

The background of the entire page is a photograph of a sunset over a body of water. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering reflection on the water's surface. The sky is filled with soft, golden clouds. In the foreground, the dark silhouette of a tree branch hangs down from the top left corner.

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

**ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
им. А.А. ТРОФИМУКА**

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
им. В.С. СОБОЛЕВА**

«ГЕОДИНАМИКА. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА»

**МАТЕРИАЛЫ
ОДИННАДЦАТОГО ВСЕРОССИЙСКОГО СЕМИНАРА**

п. Новый Энхалук, Республика Бурятия
25-31 июля 2011 г.

СЕМИНАР «ГЕОДИНАМИКА. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА»

Организаторы:

Учреждение РАН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
Учреждение РАН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Председатели оргкомитета:

академик РАН Добрецов Н.Л. (ИГМ СО РАН)
академик РАН Эпов М.И. (ИНГГ СО РАН)

Члены оргкомитета:

д.ф.-м.н. Сибиряков Б.П. (ИНГГ СО РАН)
д.г.-м.н. Суворов В.Д. (ИНГГ СО РАН)
д.г.-м.н. Татьков Г.И. (ГИН СО РАН)
д.ф.-м.н. Немирович-Данченко М.М. (ИНГГ СО РАН)
к.г.-м.н. Дядьков П.Г. (ИНГГ СО РАН)
к.г.-м.н. Мельник Е.А. (ИНГГ СО РАН)
к.ф.-м.н. Сибиряков Е.Б. (ИНГГ СО РАН)
к.г.-м.н. Тубанов Ц.А. (ГИН СО РАН)
Козлова М.П. (ИНГГ СО РАН)

Секретарь оргкомитета:

к.г.-м.н. Киселева Л.Г. (ИНГГ СО РАН)

*Семинар проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-06061-э) и
Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

Представление докладов: на семинаре будут представлены устные доклады. Продолжительность докладов 20-40 минут, включая ответы на вопросы. Для демонстрации материала предоставляется компьютер и мультимедийный проектор.

Место проведения: база отдыха «Энхалук» и стационар Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН «Энхалук». База отдыха «Энхалук» расположена в 170 км от г. Улан-Удэ в поселении Новый Энхалук Кабанского района Республики Бурятия.

Заезд участников семинара **25 июля 2011 г.**

Регистрация участников будет проводиться **26 июля с 9⁰⁰ – 10⁰⁰** в конференц-зале базы отдыха «Энхалук».

Питание участников семинара будет организовано на базе отдыха «Энхалук».

Завтрак: **10⁰⁰ – 10³⁰**
Обед: **14⁰⁰ – 15⁰⁰**
Ужин: **20⁰⁰ – 22⁰⁰**

Отъезд участников семинара **31 июля 2011 г.**

26 июля

Утреннее заседание

- 10.30-10.35 *Заместитель председателя Сибирского отделения РАН, академик Эпов М.И.* Вступительное слово.
- 10.35-11.05 *Кочарян Г.Г.* Анализ тонкой структуры сейсмичности в разломных зонах.
- 11.05-11.25 *Мельникова В.И., Гилева Н.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Середкина А.И.* Сейсмоструктурные деформации очаговой зоны Култукского землетрясения 2008 г. с $M_w=6.3$ (южный Байкал) по данным о фокальных механизмах афтершоков.
- 11.25-11.45 *Макаров П.В., Дядьков П.Г., Ерёмин М.О., Перышкин А.Ю.* Анализ напряженно-деформированного состояния в Байкальской рифтовой зоне и районе Чаган-Узунского блока.
- 11.45-12.05 **Перерыв**
- 12.05-12.35 *Татьков Г.И., Захаров А.И., Чимитдоржиев Т.Н.* Современная геодинамика центральной части Байкальского рифта по данным радарной интерферометрии ALOS PALSAR.
- 12.35-13.00 *Ребецкий Ю.Л.* Напряженное состояние земной коры вдоль побережья Японии перед землетрясением 11.03.2011 с $M=9.0$.
- 13.00-13.30 *Родкин М.В., Рукавишникова Т.А., Камнев А.А.* Неспецифические и специфические предвестники сильного землетрясения.

Обед

14.00-15.00

Вечернее заседание

- 15.00-15.40 *Сибиряков Б.П., Прилоус Б.И., Копейкин А.В.* Интегральная геометрия блочных сред и закон повторяемости землетрясений.
- 15.40-16.10 *Стефанов Ю.П.* Формирование и развитие зон локализации деформации и разломов. Дилатансия и компакция.
- 16.10-16.40 *Чанышев А.И., Абдуллин И.М.* Две паспортные характеристики для горных пород и два способа построения собственного тензорного базиса.
- 16.40-17.00 **Перерыв**
- 17.00-17.25 *Кучай О.А.* Землетрясения Алтая и Саян.
- 17.25-17.55 *Смолин И.Ю., Макаров П.В., Евтушенко Е.П., Дядьков П.Г.* Анализ напряженно-деформированного состояния элементов земной коры в Алтае-Саянской складчатой области.
- 17.55-18.10 *Жигалкин В.М., Усольцева О.М., Семенов В.Н., Рычков Б.А., Цой П.А.* Об определении предела прочности на растяжение горных пород.
- 18.10-18.25 *Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р.* К вопросу о петрофизической модели верхней части земной коры.

27 июля

Утреннее заседание

- 10.30-10.50 *Имаева Л.П., Мельникова В.И., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Смекалин О.П., Чипизубов А.В.* Динамика очаговых сильных землетрясений – индикатор сейсмотектонической деструкции земной коры северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны.
- 10.50-11.20 *Мордвинова В.В., Треусов А.В., Ананьин Л.В.* Глубинная структура и геодинамика Южной Сибири и Центральной Монголии по телесеismicким данным.
- 11.20-11.50 *Ребецкий Ю.Л.* Роль гравитационного напряженного состояния в формировании глубинной структуры зон горизонтального сдвига.
- 11.50-12.10 **Перерыв**
- 12.10-12.35 *Суворов В.Д., Стефанов Ю.П., Павлов Е.В., Кочнев В.А.* Роль гравитации в формировании и современном состоянии земной коры по профилю Тарим-Алтай.
- 12.35-13.00 *Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Деев Е.В., Зольников И.Д.* Блоковая структура фундамента Чуйской котловины и вариации электромагнитных параметров в зонах активных разломов.
- 13.00-13.30 *Чимитдоржиев Т.Н., Татьков Г.И., Тубанов Ц.А., Захаров А.И., Дмитриев А.В., Кирбижекова И.И.* Исследование динамики ледового покрова оз. Байкал методами текстурного анализа, радиолокационной спекл- и дифференциальной интерферометрии ALOS PALSAR.

Обед
14.00-15.00

Экскурсия на тектономагнитный стационар “Энхалук” Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

28 июля

Утреннее заседание

- 10.30-11.00 *Стефанов Ю.П., Бакеев Р.А.* Формирование деформационных структур в осадочной толще при сдвиге и другие 3D задачи.
- 11.00-11.30 *Ружич В.В., Левина Е.А., Пономарева Е.И.* Опыт сейсмопрогностических исследований в Байкальской рифтовой зоне за 1994-2010 гг.
- 11.30-11.55 *Ельцов И.Н., Нестерова Г.В., Назарова Л.А., Назаров Л.А.* Интерпретация данных электромагнитного каротажа с учётом геомеханических процессов при глубоком бурении.

- 11.55-12.15 **Перерыв**
- 12.15-12.45 **Шелухин В.В.** Динамика прискважинной зоны во время бурения в рамках теории пороупругости.
- 12.45-13.15 **Фассбиндер Йорг Вильгельм Эрих, Гук Д.Ю., Чемякина М.А.** Магнитометр и исследование магнитной восприимчивости вблизи геомагнитного экватора: частные случаи из археологической практики.
- 13.15-13.30 **Дядьков П.Г., Кулешов Д.А.** Учет вековой вариации при тектономагнитных наблюдениях на Алтайском геодинамическом полигоне.

Обед
14.00-15.00

Вечернее заседание

- 15.00-15.30 **Назаров Л.А., Назарова Л.А.** Прямые и обратные задачи для областей с подвижными границами и их приложение в геомеханике.
- 15.30-16.00 **Сибиряков Е.Б.** Зависимость упругих модулей от частоты в микронеоднородной среде.
- 16.00-16.30 **Чанышев А.И., Вологин Д.А., Абдулин И.М.** К проблеме определения НДС массива горных пород, источников возмущения, дефектности по данным измерений смещений на поверхностях обнажений.
- 16.30-16.50 **Перерыв**
- 16.50-17.20 **Родкин М.В.** Новые свидетельства участия флюида в сейсмическом процессе.
- 17.20-18.00 **Дядьков П.Г., Евтушенко Е.П., Ерёмин М.О., Макаров П.В., Перышкин А.Ю., Семинский К.Ж., Смолин И.Ю.** Моделирование эволюции складчатых областей Центральной Азии.

29 июля

Утреннее заседание

- 10.30-10.50 **Пономарева Е.И.** Высокоскоростная миграция в очагах Култукского, Южно-Байкальского и Бусийнгольского землетрясений.
- 10.50-11.30 **Дядьков П.Г.** Закономерности развития сейсмических активизаций в Западно-Тихоокеанской зоне субдукции и землетрясение Тохоку, 11 марта 2011 г, M=9.
- 11.30-11.50 **Прилоус Б.И.** О необычно больших и необычно малых скоростях волн Рэлея.
- 11.50-12.10 **Перерыв**
- 12.10-12.40 **Назарова Л.А., Назаров Л.А., Дядьков П.Г., Ярославцев А.Ф., Мирошниченко Н.А., Васильева Е.В.** Техногенная сейсмичность и эволюция полей напряжений при отработке месторождений полезных ископаемых.

- 12.40-13.00 **Козлова М.П., Назарова Л.А., Назаров Л.А.** Деформирование геофизической среды и оценка фокальных характеристик готовящихся сейсмических событий.
- 13.00-13.20 **Евтушенко Е.П., Макаров П.В., Смолин И.Ю.** Моделирование обрушения кровли над выработанным пространством.

Обед
14.00-15.00

Вечернее заседание

- 15.00-15.30 **Немирович-Данченко М.М.** Выделение трещиноватых коллекторов на основе численного моделирования.
- 15.30-16.00 **Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А.** Геоэлектрические аномалии в связи с Култукским землетрясением на оз. Байкал.
- 16.00-16.20 **Перерыв**
- 16.20-16.50 **Ребецкий Ю.Л.** О термо-гравитационной конвекции упруго-вязкого тела и о неустойчивости гравитационного напряженного состояния.
- 16.50-17.20 **Родкин М.В., Шатахян А.Р.** Некоторые статистики рудных и УВ месторождений - выводы о характере их генезиса.
- 17.20-18.30 **Заключительная дискуссия.**

30 июля
День отдыха

АНАЛИЗ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗЛОМНЫХ ЗОНАХ

Кочарян Г.Г.

Учреждение РАН Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, Россия

Рассмотрена сейсмогенная структура нескольких разломных зон, расположенных в системе разломов Сан-Андреас. Высокая плотность расположения современных цифровых сейсмических станций в этом регионе и развитие современных методов обработки позволяет определять относительные координаты микроземлетрясений с ошибкой первые десятки метров, что дает возможность с высокой точностью установить границы области, в которой происходят активные деформационные процессы и выявить пространственные особенности расположения сейсмических событий.

Результаты обработки сейсмических данных и выявленные в процессе анализа закономерности сопоставляются с данными изучения структуры разломов, модельных и численных экспериментов; приведено количественное исследование закономерностей локализации очагов внутри разломных зон.

При помощи трехмерных построений продемонстрировано, что события локализуются в окрестности поверхности близкой к плоскости с почти постоянным углом падения. Причем основная масса событий оказывается сосредоточенной именно на этой условной плоскости. Судя по полученным результатам, область, в которой происходит активное деформирование при подготовке средних землетрясений ($M \leq 6.5 \div 7$), представляет из себя совокупность локальных "полос", каждая из которых имеет характерный размер порядка 100 м. По результатам модельных экспериментов выдвинуто предположение, что процесс перехода активных областей в метастабильное может быть обнаружен по результатам мониторинга микросейсмического фона в низкочастотной области.

**СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ КУЛТУКСКОГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2008 Г. С $M_w=6.3$ (ЮЖНЫЙ БАЙКАЛ) ПО ДАННЫМ О ФОКАЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМАХ АФТЕРШОКОВ**

Мельникова В.И.¹, Гилева Н.А.², Арефьев С.С.³, Быкова В.В.³, Середкина А.И.¹

¹ Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

² Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН, Иркутск, Россия

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

В настоящее время основные черты напряженно-деформированного состояния земной коры юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны, к которому относятся Южнобайкальская и Тункинская системы рифтовых впадин с их горным обрамлением, а также район Прихубсугулья, выявлены по совокупным данным о механизмах очагов землетрясений. Так, восточное окончание Тункинской системы впадин и район Южного Байкала находятся в зоне переходного деформационного режима (транстенсии), согласующегося со сдвиго-раздвиговой кинематикой смещений по основным структурным нарушениям. Далее на запад преобладают сдвиговые деформации и усиливается роль северо-восточного укорочения (сжатия), а в районе Бусийгольской впадины доминирующей становится деформация укорочения.

Фокальные механизмы Култукского землетрясения 2008 г. ($M_w=6.3$) и его афтершоков показали, что все очаги сформировались в переходном деформационном режиме (от удлинения к сдвигу). Очевидно, что вклад сбросовых и сдвиговых подвижек в общее поле сейсмотектонических деформаций в данном случае был сопоставим. Особенности разрядки напряжений в отдельных группах толчков проявлялись в различных вкладах в общий тензор деформаций обобщенно-плоской и вертикальной частей. Заметим, что во всех очагах землетрясений отмечается стабильная субмеридиональная ориентация осей растяжения, в то время как параметры осей сжатия варьируют в широких пределах. Преимущественное простирание плоскостей разрывов в очагах култукских землетрясений – северо-восточное и субширотное. Таким образом, новые данные о фокальных механизмах Култукского землетрясения и его афтершоков дополнили имеющуюся информацию о НДС земной коры Южного Байкала и подтвердили господство в данном районе транстенсионного деформационного режима.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ И РАЙОНЕ ЧАГАН-УЗУНСКОГО БЛОКА

Макаров П.В.^{1,3}, Дядьков П.Г.², Ерёмин М.О.³, Перышкин А.Ю.³

¹ Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

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

³ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Выполнен предварительный анализ современного напряженно-деформированного состояния Байкальской рифтовой зоны и Центрального Алтая, включая район Чаган-Узунского блока. Расчет НДС проводился на основании моделирования современных смещений областей Центральной Азии как результата коллизионных процессов на границах плит Евразийской плиты с Северо-Американской на северо-востоке и с Индийской на юге.

Эти расчеты дали хорошее качественное совпадение полученных перемещений с данными наблюдений. Полученные в таких модельных расчетах смещения были использованы уже как граничные условия при расчетах НДС Байкальского региона и областей Центрального Алтая. В основу структурных моделей было положено деление изучаемых областей на более жесткие блоки и податливые зоны в связи с плотностью сейсмогенных нарушений и сейсмической активностью в этих регионах. Расчеты НДС были выполнены как на основе модели упруго-пластической среды Мизеса, так и с привлечением модели, учитывающей внутреннее трение, дилатансию среды, а также зависимость прочностных характеристик геосреды от вида напряженного состояния. Последнее обстоятельство приводит к существенному отличию полученного НДС по сравнению с моделью Мизеса. Получаемая картина формирующихся разломов оказалась более реалистичной. Выполненные расчёты являются тестовыми, требуется более детальная проработка исходных структурных моделей изучаемых регионов. Однако, качественный результат полученных перемещений хорошо согласуется с данными наблюдений.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА ПО ДАННЫМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ALOS PALSAR

Татьков Г.И.¹, Захаров А.И.², Чимитдоржиев Т.Н.³

¹ Учреждение РАН Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Фрязинский филиал Учреждения РАН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия

³ Отдел физических проблем БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

В докладе представлены результаты радиолокационной дифференциальной интерферометрии, полученные по данным радара с синтезированной апертурой L-диапазона ALOS PALSAR. Были использованы интерферометрические пары за следующие даты (год, месяц, число): 20070206÷20091230, 20071225÷20091230, 20071225÷20100214, 20080209÷20100214, 20070809÷20090929, 20070809÷20090814, 20070809÷20101002.

В качестве полигона взята сейсмически активная северо-восточная часть дельты р. Селенга, прилегающая к заливу Провал. Установлено, что за двухлетний период (20071225÷20091230) равнинная часть дельты, включая участок восточнее залива Провал, опустилась на 2 см и более. Выявленные по результатам интерферометрии вертикальные сдвиги геоблоков по времени коррелируют с резким поднятием уровня грунтовых вод (на 1-2 см) в мае 2008 г. Поднятие уровня грунтовых вод, интерпретируемое как просадка поверхности, произошло вследствие подземных толчков с энергетическим классом 11,4 - 14,2. Эпицентр последних располагался в акватории оз. Байкал на расстоянии 132-137 км северо-восточнее тестового участка. В докладе представлен картографический материал по установленным деформациям, границы которых коррелируют с геологическими разломами.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ ЯПОНИИ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 11.03.2011 С М=9.0

Ребецкий Ю.Л.

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

С использованием метода катакластического анализа разрывных смещений выполнена реконструкция напряженного состояния для земной коры Японских островов, существовавшее перед катастрофическим землетрясением 11.03.2011 (M=9.0). Исходными для реконструкции напряжений данным являлся сейсмологический каталог JMA механизмов очагов землетрясений с 19974 г, насчитывающий около 16000 событий для диапазоном магнитуд M=3-8. Реконструкция направлена на выявление особенностей напряженного состояния перед этим сильнейшим землетрясением. Современные представления на формирование крупномасштабного хрупкого разрушения коры требуют появления в таких областях крупных неоднородностей напряженного состояния. Подобная область впервые была выявлена в очаговой области Суматра-Андаманского землетрясения 2003г и затем получена также для Чилийского 2010 землетрясения, Симуширского землетрясений 2007 г и землетрясения Токачи-Оки 2003 г.

НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Родкин М.В., Рукавишникова Т.А., Камнев А.А.

Учреждение РАН Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия

Известно довольно много предвестников сильных землетрясений, причем статистическая значимость многих из них дискуссионна. В целом, все множество предвестников можно разделить на два класса - неспецифических и специфических предвестников. Неспецифические предвестники отвечают признакам, характеризующим переход данной системы в критическое состояние. К этим признакам относятся указания на появление дальнего порядка в системе, увеличение доли более сильных событий, рост степени коррелированности и синхронизации в поведении системы. Неспецифические признаки отражают те или иные характерные признаки универсального сценария развития неустойчивости, но не несут информации о конкретном физическом механизме развития неустойчивости. Большинство известных на настоящее время алгоритмов прогноза землетрясений (алгоритм М8, сценарий Мендосино, метод А.А.Любушина расчета меры синхронизации сейсмических шумов, некоторые другие) нацелены на выявление неспецифических прогнозных признаков. Отметим, что именно универсальность неспецифических признаков землетрясений позволила использовать их для прогноза катастроф (кризисов) в системах различной природы - для прогноза экономических рецессий, вспышек числа опасных преступлений, экономических кризисов.

Специфические признаки порождаются физическим механизмом реализации неустойчивости в данной конкретной системе. В сейсмологии к этому типу признаков относятся методы сейсмических брешей, гидрогеохимические, ионосферные и другие прогнозныe признаки. Особый интерес представляют прогнозныe признаки, связываемые с режимом глубинных флюидов.

Рассматриваются примеры признаков обоих типов. Можно предположить, что получение более обоснованного прогноза должно быть основано на комплексном использовании как неспецифических, так и специфических прогнозных признаков.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ БЛОЧНЫХ СРЕД И ЗАКОН ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сибиряков Б.П., Прилоус Б.И., Копейкин А.В.

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

Работа посвящена исследованию динамики континуума с внутренней геометрией. Такой континуум описывает множество волн, движущихся с различными скоростями, как обычных продольных и поперечных волн, так и волн с исключительно малыми скоростями. Кроме того, упомянутая модель континуума даёт описание неустойчивых решений с растущими амплитудами колебаний, т.е. катастроф. Число неустойчивых решений в зависимости от удельной поверхности трещин можно сопоставить с зависимостью числа катастроф от их энергии, ибо дефицит энергии сдвига, возникший вследствие появления трещины пропорционален её поверхности. В логарифмическом масштабе теория даёт линейную зависимость между энергией и числом неустойчивых решений. Тангенс угла наклона этого графика близок к половине. Для больших энергий возникает не единственность решений, что, возможно, говорит о появлении катастроф не сдвигового характера.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЗОН ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗЛОМОВ. ДИЛАТАНСИЯ И КОМПАКЦИЯ

Стефанов Ю.П.

*Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск,
Россия, e-mail stefanov@ispms.tsc.ru*

Представлены результаты численного решения ряда задач, иллюстрирующих особенности поведения горных пород и формирование зон локализованной деформации в разных условиях. Предложены соотношения, описывающие взаимосвязь изменения поверхности предельного состояния и коэффициента дилатансии, которые позволяют учесть изменения режимов развития деформации. Рассмотрено проявление смешанных режимов в ходе деформирования. Показано, что формирование разрыва может быть заключительной стадией развития деформации и её локализации, когда дилатансионный режим сменяется в узкой зоне уплотнением и снижением эффективной прочности среды.

При деформации в режиме дилатансии возрастают пористость и трещиноватость среды, тогда как в режиме компакции пористость и проницаемость снижаются. Таким образом, в зависимости от режима деформирования полосы локализации могут быть как каналами для фильтрации флюида, так и малопроницаемыми зонами. Показано, что в окрестности скважин и туннелей в зависимости от пористости среды и давления флюида возможно развитие пластической деформации и разрушения в разных режимах. Режим дилатансии способствует формированию зон упрочнения и более стабильному состоянию. Деформация в режиме уплотнения может привести к формированию ослабленных зон с раздробленным материалом. Причем вокруг скважин и туннелей возможно формирование серии концентрических и осевых зон дилатансии и уплотнения. Смена режимов деформирования может быть вызвана изменениями напряженного состояния и порового давления, а также изменением свойств среды в ходе процесса.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 11-05-00661-а)

ДВЕ ПАСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ДВА СПОСОБА ПОСТРОЕНИЯ СОБСТВЕННОГО ТЕНЗОРНОГО БАЗИСА

Чанышев А.И., Абдулин И.М.

Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Не вызывает сомнений тот факт, что массивы пород (как и сами породы) состоят из блоков так, что любая деформация есть результат контактного взаимодействия одних блоков с другими. Различаются два вида деформации на контактах: по нормали к контактам происходит деформация простого удлинения, в плоскости контакта – простые сдвиги. Как правило, по нормали при любых видах нагрузок, включая разрушение массива пород, деформация – упругая, изменяющаяся пропорционально нормальной нагрузке. В плоскости контакта зависимость «напряжение – деформация» отражает изменение предельной силы трения от величины сдвига и для первоначально изотропных сред не зависит от вида нагружения, является «единой». В работе эти две паспортные характеристики по данным экспериментов Ставрогина А.Н. определяются для гранита, песчаника, каменной соли. При этом указываются два способа их восстановления.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ АЛТАЯ И САЯН

Кучай О.А.

Учреждение РАН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Россия, e-mail KuchayOA@ingg.nsc.ru

Для реконструкции современного поля напряжений Алтае-Саянской области по методу [1] использованы механизмы очагов землетрясений, произошедшие в 1963-2008гг. ($M=3.3-7.3$). Ранее было получено региональное поле напряжений для района исследования. [2,3]. В настоящей работе проведен анализ полей напряжений для различных участков Алтае-Саянской области и детально исследовано поле напряжений афтершоковых последовательностей двух сильнейших землетрясений: Алтайского 2003г. ($M=7.3$) и Бусингольского 1991г. ($M=6.5$).

Восстановление полей напряжений методом катакластического анализа позволило провести районирование территории по типу напряженного состояния и уточнить ориентацию осей максимального девиаторного сжатия и растяжения. Поля напряжений за счет афтершоковых процессов, восстановленные по разным уровням магнитуд, становятся менее упорядоченными и однородными по мере уменьшения энергии повторных толчков.

Работа была выполнена при частичной поддержке Программой 8 Президиума РАН № 16 и РФФИ (проект № 10-05-01042).

Литература:

1. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига» 2007, 406 с.
2. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Тектонические напряжения земной коры Алтая и Саян. Сборник материалов конференции «Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов» ISBN 978-5-98180-473-1, 2007, с.150-154.
3. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Сычева Н.А. Метод катакластического анализа разрывных нарушений и результаты расчетов современного напряженного состояния в коре вблизи границ плит и для внутриплитных горно-складчатых орогенов. Материалы докладов «Тектоника и актуальные вопросы наук о Земле», М: ИФЗ РАН, 2009, Т.1, с.358-384.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ В АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Смолин И.Ю.^{1,2}, Макаров П.В.^{1,2}, Евтушенко Е.П.^{1,2}, Дядьков П.Г.³

¹ Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

² Томский государственный университет, г. Томск, Россия

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

Работа посвящена численному исследованию напряженно-деформированного состояния элементов земной коры с учетом неоднородности ее блочного строения. На основе схемы блоковой делимости западной части Алтае-Саянской складчатой области на неотектоническом этапе, составленной в ИНГГ СО РАН, были проанализированы модельные структуры земной коры.

Анализ напряженно-деформированного состояния модельных двухмерных структур земной коры выполнен с применением двух подходов. В первом случае использовалась программа, основанная на конечно-разностной схеме Уилкинса для решения задач динамики в двухмерной постановке плоского напряжённого состояния. Для моделирования неупругого отклика геосреды была использована неассоциированная модель Николаевского. В ходе работы была модифицирована схема пересчета напряжений этой модели для случая плоского напряжённого состояния. Во втором подходе были проведены расчеты для тех же модельных двухмерных структур земной коры с применением программного комплекса ANSYS в двухмерной постановке плоского напряжённого состояния для решения статических задач. При моделировании неупругого отклика геосреды была использована упругопластическая модель Друккера-Прагера. Особо обсуждается вопрос выбора граничных условий.

В расчетах пластически деформированными оказались только небольшие части мобильных зон (мягкие блоки), причем деформация в них распределена неоднородно в виде локализованных полос деформации в расчетах конечно-разностным методом. Выявлены также зоны растяжения (отрицательных давлений) внутри мягких блоков вблизи их границ.

Результаты исследований показали, что, зная конфигурацию блоков мобильной зоны, и варьируя граничные условия, можно адекватно спрогнозировать области концентрации напряжений, которые при разрядке могут вызвать сейсмические события. Подобные модельные построения позволяют выявить также возможные участки формирования новых разломов или иных структур.

Работа выполнена в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН на 2009–2011 годы № 114 «Эволюция складчатых областей Центральной Азии и сейсмический процесс» и проекта 4.8 «Эволюция состояния среды в областях современных сейсмических активизаций юга Сибири по данным комплексного геофизического мониторинга» программы фундаментальных исследований Президиума РАН на 2009–2011 годы.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Жигалкин В.М.¹, Усольцева О.М.¹, Семенов В.Н.¹, Рычков Б.А.², Цой П.А.¹

¹ Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

² Кыргызско-Российский Славянский университет

Одним из возможных представлений кругов Мора в пространстве главных напряжений является уравнение гиперболы, связывающее между собой максимальное главное напряжение с минимальным. Подобную связь между вышеуказанными напряжениями можно использовать при определении параметров огибающей к кругам Мора.

Обнаружено соответствие расчетных и экспериментальных значений пределов прочности для образцов доломита и гранита в диапазоне их изменения от одноосного сжатия до трехосного сжатия, причем отношение главных напряжений σ_3/σ_1 должно лежать в диапазоне от 0 до 1/3. Учитывая, что максимальное отличие расчетного от экспериментального значения предела прочности для рассмотренных горных пород составило 18%, можно утверждать, что представленная модель построения кругов Мора удовлетворительно описывает прочностные свойства при различных видах напряженного состояния.

По конкретным диаграммам одноосного сжатия для образцов доломита и гранита, а также значению предела прочности на сжатие и точке касания огибающей соответствующего круга Мора, можно с удовлетворительной для практики точностью прогнозировать значение предела прочности на растяжение.

К ВОПРОСУ О ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р.

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

Комплекс сейсмических и гравитационных наблюдений дает возможность построения обоснованных двумерных сейсмоплотностных моделей коры. По совокупности таких данных можно сделать следующий шаг по изучению состояния вещества на глубине. Он заключается в использовании параметра химической (петрофизической) неоднородности (Буллен К.Е., 1966). Использование этого параметра при изучении структуры и вещественного состава земной коры требует данных о природе его изменений. Естественной попыткой ответить на этот вопрос является использование результатов лабораторных измерений на образцах различных типов горных пород подвергнутых всестороннему сжатию, где вещественный состав постоянен, а вариации параметра связано только с изменением состояния вещества с глубиной (Баюк Е.И, 1988; Christensen N.I., 1996). Изучив природу таких изменений на образцах, можно попытаться оценить влияние состояния вещества в сейсмогравитационных моделях земной коры.

**ДИНАМИКА ОЧАГОВЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ – ИНДИКАТОР
СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА
БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ**

Имаева Л.П., Мельникова В.И., Имаев В.С., Козьмин Б.М.,
Смекалин О.П., Чипизубов А.В.

Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Особенности геодинамического развития и механизм формирования впадин северо-восточного, дистального фланга Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) остаются малоизученными, вследствие недостатка фактических данных о разломной структуре, полях напряжений и геофизических характеристиках. Данное исследование направлено на выявление современного структурного стиля северо-восточного фланга БРЗ и сопряженной системы сейсмогенерирующих структур Западно-Станового блока, в пределах которых произошел ряд сейсмических катастроф с $M > 6,0 - 7,9$.

Современная разломно-блоковая структура (РБС) северо-восточного фланга БРЗ включает серию рифтовых впадин, наиболее крупными из которых являются Кичерская, Верхнеангарская, Муйская и Чарская и разрывных нарушений, входящих в систему основных краевых швов. Они являются наиболее молодыми по образованию частями БРЗ и характеризуются самой высокой скоростью сейсмоструктурных деформаций, выявленных по геолого-структурным, сейсмологическим и геодезическим данным.

Учитывая генезис и местоположение морфоструктурных элементов на территории исследования выделяется пять РБС регионального плана, названия которых созвучны с общепринятыми для краевых швов и крупных разломных зон: Байкало-Муйская, Муйско-Чарская (Кодаро-Удоканская), Желтулакская, Западно-Становая и Чаро-Темулякитская. Устанавливаются два типа сопряжений структур, при котором РБС северо-восточного (Муйско-Чарская, Чаро-Темулякитская) простираний характеризуются праводвиговой кинематикой, а РБС северо-западного и субширотного направления (Западно-Становая и Желтулакская) – имеют леводвиговой тип подвижек. Современная кинематика этих РБС определяется региональным полем тектонических напряжений, связанным с общим сжатием земной коры в широтном и северо-восточном направлении. В современном морфотектоническом плане они формируют на флангах зоны сжатия, орографически выраженные альпинотипными хребтами (Кодар, Удокан, Калар и др.) и структуры растяжения в виде специфических ромбовидных впадин типа «pull-apart» (Кичерская, Верхнеангарская, Муйская, Чарская).

В зоне динамического влияния западного фланга Желтулакского структурного шва, выраженного Намаракитским, Таксимо-Джелидинским, Южно-Муйский и другими новейшими разломами, 27.06.1957г. произошло самое крупное в Восточной Сибири Муйское землетрясение с $M = 7,9$. Общая длина разрыва в очаге основного толчка, состоящего из 3-х последовательно вспарывающихся нарушений, оценивается в $50 + 5$ км. Механизм очага был определен по знакам первых вступлений продольных сейсмических волн и с помощью инверсии форм объемных телесейсмических волн. Решения предполагали комбинации сбросовых и леводвиговых подвижек по субширотно ориентированным плоскостям разломов падающих к юго-западу или к югу, а по плоскостям северо-восточного простирания осуществлялись правые сдвиги. Механизм данного землетрясения полностью отразил взаимодействие региональных структур северо-восточной (Забайкальский блок) и северо-западной (Алдано-Становой блок) ориентировок, развитых в плейстосейстовой области Желтулакского краевого шва.

В 1997 г. на северо-восточном замыкании хр. Удокан к востоку от Токкинской впадины (верховья р. Олдонгсо) был зафиксирован всплеск сейсмической активности в виде роя землетрясений. Результаты структурных исследований показали, что эпицентры

роя, главных событий и афтершоков лежат в пределах одного блока, четко ограниченного разломами и являются единым процессом деструкции земной коры в данном районе.

Разрядка напряжений происходила под действием горизонтального сжатия, вектор которого ориентирован в широтном направлении, и горизонтального растяжения, действующего меридионально, то есть роевый процесс развивался в сдвиговом деформационном поле. Фокальные механизмы землетрясений второй серии толчков показали, что главные события и некоторые их афтершоки были вызваны сбросовыми смещениями по широтно ориентированным плоскостям.

В итоге, современная геодинамика и сеймотектоническая позиция северо-восточного фланга БРЗ и Алдано-Станового блока отражают условия взаимодействия двух крупных блоков, которые характеризуют динамику крупных литосферных плит, сближающихся в северо-восточном направлении с разными скоростями: Евроазиатской (0,2 см/год) и Амурской (1–1,3 см/год).

ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА И ГЕОДИНАМИКА ЮЖНОЙ СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ ПО ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Мордвинова В.В., Треусов А.В., Ананьин Л.В.

Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Изучение глубинной структуры по объемным волнам далеких землетрясений способствует корректным геодинамическим построениям. Двумерным вариантом классической томографии по относительным невязкам времен пробега Р-волн проведены исследования до глубины 600 км под сейсмическими трансектами юга Сибири и Монголии. Тем самым под различными тектоническими районами выявлены основные скоростные особенности в мантии. (1) Вдоль простирания Байкальской рифтовой системы (БРС) обнаружено, что центральные и северо-восточные рифтовые образования расположены над относительно высокоскоростной и достаточно мощной (100–200 км) литосферой окраины Сибирской платформы. (2) На юго-западе БРС область низкой скорости Р волн в земной коре и верхах мантии контрастирует с южным, обрывистым краем кратона, что может свидетельствовать о восходящем из-под платформы мантийном течении. Более явно оно проявляется вдоль трансекта PASSCAL_1992, пересекающего в юго-восточном направлении юг Сибирской платформы, юг озера Байкал и складчатые области Монголии. По выходу на поверхность наиболее интенсивная часть низкоскоростной аномалии совпадает не с Байкальской впадиной (!), а с южными хребтами Хамар-Дабан. Это в значительной степени объясняет кайнозойские структурные изменения в регионе – горообразование, рифтогенез и специфическую сейсмичность. (3) Вдоль субмеридионального трансекта MOBAL_2003, который проходит западнее озера Байкал и пересекает восточный Хангай, обнаруживается сложная низкоскоростная аномалия с максимумом интенсивности в интервале глубин 0–200 км под наивысшим поднятием восточного Хангая. Конфигурация Хангайской аномалии отвечает существующей плюмовой концепции, согласно которой плюм (глубинные флюиды) в верхних горизонтах Земли может создать условия для зон плавления. Наиболее вероятно, что этот горячий плавучий материал поддерживает кору и создает топографическое поднятие Хангая и слабую диффузную сейсмичность.

Выводы, основанные на Р-томографии, подкрепляются более детальными нашими исследованиями методом приемной функции Р-to-S и измерением азимутальной сейсмической анизотропии по фазам SKS. Параметры анизотропии поперек Хангайского поднятия свидетельствуют, что мощность современного СЗ-ЮВ мантийного потока, присутствующего повсеместно в Центральной Азии, увеличивается в низкоскоростной зоне, идентифицируемой с астеносферным поднятием под Хангаем.

В целом становится очевидным, что кайнозойское горообразование и рифтогенез на юге Сибирской платформы и в ее складчатом окружении вероятнее всего вызваны поднимающимся мантийным потоком из-под мало проницаемого древнего Сибирского кратона и связанными с плюмом флюидами, проникающими сквозь разломы деформированной в ходе геологической эволюции окраины кратона.

Работа выполнена при частичной поддержке Интеграционного проекта ОНЗ № 7.4.

РОЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ ЗОН ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СДВИГАНИЯ.

Ребецкий Ю.Л.

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

На основе результатов теоретического тектонофизического анализа, включающего аналитическое моделирование напряжений, исследуются вторичные структуры разрушения, возникающие в массивах горных пород в слое над разломом кристаллического фундамента, испытывающим горизонтальный сдвиг. Реология геосреды – упруго-катакластическое тело. Известно, что для такой среды при нагружении за пределом текучести (в данном случае не истинной пластической – дислокационной, а катакластической – трещинной) результат деформирования и морфология разрывных структур зависят от пути нагружения. С целью изучения структур разрушения, формирующихся в слое над разломом, предлагается в качестве начального рассматривать гравитационное напряженное состояние, сохраняющего девиаторную компоненту. Для исследуемого объекта – упруго-пластического слоя разрывные нарушения возникают еще до смещения крыльев разлома фундамента на начальной стадии нагружения под действием только гравитационного напряженного состояния. Их развитие продолжается в ходе квазиоднородного по глубине и латерали горизонтального сдвигания. Окончательное формирование структурного ансамбля трещин происходит после длительного этапа смещения блоков кристаллического фундамента – стадии локализованного сдвигания.

РОЛЬ ГРАВИТАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ И СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ПРОФИЛЮ ТАРИМ-АЛТАЙ.

Суворов В.Д.¹, Стефанов Ю.П.², Павлов Е.В.¹, Кочнев В.А.³

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

² *Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

³ *Учреждение РАН Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия*

Изучается роль плотностных неоднородностей в земной коре и верхах мантии на напряженно-деформированное состояние земной коры и верхов мантии вдоль комбинированного профиля Тарим-Тянь-Шань-Джунгария-Алтай-Енисейский кряж. Оценивается характер изостатического состояния геологических структур, пересекаемых профилем, и моделируется характер распределения напряжений и деформаций в земной коре при одномерном изменении с глубиной реологических характеристик и двумерном распределении плотности.

БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ФУНДАМЕНТА ЧУЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЗОНАХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ.

Неведрова Н.Н.¹, Санчаа А.М.¹, Деев Е.В.¹, Зольников И.Д.²

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

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

Для территории Чуйской впадины Горного Алтая имеются представительные полевые данные, полученные электромагнитными методами с контролируемым источником в разные годы. Впервые впадина исследовалась в 80-е годы прошлого века в период спокойной сейсмической обстановки, тогда было выполнено ~ 2000 пунктов методами ВЭЗ, ЗС. Современные геоэлектрические измерения начаты после разрушительного Чуйского землетрясения 2003 г. Основной разрыв этого события прослеживается в западной части Чуйской впадины. При подготовке землетрясения и после него существенно изменились гидрогеологические условия Чуйского артезианского бассейна, что является дополнительным основанием использования электромагнитных методов для задач мониторинга сейсмотектонических процессов в этом районе. Электромагнитный мониторинг выполняется с целью изучения процессов консолидации массива горных пород после сильного сейсмического воздействия.

По данным электромагнитных зондирований структура фундамента Чуйской впадины ассиметрична. Наиболее прогнутая часть фундамента, в виде Центрально-Чуйского грабена северо-западного простирания протягивается вдоль Курайского хребта. В районе пос. Ортолык к Центрально-Чуйскому грабену под прямым углом примыкает Елангашский грабен северо-восточного простирания, на территории которого размещены режимные электромагнитные пункты. Неотектонические и современные движения по разломам, ограничивающим блоки фундамента, фиксируются геоморфологическими данными, распределением мощностей осадочного выполнения впадины, по пликративным и дизъюнктивным деформациям осадочных толщ. В настоящее время уточняется разломная блоковая структура осадочного заполнения и верхней части фундамента впадины, а также анализируются временные вариации электропроводности и анизотропии верхних слоев земной коры, связанные с сейсмической активностью.

Результаты электромагнитного мониторинга позволяет сделать вывод, что в течение первых нескольких лет после Чуйского события в эпицентральной зоне наблюдался интенсивный процесс консолидации среды, который выражался закономерными изменениями электрических параметров разреза, направленными на восстановление значений, определенных по данным зондирований в 1980 г., когда состояние среды было стабильно. Далее, начиная с 2007 г. среда находится в новом относительно стабильном состоянии, и наблюдаются вариации, отражающие текущую сейсмичность, афтершоковый процесс. На основе анализа электромагнитных и геологических данных можно выделить пункты, наиболее чувствительные к происходящим сейсмическим событиям и расположенные, скорее всего, в зонах активных разломов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ОЗ. БАЙКАЛ МЕТОДАМИ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА, РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СПЕКЛ- и ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ALOS PALSAR

Чимитдоржиев Т.Н.³, Татьков Г.И.¹, **Тубанов Ц.А.**¹, Захаров А.И.², Дмитриев А.В.³,
Кирбижекова И.И.³.

¹ Учреждение РАН Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Фрязинский филиал Учреждение РАН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия

³ Отдел физических проблем БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Активные деформационные процессы происходят не только на границах крупных блокоразделов ледового покрова оз. Байкал, но и во всем его объеме, вследствие внутривблоковой фрагментации ледовых пластин, находящихся в сложном напряженном состоянии. Для количественной оценки внутривблоковых деформаций, описания движения отдельных блоков важно измерить амплитуды абсолютных и относительных перемещений ледового массива.

В данной работе сделана попытка картировать горизонтальные смещения ледового покрова оз. Байкал методами спутниковой радиолокационной интерферометрии ALOS PALSAR. Вследствие сравнительно больших горизонтальных перемещений ледового покрова для измерений использован метод спекл-интерферометрии, заключающийся в кросс-корреляции малых фрагментов радарных изображений поверхности льда. На основе результатов 2008 и 2010гг. для акватории озера западнее линии Листвянка-Танхой показано, что дрейф ледового покрова за 46-дневный период между съемками равен 6-8 м в юго-восточном направлении, при максимальных смещениях отдельных фрагментов до 15 м. Восточнее данной линии наблюдается тренд смещения с востока на запад, т.е. по направлению возможного течения от основного зимнего притока – р.Селенги к основному стоку – р. Ангаре. Отмечается также некоторое различие в преобладающих направлениях дрейфа ледового покрова: в 2010 – северо-восточное; 2011 – юго-восточное, что, возможно, связано с изменением розы ветров в аномально холодный 2010г. и нарушениями многолетнего порядка становления ледового покрова в 2011г., когда сплошной покров установился первоначально в районе Листвянки и лишь потом, в северной части озера.

По 2011г. представлен результат совместного использования результатов спекл- и дифференциальной интерферометрии. Результаты интерферометрических измерений хорошо согласуются с данными наземных GPS измерений перемещений на тестовом полигоне в районе п. Листвянка.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ ПРИ СДВИГЕ И ДРУГИЕ 3D ЗАДАЧИ

Стефанов Ю.П., Бакеев Р.А.

Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск,
Россия, e-mail stefanov@ispms.tsc.ru

Представлены результаты численного моделирования ряда 3D задач и выполнено сопоставление с некоторыми результатами двумерных исследований.

Рассмотрено формирование зон локализованного сдвига в условиях сдвиговой деформации толщи среды, обусловленной разрывным смещением основания. Получено, что в случае хрупкой среды смещение по разрыву в основании быстро приводит к формированию вертикального разлома, выходящего на поверхность. В более пластичной среде развитие деформации сопровождается формированием в вышележащем слое, расширяющейся к поверхности, области хрупкопластической деформации. В этой области образуются зоны локализованного сдвига, имеющие достаточно сложный пространственный вид. На поверхности и в горизонтальных сечениях четко выделяются полосы Риделя, которые, сужаясь с глубиной, сходятся к разрыву в фундаменте. В вертикальных сечениях вдоль линии разрыва наклон полос меняется от вертикального вблизи поверхности, до горизонтального вблизи разрыва фундамента.

Рассмотрено развитие деформации в образцах горных пород при воздействии жесткого штампа. Выполненные расчеты показали существенное различие в характере развития деформации в случаях круглого и бесконечно протяженного вдоль одной оси штампов, что соответствует 3D и 2D условиям. В первом случае деформация сосредоточена в основном под штампом и вокруг него, на расстоянии порядка его радиуса. Кроме того, возможно формирование как концентрических, так и радиальных зон локализации деформации и трещин, расходящихся от краев штампа и с глубины порядка $5R$. В случае протяженного штампа, т.е. в условиях плоской деформации от краев штампа возможно развитие полос локализованной деформации вглубь образца.

Выполненные исследования показали, что для построения целостной картины напряженно-деформированного состояния, особенно если это касается процессов локализации деформации и разрушения, необходимо трехмерное моделирование. В то же время, для получения общих представлений и первичных оценок о характере процесса могут быть полезными двумерные расчеты. Такие оценки оказываются наиболее верными вблизи источника деформации, который в значительной мере определяет процесс деформации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 11-05-00661-а)

ОПЫТ СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ ЗА 1994-2010 ГГ.

Ружич В.В., Левина Е.А., Пономарева Е.И.

Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Для решения поставленных задач с целью среднесрочного и долгосрочного видов прогноза землетрясений использовалась разработанная в последние годы геоинформационная система "Prediction". В ней применен метод распознавания образов, когда в потоке сейсмических событий выявляются характерные сеймотектонические ситуации, которые могут рассматриваться как важные критерии подготовки землетрясений и содержащие указание на его параметры: место, время и энергию (Ружич, 1997; Ружич, Левина, 2010; и др.). О некоторых параметрах сейсмического режима в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) можно, в частности, судить по сделанным оценкам, приведенным в таблице 1, где указаны энергия и количество землетрясений в БРЗ и значения их вероятности возникновения согласно распределению Пуассона. Таблица 1.

Класс	Количество событий за 50 лет (1950-2000)	Вероятность (P) хотя бы одного события за 10 лет (2001-2010)	Произошло событий за 10 лет (2001-2010)
13	68	1.00	24
14	33	0.99	8
15	9	0.83	3
16	2	0.33	0
17	1	0.18	0

При среднесрочном и долгосрочном видах прогноза землетрясений на периоды ожидания 3 месяца и более в пределах БРЗ, как правило, фиксируются признаки подготовки нескольких очагов ощутимых и сильных землетрясений с $K=12,5-16,5$. В решении вопросов о том, когда и где произойдет реализация подготовки значительных по энергии толчков и заключаются основные трудности решения проблемы их прогноза. Это отличает и усложняет подход к прогнозу, в частности, от такого вида, когда детальный мониторинг ведется за режимом подготовки одного выявленного заранее очага, формирующегося, например, вблизи такого опасного объекта как АЭС. Возникновение землетрясений не является полностью случайным процессом, поскольку выделение сейсмической энергии в результате активизации процессов сеймотектонической деструкции земной коры происходит не равномерно, а квазипериодически, что было показано ранее в ряде работ (Писаренко, Любушин, Ружич и др. 1998). В частности, с конца 80-х годов в БРЗ начался очередной активный период и это объясняет некоторое увеличение вероятности возникновения землетрясений в последние десятилетия. Созданная методика прогноза землетрясений может применяться и в других регионах.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА С УЧЁТОМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГЛУБОКОМ БУРЕНИИ

Ельцов И.Н.¹, Нестерова Г.В.¹, Назарова Л.А.², Назаров Л.А.²

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

² *Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Методика комплексной интерпретации данных электрического и электромагнитного каротажа включает моделирование гидродинамических процессов, протекающих в окрестности скважины. Ранее предполагались постоянные в радиальном от скважины направлении значения пористости и проницаемости в каждом интерпретируемом пропластке. В результате интерпретации и моделирования создавалась электрогидродинамическая модель околоскважинного пространства. При бурении вертикальной скважины, проходящей пачку слоев с пониженными прочностными свойствами, в её окрестности возникают и претерпевают эволюцию зоны необратимых деформаций.

Возникновение зоны необратимых деформаций может вызывать изменение фильтрационно-ёмкостных характеристик среды. Проведены расчёты изменений в радиальном от скважины направлении значений проницаемости и пористости, в зависимости от времени, прошедшем с момента проходки скважины. Данные об изменении пористости и проницаемости вблизи скважины, полученные по результатам геомеханического моделирования, являются входными параметрами для блока гидродинамического моделирования. Изменение гидродинамической модели процессов, протекающих в окрестности скважины сказывается на интерпретации каротажных данных и построении электрогидродинамической модели околоскважинного пространства.

ДИНАМИКА ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ ВО ВРЕМЯ БУРЕНИЯ В РАМКАХ ТЕОРИИ ПОРОУПРУГОСТИ

Шелухин В.В.

Учреждение РАН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

При бурении скважин из-за превышения скважинного давления над пластовым в нефтяной пласт проникает фильтрат бурового раствора и одновременно на внутренней стенке скважины нарастает глинистая корка. Фронт проникновения фильтрата и поверхность корки представляют собой неизвестные границы, подлежащие определению. Указанная задача возникает при электромагнитном каротаже скважин: фронт проникновения необходимо учесть для правильной интерпретации измеряемого электрического сопротивления прискважинной зоны. Ранее исследование зоны проникновения проводилось для случая, когда деформацией пористого скелета можно пренебречь. Однако при больших давлениях в пласте возникают значительные напряжения, которые меняют проницаемость пласта и сказываются на динамике фронта проникновения.

В работе предложена математическая модель динамики напряженного состояния, которая позволяет определить роль деформаций в фильтрационных течениях вблизи скважины. Дано исследование фронта проникновения и проведено сравнение с ранее полученными результатами для жесткого пористого скелета.

МАГНИТОМЕТР И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ВБЛИЗИ ГЕОМАГНИТНОГО ЭКВАТОРА: ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ИЗ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Фассбиндер Йорг Вильгельм Эрих¹, Гук Д.Ю.², Чемякина М.А.³

¹ Баварский Государственный Департамент по охране памятников, г. Мюнхен, Германия, e-mail joerg.fassbinder@blfd.bayern.de

² Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail hookk@hermitage.ru

³ Учреждение РАН Институт Археологии и Этнографии СО РАН, г. Новосибирск, Россия, e-mail chemyakina@archaeology.nsc.ru

Начиная с первого использования магнитометрии для определения местоположения и картографирования магнитных аномалий на месте археологических памятников (Aitken, Webster, Rees, 1958), эта методика и по настоящее время является наиболее широко распространенной и эффективной во всем мире. Известны многочисленные исследования на археологических памятниках в северном полушарии, в то время как сведений об аналогичных работах вблизи геомагнитного экватора не так много.

Причина этого кроется, во-первых, в том, что магниторазведка зарекомендовала себя как надежный метод полевых археологических исследований в Европе, России и Северной Америке, равно как в Китае и Японии, но близ экваториальных широт она пока не получила широкого распространения. Во-вторых, результаты измерений магнитометра в зоне геомагнитного экватора достаточно сложны и требуют глубоких знаний для достоверной археологической трактовки. Комплексные результаты магнитометрии и исследований магнитной восприимчивости грунтов могут существенно повысить возможности такой интерпретации. Мы представляем результаты широкомасштабных магнитометрических исследований археологических памятников вблизи геомагнитного экватора в Боливии, Эфиопии, Шри-Ланке и Йемене, а также на отдельных памятниках в северном полушарии (Россия, Казахстан), для того чтобы показать и объяснить одновременно те сложности и возможности, которыми потенциально обладает методика работ на этих памятниках.

Ключевые слова:

Магнитометрия, исследование магнитной восприимчивости, геомагнитный экватор, Боливия, Эфиопия, Перу, Россия, Шри-Ланка, Йемен.

УЧЕТ ВЕКОВОЙ ВАРИАЦИИ ПРИ ТЕКТОНОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ НА АЛТАЙСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Дядьков П. Г., Кулешов Д.А.

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

Целью данной работы является разработка методики выделения вековой вариации по данным высокоточных геомагнитных наблюдений на локальных участках.

На Алтайском геодинамическом полигоне, включающем около 40 пунктов тектономагнитных наблюдений, проводились измерения модуля полного вектора геомагнитной индукции. Они выполнялись ежегодно, начиная с 2003 г. Размеры полигона составляют порядка 120 на 110 км. с севера на юг и с запада на восток соответственно.

Существуют глобальные модели геомагнитного поля, которые, по мнению ряда авторов, не всегда точно описывают поведение вековой вариации на локальных участках. Поэтому актуальной является задача выделения вековой вариации по данным экспериментальных наблюдений.

Предложенная в работе методика выделения и учета вековой вариации геомагнитного поля позволила выявить тектономагнитные аномалии амплитудой до 2 – 3 нТл в районе расположения основной сейсмодислокации Чуйского землетрясения 2003 года, которые могут отражать особенности афтершокового процесса.

Работа выполнена при поддержке проекта 8 Программы 4 Президиума РАН, программы ОНЗ-7, гос. контракта № 14.740.11.0425, интеграционного проекта 133 СО РАН.

ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБЛАСТЕЙ С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЕ В ГЕОМЕХАНИКЕ

Назаров Л.А., Назарова Л.А.

Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Обоснование технологических параметров процесса заблаговременной дегазации пластов скважинами, проведенными с дневной поверхности, при подготовке к отработке угольных месторождений с повышенным содержанием метана; определение оптимальной скорости продвижения забоя, обеспечивающей безопасный режим эксплуатации выемочного участка при работе угольных комбайнов; оценка размеров зоны проникновения бурового раствора при бурении глубоких скважин на нефть и газ – вот далеко не полный перечень проблем при решении которых возникают задачи о движении жидкостей и газов в областях с изменяющейся конфигурацией внутренних границ.

1. С использованием подхода С.А. Христиановича разработана модель, описывающая приток метана к скважине. Показано, что в ее окрестности возникает увеличивающаяся со временем эллиптическая фильтрационная зона, размеры которой зависят от величины и соотношения компонент горизонтальных напряжений в природном поле. На этой основе предложен способ оптимального расположения на дневной поверхности дегазационных скважин, обеспечивающий полный охват площади пласта и понижение его метанообильности до требуемой величины за заданное время.

2. Предложена методика определения коэффициента диффузии в прискважинной зоне и горизонтальных напряжений во вмещающем массиве горных пород, основанная на разработанном алгоритме решения класса обратных параболических задач для областей с подвижной границей. Исходной информацией является: изменение давления газа в тампонирующей скважине; глубина и мощность пласта; физические свойства газа в нормальных условиях; время от момента вскрытия до тампонирующей и объем измерительной камеры. Уменьшением последних двух параметров можно добиться ускорения процесса стабилизации давления в измерительной скважине и, следовательно, “диагностики” дегазируемого участка массива.

3. Разработан метод оценки модуля Юнга, угла внутреннего трения и сцепления закладочного массива по дискретному множеству данных измерений конвергенции кровли и почвы очистной камеры при удалении фронта горных работ. Сформулирована коэффициентная обратная задача, решение которой сводится к минимизации соответствующего функционала. Анализ результатов численных экспериментов показал, что для определения модуля Юнга необходимо использовать данные о конвергенции, когда фронт очистных работ находится не далее 2-3 мощностей отрабатываемого слоя полезных ископаемых. Это позволило уменьшить на единицу число неизвестных аргументов целевой до двух и на порядок уменьшить время расчета.

ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ОТ ЧАСТОТЫ В МИКРОНЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Сибиряков Е.Б.

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

В работе исследуется зависимость упругих модулей от частоты в контрастных микroneоднородных средах от структуры порового пространства (прежде всего от удельной поверхности). Метод граничных интегральных уравнений был модифицирован для решения задачи о стационарных колебаниях в многосвязных областях. Упругие модули вычислялись как коэффициенты линейной зависимости средних напряжений и средних деформаций в теле.

Для того, чтобы определить и нагрузки и перемещения на всей поверхности тела, необходимо решать упругую задачу для ограниченной области. В случае микroneоднородной среды, эта область будет многосвязной.

Известно, что в сплошной среде упругие модули не зависят от частоты в достаточно широком диапазоне. Однако, в теле, состоящем из материала с постоянными на всех частотах упругими модулями и пор, заполненных флюидом, эффективные упругие модули начинают уменьшаться с ростом частоты стационарных колебаний.

Отмечено также, что падение упругих модулей зависит от удельной поверхности порового пространства.

К ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД, ИСТОЧНИКОВ ВОЗМУЩЕНИЯ, ДЕФЕКТНОСТИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ СМЕЩЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОБНАЖЕНИЙ

Чанышев А.И.¹, Вологин Д.А.², Абдулин И.М.¹

¹ *Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

Суть проблемы: есть поверхность Земли в виде полупространства, есть выработка в виде цилиндрической полости, на границах которых кроме того, что они свободны от напряжений, известны еще смещения. Задача состоит в том, чтобы по этой информации определить напряженно-деформированное состояние (НДС) самого массива пород, включая рассматриваемую границу, бесконечно-удаленные точки, определить в нем дефектность, т. е. наличие отверстий, включений, их расположение, уравнения, давление газа или жидкости в них.

Приводятся алгоритмы и решения простейших задач в случае статического нагружения как для двумерного случая, так и трехмерного. Обсуждаются вопросы применения данной постановки задачи Коши (на границе задаются одновременно сама функция и ее производная по нормали) для предсказания катастрофических событий.

НОВЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА УЧАСТИЯ ФЛЮИДА В СЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Родкин М.В.

Учреждение РАН Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия

Сейсмические явления и значительная часть медленных тектонических деформаций обусловлены процессами локализации деформаций и развитием деформационной неустойчивости в горных породах. Среди обуславливающих такие процессы факторов указываются обычно воздействие глубинного флюидного режима и процессов метаморфических превращений. Однако, несмотря на довольно развитые теоретические представления о роли водного флюида в процессе сейсмогенеза и об изменениях характера взаимодействия флюид-порода с глубиной, прямых подтверждений важной роли флюида в сейсмическом процессе, довольно мало. Надежно установлен только эффект активизации сейсмической активности при увеличении водной нагрузки при заполнении глубоких водоохранилищ и при закачке флюида в глубокие горизонты.

В работе обсуждаются новые свидетельства роли глубинного флюида в сейсмическом процессе. Рассматривались такие параметры как плотность числа событий по глубине, величины кажущихся напряжений, отношения магнитуд m_b/m_w , различия по глубине и времени события при определении характеристик очага по данным о первых вступлениях и при определении параметров сейсмического момента. Также анализируются особенности изменчивости величин наклона графика повторяемости, характерной глубины землетрясений и фрактальной размерности гипоцентров в афтершоковых последовательностях ряда сильных землетрясений. Полученные данные свидетельствуют о наличии в очагах землетрясений легкой флюидной фазы и о типичности эпизодов роевой сейсмичности, могущей быть интерпретированной как следствие эпизодов постепенного отжимания и прорыва к земной поверхности масс флюида.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Дядьков П.Г.², Евтушенко Е.П.¹, Ерёмин М.О.³, **Макаров П.В.**^{1,3}, Перышкин А.Ю.³,
Семинский К.Ж.⁴, Смолин И.Ю.^{1,3}

¹ Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

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

³ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

⁴ Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Разрабатываемая авторами математическая теория эволюции деформируемых твердых тел является наиболее полной прогностической моделью, позволяющей изучать основные качественные черты эволюции геосреды в поле сил. Показано, что эволюционная математическая модель нагружаемой геосреды описывает ее фундаментальное свойство – самоорганизованную критичность, что означает, прежде всего, наличие в нагружаемой среде длинно-корреляционных взаимодействий во всей иерархии масштабов, т.е. отсутствие статистически независимых мезоскопических масштабов. Модель также описывает медленную динамику нагружаемой геосреды и связанную с ней миграцию деформационной активности, что является главнейшими чертами нелинейных систем, обладающих свойством самоорганизованной критичности. Развиваемый подход описывает как медленную квазистационарную фазу формирования очага будущего разрушения, включая наличие зон затишья, так и сверхбыстрый катастрофический этап разрушения (собственно землетрясение). Оказалось, что в процесс формирования очага будущего разрушения значительный вклад вносят деформационные фронты, которые стекаются в очаг будущего крупного события. Начало интенсивной подпитки локальной области деформационными фронтами можно считать началом режима обострения и переходом разрушения в катастрофическую сверхбыструю стадию. Наличие локальных зон затишья и формирование диссипативных структур – цугов медленных деформационных фронтов – можно считать надежными предвестниками активной стадии формирования очага будущего разрушения, что вселяет определенный оптимизм в перспективы прогноза разрушения. Все перечисленные выше результаты получены в численных расчетах решением системы динамических уравнений механики деформируемых твердых тел с эволюционными (кинетическими) уравнениями первой и второй группы [1,2], учитывающими накопление повреждений и деградацию прочности нагружаемой среды, а также включающими положительные и отрицательные обратные связи.

Получены результаты, моделирующие эволюцию складчатых областей Центральной Азии, как результата коллизии с Американской плитой на северо-востоке и Индийской на юго-западе. В качестве структурной модели континента была взята зонно-блоковая карта Центральной и Восточной Азии, составленная К.Ж. Семиным [4]. Рассчитанные поля перемещений хорошо коррелируют с имеющимися наблюдениями по современным смещениям элементов земной коры. Эти расчеты также демонстрируют миграцию деформационной активности и наличие медленных квазистационарных и катастрофических стадий эволюции в локальных областях.

Работа выполнена в рамках Интеграционного проекта СО РАН №114.

Литература:

1. Макаров П.В. // Физ. мезомех., 2008, Т. 11, № 3, 19–35.
2. Макаров П.В. // Физ. мезомех., 2010, Т. 13, № 5, 97–112.
3. Макаров П.В., Смолин И.Ю., Стефанов Ю.П. и др. Нелинейная механика геоматериалов и геосред, Новосибирск: Гео, 2007, 235 с.
4. Семинский К.Ж. // Геология и геофизика, 2008, Т. 49, № 10, 1018–1030.

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ МИГРАЦИЯ В ОЧАГАХ КУЛТУКСКОГО, ЮЖНО-БАЙКАЛЬСКОГО И БУСИЙНГОЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Пономарева Е.И.

Учреждение РАН Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

При изучении механизмов пространственно-временной миграции слабых землетрясений использовались сведения об афтершоковых последовательностях в очагах трех сильных землетрясений: Южно-Байкальского (25.02.99, $K=14,6$; $M_w=6,0$; 51.64 с.ш., 104.82 в.д.), Бусийнгольского (27.12.91, $K=16,2$; $M=6,5$; 50.98 с.ш., 98.08 в.д.) и Култукского (27.08.08, $K=15,9$; $M_w=6,2$; 51.62 с.ш., 104.06 в.д.). Для статистической оценки меняющейся афтершоковой серии применялся программный пакет EQ и новые разработанные приложения к нему (Ружич, Левина, 2010). В процессе изучения анализировались направленность и скоростные параметры миграции последовательностей преимущественно слабых землетрясений в очаговых зонах, а также корреляционные соотношения между параметрами миграции и энергией землетрясений. Установлено, что наибольшая скорость миграции эпицентров афтершоков достигает 92.8 км/ч для очаговых процессов Бусийнгольского землетрясения, энергия которого также имеет наиболее высокие значения из представленной группы. Скорости Култукского и Южно-Байкальского землетрясений существенно меньшие, они примерно одинаковы порядка 27 км/ч.

Полученные результаты пока еще при ограниченной выборке позволяют наметить следующую тенденцию - скорость миграции афтершоков вдоль сейсмогенерирующих разломов в очаговой области уменьшается с уменьшением энергии инициирующих ее землетрясений. Отмечено также постепенное замедление со временем скоростей внутри очаговой миграции землетрясений, что можно объяснить соответствующим снижением уровня напряженного состояния геосреды. Выявленные скорости миграции слабых землетрясений в цепочках афтершоковых последовательностей в очагах землетрясений, по-видимому, обусловлены сеймотектоническими процессами вспарывания сейсмогенных разломов. Они на 4-5 порядков превосходят известные скорости миграции землетрясений в зонах крупных разломов и между ними, что свидетельствует о значительном различии режимов сеймотектонической деструкции в земной коре на разных масштабных и временных уровнях.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ АКТИВИЗАЦИЙ В ЗАПАДНО-ТИХООКЕАНСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ТОХОКУ, 11 МАРТА 2011 Г, М=9

Дядьков П.Г.

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

Анализ пространственно-временного развития трех последних сильнейших активизаций сейсмического процесса за последние 150 лет позволил выявить закономерность их развития в зоне Западно-Тихоокеанской субдукции (Япония и Курилы). Эта закономерность заключается в том, что вначале активизируется область сочленения Японской и Курило-Камчатской островных дуг, и только на последующих стадиях сейсмический процесс развивается на северо-восток к району центральных частей Курильской гряды и на юг – вдоль о. Хонсю. Этот анализ, выполненный два с половиной года назад (итоговый отчет 2008 г. по интеграционному проекту 87 СО РАН), позволил тогда же сделать вывод о вероятной активизации в ближайшие годы области близ центральной части острова Хонсю. Сейсмическая активизация, связанная с землетрясением Тохoku 2011 г., М= 9, подтвердила этот среднесрочный прогноз.

О НЕОБЫЧНО БОЛЬШИХ И НЕОБЫЧНО МАЛЫХ СКОРОСТЯХ ВОЛН РЕЛЕЯ

Прилуос Б.И.

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

Классический подход в изучении характеристик этих волн состоит в рассмотрении в качестве приемлемых лишь действительных корней уравнения для относительной (в сравнении со скоростью поперечных волн) скорости волн Релея. Однако решения этого уравнения могут содержать и комплексные корни, которые по теории микронеоднородных структурированных сред, можно обосновать либо как параметрические резонансы, приводящие к избирательной раскачке амплитуд волн, либо к поглощению. Такие корни свидетельствуют о необычных для классической динамики сплошных сред сценариях поведения среды. Приведены результаты компьютерного анализа таких корней для полного диапазона значений коэффициента Пуассона и представлены домены (области) комплексных корней, соответствующие физически обоснованным дозвуковым, сверхзвуковым и трансзвуковым скоростям волн. Особое внимание уделено решениям задачи о движении источника возмущений с постоянной скоростью в постановке В. Новацкого (классическая сплошная среда) и в постановке Б.Сибирякова (микронеоднородная среда со структурой). Приведены опубликованные данные о моделировании и регистрации движений разломов земной коры со сверхзвуковыми и трансзвуковыми скоростями.

ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Назарова Л.А.¹, Назаров Л.А.¹, Дядьков П.Г.²,
Ярославцев А.Ф.¹, Мирошниченко Н.А.¹, Васильева Е.В.¹

¹ Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

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

Предложен метод поэтапного решения краевых задач на основе иерархии объемных геомеханических моделей. Граничные условия на первом – глобальном уровне формулируются на основе косвенной (сеймотектонической, геодезической) информации о полях напряжений в литосфере. На втором (региональном) и третьем (локальном) уровне для этой цели используются результаты расчетов с предыдущего иерархического уровня, уточняемые по данным измерений *in situ* параметров геомеханических полей. Реализация подхода выполнена для объектов: «Центральной Азия и ее обрамление», «Алтае-Саянская складчатая область», «район рудных месторождений Горной Шории» и «Таштагольское железорудное месторождение». Для последнего объекта построена детальная геомеханическая модель, с использованием которой описан процесс эволюции напряженно-деформированного состояния при его отработке в 1978-2009 гг.

Обоснован подход, позволяющий на основе статистического анализа характеристик пространственно-временного распределения очагов индуцированных горными работами динамических событий установить их количественную связь с параметрами напряженного состояния. Предложенный подход, апробированный с использованием базы данных сейсмических событий Таштагольского месторождения в 1989-2009 гг., позволяет на основе планов горных работ и форвардных расчетов полей напряжений дать прогнозную количественную оценку уровня техногенной сейсмичности и локализации в пространстве очагов динамических явлений при отработке месторождений полезных ископаемых.

МЕТОД ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ГОТОВЯЩЕГОСЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Козлова М.П.¹, Назарова Л.А.², Назаров Л.А.²

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

² Учреждение РАН Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Предложен алгоритм количественной оценки местоположения и параметров очага тектонического землетрясения по данным измерения деформаций на свободной поверхности. В окрестности эпицентра будущего землетрясения происходит локальное повышение деформаций. Мы ассоциировали причину этого с процессом подготовки землетрясения, т.е. возникновения некоторой зоны «зацепления» на тектоническом нарушении. Наш метод позволяет путем решения обратной задачи оценить следующие параметры сейсмического события: амплитуда и ориентация силы в источнике, которую вызывают накопленные напряжения и координаты. Деформации рассчитываются по относительным смещениям пунктов GPS. Алгоритм апробирован на примере юга Западной Сибири в окрестности эпицентра Алтайского землетрясения 27.09.2003г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

Евтушенко Е.П., Макаров П.В., Смолин И.Ю.

Учреждение РАН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия, e-mail eugene@ispms.tsc.ru

Возможность безопасной работы на угольных шахтах в известной степени зависит от того, насколько корректны методы управления кровлей при ведении подземных работ, а значит и от возможности расчета напряженно-деформированного состояния и прогноза поведения геосреды вблизи шахтных выработок. Проблема обрушения кровли над выработанным пространством может быть рассмотрена в рамках нового для механики подхода – математической теории эволюции твердых тел и сред [1].

В настоящей работе моделировалось обрушение кровли в шахте в процессе выработки с использованием эволюционного подхода [2]. Применялся численный эксперимент, основанный на решении конечно-разностных уравнений механики сплошных сред с использованием моделей математической теории эволюции. Модель учитывает внутреннее трение, дилатансию, накопление повреждений и деградацию прочностных характеристик геосреды. Задача решена в двухмерной динамической постановке. Выполнены расчеты первой и последующих посадок кровли в зависимости от скорости движения забоя. Особое внимание уделено исследованию нестационарных неравновесных деформационных процессов в кровле при высоких скоростях движения забоя. Показано, что в кровле формируется иерархия блоков разных масштабов, разделенных полосами локализованных повреждений. Модель описывает этапы медленной подготовительной фазы и сверхбыстрого режима с обострением для поврежденности геосреды. Характерные времена и масштабы этих этапов эволюции определяются нелинейными свойствами геосреды на соответствующем масштабе и задаются эволюционными уравнениями первой и второй групп. Так при высоких скоростях выработки образуются протяженные участки зависшей кровли, и реализуется неравновесный режим обрушения. Показано также, что в зависимости от конкуренции отрицательных обратных связей, стабилизирующих деформационный процесс и сглаживающих неоднородности в распределениях параметров, и положительных обратных связей, обусловленных деградацией нагружаемой среды, сценарий эволюции может меняться от типичного вязкопластического течения до хрупкого поведения.

Литература:

1. Макаров П.В. Математическая теория эволюции нагружаемых твердых тел и сред // Физ. мезомех. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 19–35.
2. Макаров П.В., Смолин И.Ю., Евтушенко Е.П., Трубицын А.А., Трубицына Н.В., Ворошилов С.П. Сценарии эволюции горного массива над выработкой // Физ. мезомех. – 2009. – Т. 12. – №1. – С. 65–82.

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Немирович-Данченко М.М.

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

В работе развит метод расчета сейсмических полей в трещиноватых средах. Трещина в предлагаемой модели – это бесконечно тонкий надрез, на берегах которого ставятся специальные граничные условия. Условия таковы, что волны сжатия проходят без диссипации энергии; для волн растяжения берега трещины свободны от напряжений.

Трещин может быть любое конечное число (в том числе одна или две). При прохождении упругих волн в среде с трещинами последние могут раскрываться и служить источниками излучения. Таким образом, метод позволяет, с одной стороны, адекватно моделировать волновые поля в трещиноватых средах, и, с другой стороны, описывать трещинообразование в горной породе и излучение при этом упругих волн. Рассматриваются трещины, существующие (заданные, или наведенные) либо возникающие и движущиеся в твердом теле. По известной классификации имеется три вида независимых относительных перемещений берегов трещины, то есть три типа трещин. В то время как первые два типа (нормальный отрыв и поперечный сдвиг) могут достаточно объективно рассматриваться с использованием двух пространственных переменных, случай продольного сдвига является трехмерным. В предложенной работе рассмотрены двумерные случаи. Деформирование геосреды предполагается конечным, а поведение – упругим. Расчеты проводятся в рамках модели гипоупругой хрупкой среды. Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 10-05-00699-а.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В СВЯЗИ С КУЛТУКСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ НА ОЗ.

БАЙКАЛ

Мороз Ю.Ф.^{1,2}, Мороз Т.А.²

¹ Учреждение РАН Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Учреждение РАН Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия E-mail: morozyf@kscnet.ru; moroz@irk.ru

Рассмотрены результаты наблюдений вариаций горизонтальных и вертикальной составляющих электромагнитного поля Земли в 9 пунктах, расположенных вокруг южной части оз. Байкал. Показано, что за 20 минут до землетрясения произошло затухание вариаций электрического поля с периодом в первые десятки секунд. Эффект является региональным. Он выражен в вариациях горизонтального магнитного поля. Эффект в электрическом поле проявился в различной мере в пунктах наблюдений. Это связано с особенностью распределения электропроводности геологической среды, выявленной по данным МТЗ.

В поведении электрического поля выражен также косейсмический эффект, вызванный сейсмической волной. Он проявился в большей мере в вертикальном электрическом поле. В электрическом поле внутриземных источников и в поведении электрического типпера выявлены бухтообразные аномалии, предваряющие и сопровождающие Култукское землетрясение. Аномалии по времени согласуются с подъёмом подземных вод в скважине. Обсуждается возможная природа выявленных аномалий.

Предполагается, что в связи с землетрясением увеличились тектонические напряжения в земной коре, которые вызвали поднятие уровня подземных вод. В результате изменилась геоэлектрическая неоднородность и возникли электрокинетические, электрохимические и другие эффекты в верхних частях земной коры, которые проявились аномальным изменением типпера и напряжённости электрического поля, которые явились предвестником сильного Култукского землетрясения.

О ТЕРМО-ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ УПРУГО-ВЯЗКОГО ТЕЛА И О НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Ребецкий Ю.Л.

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

Все современные расчеты конвекции в мантии базируются на модели среды в виде вязкой жидкости, обладающей сжимаемостью только в рамках решения задачи термоупругости (влияние температуры на изменение объема при отсутствии подобного влияния от давления) [Трубицын, Физика Земли, 2008]. Анализируя полученные в этих исследованиях результаты, мы можем задать себе вопрос – насколько можно доверять полученным решениям? Этот вопрос является следствием нашего знания того, что в реальности мантия является твердой кристаллической породой, а не жидкостью, а также пониманием разницы в механизмах осуществления вязкого течения жидкости и ползучести в твердом теле. В монографии Ландау, Лившица [механика сплошных сред. 1954, стр. 775] написано «Неравномерная нагретость твердой среды не приводит к возникновению в ней конвекции, как это обычно имеет место в жидкостях». Под термином «твердая среда» авторы монографии полагали тела, обладающие упругостью и явно выраженным пределом текучести. В классической механике того времени не было задач для больших текучих деформаций. В докладе будет сформулирована постановка задачи о тепловой конвекции в упруго-вязком теле Максвелла, обладающим упругой сжимаемостью. Будут записаны определяющие соотношения задачи для начальной стадии процесса, необходимые для анализа проблемы устойчивости течения. Будет дана постановка задачи о неустойчивости гравитационного напряженного состояния, выполнен анализ параметров, определяющих геометрию ячеек течения твердого тела.

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИКИ РУДНЫХ И УВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ - ВЫВОДЫ О ХАРАКТЕРЕ ИХ ГЕНЕЗИСА

Родкин М.В.^{1,2}, Шатахцян А.Р.²

¹ Учреждение РАН Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия

² Учреждение РАН Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

Общеизвестна огромная роль закона повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера в сейсмологии. В дальнейшем такой тип распределения был выявлен и для многих других природных процессов, причем проявления такого типа распределения является указанием на существенно неравновесный характер соответствующей порождающей системы. Применительно к случаю величин запасов и концентраций полезных ископаемых обычно предполагается, что степенное соотношение характерно для величин запасов месторождений и логнормальное – для значений концентрации. Для углеводородных месторождений степенное распределение числа месторождений от величины запасов установлено достаточно надежно и используется для прогноза ожидаемого числа еще не открытых месторождений разного ранга. В рудной геологии характер распределения концентраций руд и числа месторождений от объема запасов остается пока дискуссионным.

По аналогии с сейсмологией можно ожидать, что исследование законов распределения величин запасов и концентрации окажется полезным для понимания процессов формирования месторождений. Для анализа характера распределений использованы данные ГИС КСКМ по крупным и суперкрупным рудным месторождениям мира и данные по статистике УВ месторождений. Выявлен ряд неизвестных ранее эмпирических соотношений между параметрами распределений величин запасов и концентраций рудных компонент и значениями концентраций соответствующих компонент в составе верхней и нижней континентальной коры. Обсуждаются модели генезиса месторождений, приводящие к реализации выявленных эмпирических соотношений.