты. Например, оценки вероятности во втором подходе могут служить контрольным параметром для бинарных прогнозов. Главное отличие состоит в том, что в первом подходе контрольный параметр не нормирован. Для двух подходов используются разные методы оценивания результативности прогнозов: диаграмма ошибок для бинарных и оценки правдоподобия для вероятностных.

Разные группы исследователей используют, как правило, разные подходы. В англоязычной литературе даже устоялась разная терминология для двух подходов – prediction (бинарный подход) и forecasting (вероятностный подход). Такая ситуация явно не способствует интегрированию разных исследований, поэтому нам представляется весьма важным направлением в области теории и практики прогно-

за землетрясений разработка методов интегрирования различных прогнозов, в том числе выполненных по разным подходам. Прежде всего желательно разработать методы взаимной «конвертации» двух подходов. Перевод вероятностных прогнозов в бинарные более или менее очевиден. Такой подход к оценкам вероятности в качестве контрольного параметра применялся, например, В. Кособоковым для использования диаграммы ошибок для оценивания результативности прогнозов Кагана и Джексона на северо-западе Тихого океана. Для перевода бинарных прогнозов в вероятностные (нормирование управляющего параметра) автором совместно с зарубежными коллегами недавно был предложен подход, основанный на анализе диаграмм ошибок и оценивании дифференциального вероятностного выигрыша для разных значений контрольного параметра. Оценивая по ретроспективным данным вероятностный выигрыш бинарного прогноза относительно какой-либо референц-модели (например, карта повторяемости уже состоявшихся землетрясений) для небольших интервалов значений управляющего параметра, мы получаем нормировку управляющего параметра простым умножением повторяемости на полученную оценку вероятностного выигрыша.

Предложенный подход конвертации бинарных прогнозов в вероятностные может быть использован и для попарного комбинирования двух прогнозов. Для этого один из прогнозов используется в качестве референц-модели. Определения диаграммы ошибок и вероятностного выигрыша просто расширяются для использования референц-моделей, зависящих от времени.

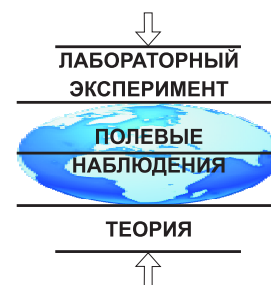
Предложенный подход на основе дифференциального вероятностного выигрыша является эмпирическим. Результат попарного комбинирования может зависеть от последовательности комбинирования. Но этот подход обладает очень важным свойством – он автоматически учитывает взаимозависимость разных прогнозов, «прогнозная информация» разных методов при комбинировании не дублируется. Это обусловлено тем, что вероятностный выигрыш какого-либо прогноза относительно «похожего» близок к 1 и при объединении результат остается неизменным.

ПРОГНОЗНЫЙ АЛГОРИТМ EAST, ОСНОВАННЫЙ НА СТАТИСТИКЕ РАННИХ АФТЕРШОКОВ – ОПЫТ ЧЕТЫРЕХ ЛЕТ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТА В КАЛИФОРНИИ В ЦЕНТРЕ CSEP, ЛОС АНДЖЕЛЕС, США

П.Н. Шебалин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики,
Москва, Россия

p.n.shebalin@gmail.com



В серии работ с зарубежными коллегами за последний десяток лет автором показана связь времени задержки начала степенного характера убывания числа повторных толчков (афтершоков) с напряжениями. Время этой задержки обычно оценивается параметром C закона Омори-Утсу ($\Lambda(t)=K/(t+C)$, где Λ – число афтершоков в единицу времени, K – размерный коэффициент). Объединяя методом совмещения эпох малые афтершоковые серии от несильных землетрясений, отобранных в заданных пространственно-временных областях, и оценивая величину C , мы можем отслеживать пространственно-временные вариации этого параметра. Поскольку, как нами установлено, малые значения C соответствуют более напряженным местам, следует ожидать возникновения землетрясений в местах пониженных значений C . Таким образом, на основе пространственно-временных оценок параметра C можно сформулировать прогнозный алгоритм. Тестирование этого алгоритма в реальном времени одновременно послужит хорошей проверкой связи параметра C и напряжений.

Алгоритм, основанный на анализе статистики ранних афтершоков, был разработан в начале 2009 г. и получил название EAST (Early Aftershock

Statistics). Вместо оценивания параметра C нами был предложен непараметрический подход. Для начала афтершоковой серии оценки C сильно скоррелированы со средним геометрическим времени от основного толчка. Именно эта величина легла в основу управляющего параметра алгоритма EAST. С 1 июля 2009 г. алгоритм тестируется по Калифорнии для землетрясений с магнитудой $M \geq 4$. Тестирование ведется независимо от авторов в центре CSEP (Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability; <http://www.cseptesting.org/results>).

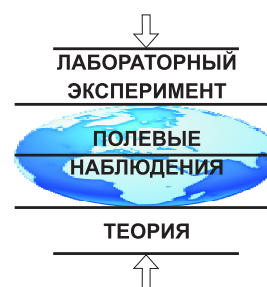
За четыре года независимого теста в регионе произошло около 330 землетрясений с магнитудой 4 и выше. Результаты прогноза значимо отличаются от случайных. Вероятностный выигрыш составляет более 2. Если исключить из рассмотрения приграничные и внебереговые области, в которых из-за худшего качества каталога хуже были и ретроспективные результаты, то эффективность алгоритма для 260 землетрясений – целей прогноза – вероятностный выигрыш оказывается выше 3. Таким образом, подтверждается не только эффективность прогнозного алгоритма, но и лежащей в его основе гипотезы о связи напряжений и времени задержки начала степенного убывания афтершоков.

СТАТИСТИКА АФТЕРШОКОВ КАК ИНДИКАТОР НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ

П.Н. Шебалин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики,
Москва, Россия

p.n.shebalin@gmail.com



Хорошо известно, что количество повторных толчков (афтершоков) после землетрясений убывает во времени по степенному закону (закон Омори $\Lambda(t)=K/t$, где Λ – число афтершоков в единицу времени, K – размерный коэффициент). В самом начале последовательности число афтершоков конечно, это отклонение от степенного закона обычно моделируется введением дополнительного параметра C : $\Lambda(t)=K/(t+C)$ (модифицированный закон Омори или закон Омори-Утсу). Параметр C фактически моделирует время задержки до начала степенного характера убывания афтершоков.

На практике оценки параметра C часто оказываются большими (до нескольких суток). Это, как правило, связано с неполнотой каталога землетрясений после сильного землетрясения, обусловленной как объективными (сейсмограммы более слабых афтершоков неразличимы на фоне сейсмограммы основного толчка и сильных афтершоков), так и субъективными причинами (невозможность имеющимися силами обработать вручную весь объем информации). В ряде публикаций с использованием данных современных сетей широкополосных станций в Японии и Калифорнии, США, в начале 2000-х было показано, что оценки параметра C по стандартным каталогам для афтершоковых серий от сильных землетрясений ($M \geq 6$) завышены. Сложилось почти общее мнение, что в реальности величина параметра C пренебрежимо мала.

Многие модели афтершоков, в частности популярная на Западе модель Дитриха, тем не менее да-

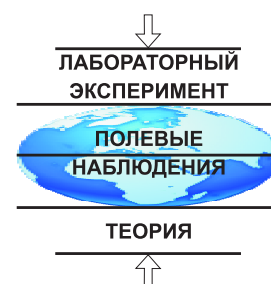
ют физическое обоснование временной задержке начала степенного убывания афтершоков. Модель LPL, основанная на идее суперпозиции экспоненциальных законов, обусловленных статической усталостью, предложенная в 2002 г. автором совместно с французским и немецким коллегами, связывает величину задержки с амплитудой неоднородностей поля напряжений в области очага основного толчка, отражающей, в свою очередь, величину напряжений до основного толчка. Таким образом, ранние афтершоки несут важную информацию о поле напряжений. В серии последующих работ автору совместно с зарубежными коллегами удалось показать, что, рассматривая афтершоки от несильных основных толчков и объединяя эти малые серии методом совмещения эпох, можно пытаться отслеживать пространственные и временные вариации поля напряжений. В частности, было показано, что величина C уменьшается перед сильными землетрясениями и резко возрастает после них. Величина C скоррелирована с типом механизма очага основных толчков: величина C велика для нормальных землетрясений, которые происходят в области растяжения, мала для взбросовых землетрясений в области сжатия и имеет промежуточные значения для сдвиговых землетрясений. Вблизи больших разломов наблюдается резкое увеличение параметра C на самом разломе (проскальзывание) и уменьшение по бортам. Недавно обнаружена зависимость параметра C от глубины очага: до глубины порядка 10 км параметр C убывает с глубиной.

ХАРАКТЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОГО РАНГА В УСЛОВИЯХ РЕГИОНАЛЬНОГО СЖАТИЯ

В.А. Шеков, А.А. Иванов, О.В. Мясникова

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

shekov@krc.karelia.ru



Поведение массивов горных пород определяется их тектонической природой. Объекты, находящиеся в непосредственной близости, могут иметь совершенно разные параметры трещиноватости, и, как следствие, размеры блоков на них различаются радикально. Однако вопросы о том, каковы особенности формирования этих параметров в ходе тектогенеза, каков масштаб изменений и насколько они взаимосвязаны, остаются по-прежнему открытыми.

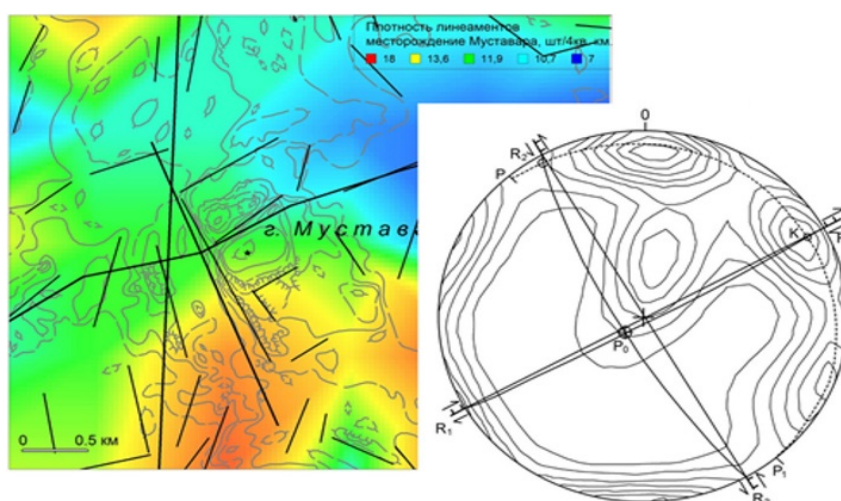
На территории юго-восточной части Фенноскандинавского щита авторами проводятся исследования корреляции различных тектонических событий с физическими характеристиками горных пород. Ранее было показано, что физико-механические свойства горных пород теснейшим образом связаны с их микронарушенностью [4].

В настоящей работе представлены результаты, полученные на месторождении Муствара, расположенном в области развития гранитов рапакиви III интрузивной фазы – питерлитов, Салминский многофазный массив [5]. На месторождении Муствара были восстановлены оси главных нормальных напряжений по методу Гуценко [1] и пояса трещиноватости по методу Даниловича [2]. Проведенное

дешифрирование мегатрещин локального и линейментов регионального уровня района месторождения позволило определить направления простирания главных разломов и построить карту плотности мегатрещин для последующего прогнозирования наименее нарушенных участков (рисунок) [3]. Анализ ориентировки микротрещин, выполненный на образцах, отобранных вкрест простирания основных сдвиговых дислокаций месторождения, позволил установить корреляцию микротрещин в зависимости от удаленности их от зоны сдвига, что свидетельствует о неоднородности поля напряжений в окрестностях разлома.

Понимание характера формирования микротрещин в непосредственной близости от трещин высшего ранга может помочь в идентификации генетических особенностей образования макротрещин и отнесении их к тому или иному порядку при их классификации.

Как результат, исследование трещиноватости и тектонических напряжений показало, что низкое качество строительного камня в разных крыльях разломов на месторождении Муствара обусловлено как прототектоникой, так и новейшей тектоникой.



Карта плотности мегатрещин. Диаграмма ориентировки макротрещин.

Литература

1. Гуценко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // Доклады АН СССР. 1973. Т. 210, №2. С. 331–334.

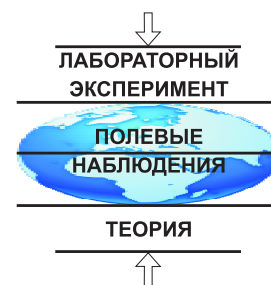
2. *Данилович В.Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск, 1961. 47 с.
3. *Иванов А.А.* Опыт тектонофизических исследований применительно к объектам блочного камня (на примере Салминского массива гранитов рапакиви, ю-з Карелия) // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ РАН, 2011. С. 118–122.
4. *Мясникова О.В., Шеков В.А.* Влияние микротрещиноватости массива на физико-механические характеристики каменных изделий // Горный журнал. 2011. № 5. С. 20–22.
5. *Свириденко Л.П.* Петрология Салминского массива гранитов рапакиви (в Карелии). Петрозаводск, 1968. 116 с.

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В КONTИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: ТРЕБОВАНИЯ, ПОСТРОЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С.И. Шерман

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

ssherman@crust.irk.ru



По концепции автора сейсмическая зона представляет собой самостоятельную геодинамическую структуру в континентальной литосфере, формируемую областью относительно высокой плотности очагов землетрясений, образующих зональную структуру эпицентрального поля, контролируемого селективной активизацией разломов. Активизация разломов и сейсмический процесс генерируются деформационными волнами, параметры которых определяют закономерности пространственно-временной локализации очагов землетрясений.

Тектонофизическая модель (ТФМ) сейсмической зоны построена на основе объединения двух составляющих геодинамического процесса: структурной и динамической, каждая из которых выделяется по оригинальным методикам.

Структурная составляющая ТФМ характеризует стабильную за заданный интервал реального времени (месяцы, годы, десятилетия) базовую геологоструктурную основу сейсмической зоны, образуемую только селективно-активными разломами и областями их динамического влияния, которые контролируют локализацию очагов землетрясений в течение заданного интервала времени. В интегрированном виде эпицентры землетрясений образуют зональную структуру эпицентрального поля сейсмической зоны.

Динамическая составляющая ТФМ отражает сейсмический режим сейсмической зоны и характеризует пространственно-временные закономерности накопления за принятый интервал реального времени очагов землетрясений в областях динамического влияния активных разломов. Установлено, что практически в каждой области динамического влияния активных разломов накопление очагов землетрясений с определенным значением магнитуд событий (как правило, $M \geq 3.0$) происходит преимуще-

ственно в одном из направлений и аналитически описывается функцией $t_i=f(L_i)$ с высокими значениями тесноты корреляционных связей параметров t и L , где t – время, L – расстояние от принятой точки отсчета вдоль простирания разлома.

Векторная направленность миграции очагов землетрясений при активизации разломов и областей их динамического влияния возбуждается деформационными волнами как триггерными механизмами, нарушающими метастабильное состояние разломно-блоковой среды сейсмической зоны. Получаемые статистически обеспеченные данные о наличии векторной направленности в миграции эпицентров и высокой тесноте корреляционных связей $t_i=f(L_i)$ для каждого из активизированных разломов сейсмической зоны можно экстраполировать на последующие годы с учетом математически обеспеченных погрешностей и прогнозировать сейсмические события для всей сейсмической зоны.

ТФМ сейсмической зоны в континентальной литосфере объединяет статическую и динамическую составные части и отражает принципиальную структуру сейсмической зоны на земной поверхности, зональное строение эпицентрального поля землетрясений, вертикальный глубинный разрез зоны и графики, демонстрирующие аналитические связи сейсмологических и динамических параметров, а также векторную направленность стимулирующих сейсмический процесс деформационных волн. Использование ТФМ позволяет прогнозировать «время событий и места ожидаемых их локализаций» и их доверительные интервалы в сейсмических зонах континентальной литосферы.

Исследования поддержаны грантом РФФИ 12-05-91161-ГФЕН_а; программами ОНЗ РАН 7.7 и Президиума РАН № 4.1.

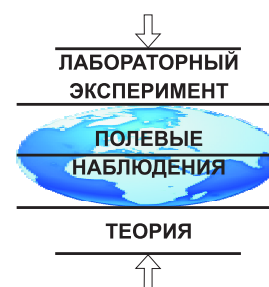
ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В СКВАЖИНЕ KUN-1 (О. КУНАШИР) ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ «ТОХОКУ» 11.03.2011 Г.

А.К. Юрков¹, Д.Ю. Демежко¹, В.И. Уткин¹, А.Д. Дучков²

¹ Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

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

akyurkov@mail.ru



Информативность геодинамических исследований методами геофизического мониторинга во многом определяется деформационной чувствительностью измеряемого геофизического параметра. Деформационная чувствительность зависит не только от выбора геофизического метода, но и от конкретной точки наблюдений (скважины), ее тектонической позиции. К сожалению, судить о величине чувствительности можно только после проведения достаточно длительного мониторинга. Проведенные нами на Южно-Курильском геодинамическом полигоне исследования показали, что температурный отклик на тектонические события определяется гидродинамическим режимом подземных вод. Нисходящие течения, связанные с деформациями растяжения, фиксируются понижением температуры на глубинах в несколько сотен метров и напротив, восходящие, связанные с деформацией сжатия, – повышением. При этом из четырех исследованных скважин лишь одна – kun1 на о. Кунашир – обеспечила приемлемую деформационную чувствительность – $2 \cdot 10^{-4}$ °С/наноустрейн. Эта оценка была получена на основе анализа приливных составляющих температурных вариаций. Реакция температурного поля на деформационные процессы, связанные с подготовкой и реализацией тектонических событий, проявляется плавным понижением температуры перед землетрясением и резким ко- и постсейсмическим повышением с амплитудой до 0.2 °С. Помимо этого, температурные вариации содержат периодические приливные гармоники (суточные и полусуточные), квазипериодические (до шести суток) и неперіодические (< суток), связанные со свободной тепловой конвекцией воды в скважине. На этом фоне более надежно идентифицируется косейсмический температурный сигнал. Анализ 1800 землетря-

сений магнитудой $M \geq 5$, произошедших в радиусе $R \leq 1000$ км от скважины, выявил косейсмическую реакцию на землетрясения, удовлетворяющие условию $M > 2.5 Lg R$. Так, землетрясению Тохоку (11 марта 2011 г., $M=9.0$, $R=700$ км) предшествовало примерно полугодичное снижение температуры на 0.1 °С, а после землетрясения произошел резкий подъем на 0.12 °С. В сезон 2011–2012 гг. после землетрясения на о. Хоккайдо (21.10.2011 г., $M=6.2$, $R=270$ км) температурными датчиками, расположенными в интервале 239–260 м, были зарегистрированы периодические температурные колебания с амплитудой до 0.2 °С и периодом от 17 до 24 часов. К середине мая 2012 г. эти колебания полностью затухли и вновь начались после землетрясения 15.07.2012 г. ($M=5.2$, $R=98$ км). В каждом цикле этих колебаний, продолжающемся несколько месяцев, наблюдается достаточно быстрое – в течение нескольких суток – увеличение периода с 17 до 24 часов и последующее медленное уменьшение до 17 часов. Подобный характер температурных вариаций, с амплитудой, на порядок превышающей приливные колебания, ранее никем не был отмечен. По нашему предположению, эти колебания не связаны с деформационными процессами, но отражают процессы активизации геотермальной системы вулкана Менделеева, находящегося в 8 км от наблюдательной скважины. Подтверждение тому – периодические колебания давления пара с 2012 г., регистрируемые на геотермальной станции, расположенной на склоне вулкана.

Работа выполнена частично при поддержке проектов фундаментальных исследований УрО РАН № 12-П-5-1018, 12-С-5-1023, гранта РФФИ № 13-05-00724.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абдулин И.М.	103
Авагимов А.А.	11
Аксенов В.В.	12
Астраханцев Ю.Г.	13
Ахтямова А.И.	86
Ашурков С.В.	80

Б

Бакеев Р.А.	87
Басов А.Д.	14
Беликов В.Т.	15
Белоглазова Н.А.	13
Белослюдцев О.М.	16, 95
Белюсова О.Е.	103
Бержинская Л.П.	17
Бержинский Ю.А.	17
Бобров А.А.	20, 81
Богомолов Л.М.	18, 90
Борняков С.А.	19, 20, 71, 77
Бубнова Н.Я.	49
Будков А.А.	46
Бяков А.Ю.	21

В

Василенко Н.Ф.	98
Васильев В.И.	22
Вдовин А.Г.	13
Веттегрень В.И.	23, 24
Викторов С.Д.	25
Викулин А.В.	26
Воднева Е.Н.	71
Вознесенский А.С.	27
Волкова Е.Н.	40, 41
Вострецов А.Г.	28

Г

Гаврилов В.А.	29, 63
Герман В.И.	30, 31
Гиляров В.Л.	32
Глатоленков А.И.	33
Глухих И.И.	13

Д

Дамаскинская Е.А.	32, 34
Демежко Д.Ю.	113
Дибров А.И.	21
Добрынина А.А.	80, 106
Дучков А.Д.	113
Дэмбэрэл С.	71
Дядьков П.Г.	35

Ж

Жуков В.С.	36
-----------------	----

З

Завьялов А.Д.	37, 82
Закупин А.С.	18
Зейгарник В.А.	11

И

Иванов А.А.	110
Иванова Л.А.	53
Ильцова А.М.	71

Имаев В.С.	38
Имаева Л.П.	38

К

Кадомцев А.Г.	32, 34, 47
Казначеев П.А.	40
Калинюк И.В.	39
Камшилин А.Н.	40, 41
Каримов Ф.Х.	42
Киндюк В.А.	86
Киреевкова С.М.	24
Ключевский А.В.	102
Коган М.Г.	98
Козлова И.А.	15, 43, 96, 97
Коновалов А.В.	44, 91
Конторович В.А.	87
Копылова Г.Н.	45
Кочанов А.Н.	25
Кочарян Г.Г.	46
Кочнев В.А.	89
Красилов М.Н.	27
Кузнецов Н.Н.	62
Куксенко В.С.	23, 47
Куткин Я.О.	27

Л

Левина Е.А.	68, 76
Лементуева Р.А.	49, 84
Литовченко И.Н.	33
Логинов В.А.	56
Лось В.Ф.	84
Лунев Б.В.	87
Лухнев А.В.	80
Лысов Б.А.	53
Любушин А.А.	50

М

Майбук З.-Ю.Я.	51, 52
Мамалимов Р.И.	23, 24
Марков В.К.	46
Махмудов Х.Ф.	47
Медведев В.Я.	53
Мельник Е.А.	89
Мельников М.Г.	54
Менжулин М.Г.	55
Мирошниченко А.И.	19, 20, 80
Михеева Е.А.	71
Мороз Т.А.	56
Мороз Ю.Ф.	56
Морозов Ю.А.	24
Московская Л.Ф.	57, 58
Мострюков А.О.	65
Мубассарова В.А.	18
Мясникова О.В.	55, 110

Н

Наймарк О.Б.	64
Насимов Р.М.	41, 59
Нго Тхи Лы	71
Никонов А.А.	60, 73
Новопашина А.В.	61

О

Окунев В.И.	11
Ордынская А.П.	17
Осокин А.А.	25
Остапчук А.А.	46

П

Павлов Е.В.	83
Пак А.К.	62
Пантелеев И.А.	18, 63, 64
Патонин А.В.	59
Петров В.А.	65
Писаренко В.Ф.	73
Плехов О.А.	64
Полец А.Ю.	66
Полянский О.П.	88
Пономарев А.В.	37
Пономарёва Е.И.	67, 68
Прытков А.С.	98
Псахье С.Г.	68
Пустовитенко Б.Г.	69

Р

Радзиминович Я.Б.	70
Рассказов И.Ю.	32, 34
Рассказов С.В.	20, 71
Ребецкий Ю.Л.	66, 72
Ревердатто В.В.	88
Родкин М.В.	73, 74, 75
Романевич К.В.	14
Ружич В.В.	53, 68, 76, 77
Рукавишникова Т.А.	74, 75
Рывкин Д.Г.	15

С

Салко Д.В.	19, 20, 77
Саломов Н.Г.	78
Салтыков В.А.	79
Саньков А.В.	80
Саньков В.А.	80
Семенова Е.П.	44
Семинский А.К.	71
Семинский К.Ж.	81
Смекалин О.П.	38
Смирнов В.Б.	37, 82
Смутьская А.И.	24
Соболев Г.А.	24, 52, 83, 84
Спиртус В.Б.	69
Стеблов Г.М.	98
Степанов В.И.	85
Степанов И.И.	85
Стефанов Ю.П.	86, 87, 88, 89
Суворов В.Д.	89
Сычев А.С.	91
Сычев В.Н.	18, 90
Сычева Н.А.	90

Т

Тарасов Н.Т.	92, 93
Тарасова А.А.	19, 20
Тарасова Н.В.	93
Ташлыкова Т.А.	94
Тихонов И.Н.	75
Треусов А.В.	49

У

Узбеков Н.Б.	16, 95
Уткин В.И.	96, 97, 113

Ф

Фоменко В.А.	21
Фроунд Ф.Т.	93
Фраймюллер Д.Т.	98

Фролов Д.И. 98
Фролова Н.С. 99

Х

Хачай А.Ю. 101
Хачай О.А. 99, 101
Хлебопрос Р.Г. 102

Ч

Чада Р.К. 37
Чанышев А.И. 103
Чебыкин Е.П. 71
Черепанцев А.С. 104
Черных Е.Н. 67, 105, 106
Чипизубов А.В. 38

Чувашова И.С. 71

Ш

Шебалин П.Н. 107, 108, 109
Шеков В.А. 110
Шереметьев В.М. 21
Шерман С.И. 20, 112
Шилько Е.В. 68
Шляев С.П. 14
Шринагеш Д. 37

Щ

Щербаков И.П. 23

Ю

Юрков А.К. 15, 43, 96, 97, 113

Я

Яковицкая Г.Е. 28
Яковлев А.Г. 56

С

Chi-Yu-King 97

Д

Dutta P.K. 97