

**РОССИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
им. А.А. ТРОФИМУКА**



**Новосибирск  
29 июля-2 августа 2013 г.**

## СЕМИНАР «ГЕОДИНАМИКА. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА»

**Организатор:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

**Председатели оргкомитета:**

академик Добрецов Н.Л.

академик Эпов М.И.

**Члены оргкомитета:**

д.ф.-м.н. Сибиряков Б.П.

д.г.-м.н. Суворов В.Д.

к.г.-м.н. Мельник Е.А.

к.ф.-м.н. Сибиряков Е.Б.

**Секретарь оргкомитета:**

к.г.-м.н. Киселева Л.Г.

*Семинар проводится при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-05-06044-г) и  
Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

**Представление докладов:** продолжительность устных докладов 20-40 минут, включая ответы на вопросы. Для демонстрации материала предоставляется компьютер и мультимедийный проектор.

**Место проведения:** Россия, г. Новосибирск, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, проспект Академика Коптюга 3. Конференц-зал Отделения геофизики ИНГГ СО РАН (к. 315, корпус геофизики).

Регистрация участников будет проводиться **29 июля с 9:00 до 9:30** в конференц-зале Отделения геофизики ИНГГ СО РАН (к. 315, корпус геофизики).

**29 июля**

**Утреннее заседание**

- 9:30-9:35 *Заместитель председателя Сибирского отделения РАН, академик Эпов М.И.* Вступительное слово.
- 9:35-10:00 *Ребецкий Ю.Л.<sup>1</sup>, Добрецов Н.Л.<sup>2</sup>, Маринин А.В.<sup>1</sup>, Сим Л.А.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>ИФЗ РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН).* Пространственная неоднородность напряженного состояния коры и проблема временной привязки результатов реконструкции палеонапряжений.
- 10:00-10:40 *Пантелеев И.А., Наймарк О.Б., Плехов О.А. (ИМСС УрО РАН).* Анализ механизмов релаксации напряжений массивами горных пород на основе статистической модели геосреды с дефектами.
- 10:40-11:20 *Сибиряков Б.П. (ИНГГ СО РАН).* Возникновение пластичности на поверхностях блоков в геологических средах.

Перерыв

11:20-11:35

- 11:35-12:05 *Стефанов Ю.П., Бакеев Р.А. (ИФПМ СО РАН).* Структура и напряженно-деформированное состояние зоны нарушений при разрывном сдвиге основания.
- 12:05-12:30 *Назарова Л.А., Усольцева О.М., Цой П.А., Семенов В.Н., Назаров Л.А. (ИГД СО РАН).* Теоретическое и экспериментальное исследование генезиса и эволюции нарушений сплошности в геоматериалах.
- 12:30-12:55 *Суворов В.Д.<sup>1</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>2</sup>, Павлов Е.В.<sup>1</sup>, Мельник Е.А.<sup>1</sup>, Кочнев В.А.<sup>3</sup> (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>ИФПМ СО РАН, <sup>3</sup>ИВМ СО РАН).* Геомеханические условия эволюции горных систем и их корней.

Обед

13:00-14:00

**Вечернее заседание**

- 14:00-14:30 *Роменский Е.И.<sup>1</sup>, Лысь Е.В.<sup>2</sup>, Чеверда В.А.<sup>2</sup>, Эпов М.И.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ИМ СО РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН).* Влияние начальных напряжений в геологических средах на процессы распространения сейсмических волн.

- 14:30-15:10 **Стажевский С.Б.** (ИГД СО РАН). Об «уроках» Кольской сверхглубокой.
- 15:10-15:35 **Назаров Л.А.<sup>1</sup>, Карчевский А.В.<sup>2</sup>, Родин Р.И.<sup>3</sup>, Назарова Л.А.<sup>1</sup>** (<sup>1</sup>ИГД СО РАН, <sup>2</sup>ИМ СО РАН, <sup>3</sup>ИУ СО РАН). Прямые и обратные задачи массопереноса в углепородном массиве: новый подход к определению начального содержания газа.
- 15:35-16:05 **Ильин В.П.** (ИВМиМГ СО РАН, НГУ). Концепция вычислительной интегрированной среды для моделирования в геодинамике, геомеханике и геофизике.

Перерыв  
16:05-16:20

- 16:20-16:45 **Федоров А.И., Давлетова А.Р.** (ООО «РН-УфаНИПИнефть»). Разработка программного обеспечения для расчета напряженного состояния пласта в присутствии стационарных и растущих трещин.
- 16:45-17:10 **Давлетбаев А.Я., Рабцевич С.А.** (ООО «РН-УфаНИПИнефть»). Промысловые исследования по изучению развития техногенных трещин в нагнетательных скважинах и их интеграция в гидродинамические модели.
- 17:10-17:30 **Дискуссия.**

**30 июля**

**Утреннее заседание**

- 9:30-10:00 **Богомолов Л.М.** (ИМГиГ ДВО РАН). От гипотезы «подземных гроз» к моделям взаимосвязи сейсмичности и электромагнитных эффектов.
- 10:00-10:25 **Бондур В.Г.<sup>1</sup>, Гарагаш И.А.<sup>2</sup>, Гохберг М.Б.<sup>2</sup>, Стеблов Г.М.<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>НЦ аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», <sup>2</sup>ИФЗ РАН). Эволюция напряженного состояния Южной Калифорнии на основе геомеханической модели и текущей сейсмичности.
- 10:25-10:50 **Ребецкий Ю.Л., Лермонтова А.С.** (ИФЗ РАН). О проблеме дальнедействующего влияния очагов землетрясений.
- 10:50-11:15 **Тимофеев В.Ю.<sup>1</sup>, Ардюков Д.Г.<sup>1</sup>, Тимофеев А.В.<sup>1</sup>, Кулинич Р.Г.<sup>2</sup>, Валитов М.Г.<sup>2</sup>, Стусь Ю.Ф.<sup>3</sup>, Калиш Е.Н.<sup>3</sup>, Дюкарм Б.<sup>4</sup>, Горнов П.Ю.<sup>5</sup>, Сизиков И.С.<sup>3</sup>, Кошчицова Т.Н.<sup>2</sup>, Прошкина З.Н.<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>ТОИ,

<sup>3</sup>ИАиЭ СО РАН, <sup>4</sup>Catholic University of Louvain, Centre for Earth and Climate Research, Belgium, <sup>5</sup>ИТuГ ДВО РАН). Исследование косейсмических эффектов в дальней зоне японского землетрясения (Tohoku-Oki) 11.03.2011 (mw = 9.0).

Перерыв  
11:15-11:30

- 11:30-11:55 **Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Громыко А.В., Соловьев В.М. (ГС СО РАН).** Возможности сейсмологии в контроле крупных промышленных объектов.
- 11:55-12:20 **Лалин П.С. (ИНГГ СО РАН).** Морфогенез земной поверхности и сейсмичность Западного Саяна.
- 12:20-12:45 **Кучай О.А.<sup>1</sup>, Кальметьева З.А.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>ЦАИИЗ).** Особенности поля напряжений и деформаций разломной зоны.
- 12:45-13:00 **Татаурова А.А. (ИНГГ СО РАН).** Поле напряжений и сеймотектонические деформации по данным очагов землетрясений о. Сахалина.

Обед  
13:00-14:30

#### **Вечернее заседание**

- 14:30-15:00 **Еманов А.Ф.<sup>1,2</sup>, Еманов А.А.<sup>1,2</sup>, Фатеев А.В.<sup>1,2</sup>, Лескова Е.В.<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>АСФ ГС СО РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН).** Инициирование наведенной сейсмичности шахт и карьеров Кузбасса.
- 15:00-15:25 **Бушенкова Н.А., Кучай О.А., Червов В.В. (ИНГГ СО РАН).** Комплексный анализ блоковой делимости Горного Алтая и прилегающих территорий.
- 15:25-15:45 **Лунёв Б.В., Лапковский В.В., Истомин А.В. (ИНГГ СО РАН).** Моделирование конвективной неустойчивости континентальной «термической литосферы» и ее геологических последствий.
- 15:45-16:05 **Копейкин А.В. (ИНГГ СО РАН).** Дисперсия размеров блоков и искажение закона Гутенберга-Рихтера.

Перерыв

16:05-16:20

- 16:20-16:50 **Еремин М.О.**<sup>1,2</sup>, **Перышкин А.Ю.**<sup>2</sup>, **Макаров П.В.**<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>ИФПМ СО РАН, <sup>2</sup>ТГУ). Моделирование тектонического течения и сейсмического процесса в Алтае-Саянском регионе.
- 16:50-17:10 **Тимофеев В.Ю.**, **Ардюков Д.Г.**, **Тимофеев А.В.** (ИНГГ СО РАН). Реологические параметры по измерениям деформаций и смещений земной поверхности.
- 17:10-17:30 **Дискуссия.**

**31 июля**

**Утреннее заседание**

- 9:30-10:00 **Писецкий В.Б.**, **Латин С.Э.**, **Зудилин А.Э.**, **Бабенко А.Г.**, **Абатурова И.В.**, **Патрушев Ю.В.**, **Александрова А.В.**, **Шинкарьук В.А.** (УГГУ). Методы и технологии прогноза структуры и оценки параметров геодинамического состояния геологической среды по сейсмическим данным в приложениях нефтегазовой, горнодобывающей и строительной отраслях.
- 10:00-10:25 **Богомолов Л.М.**, **Каменев П.А.** (ИМГиГ ДВО РАН). Феноменологические подходы к оценкам геомеханических параметров осадочных пород по данным каротажа скважин (на примере о. Сахалин).
- 10:25-10:55 **Стефанов Ю.П.**<sup>1</sup>, **Бакеев Р.А.**<sup>1</sup>, **Ахтямова А.И.**<sup>2</sup>, **Киндюк В.А.**<sup>3</sup> (<sup>1</sup>ИФПМ СО РАН, <sup>2</sup>ТГУ, <sup>3</sup>ИНГГ СО РАН). О параметрах некоторых моделей деформации горных пород за пределом упругости.

Перерыв

10:55-11:10

- 11:10-11:40 **Чанышев А.И.**, **Абдулин И.М.** (ИГД СО РАН). Задача Коши в геомеханике. Статика и динамика. Примеры простейших постановок и методов решения задач Коши.
- 11:40-12:05 **Шелухин В.В.** (ИГиЛ СО РАН). Потенциал самополяризации в деформируемой пористой среде: геофизические приложения.

- 12:05-12:35 **Орлов Ю.А.** (ИНГГ СО РАН). Томография данных, полученных на основе приближенного решения обратной динамической задачи.
- 12:35-13:00 **Сибиряков Е.Б.** (ИНГГ СО РАН). Отражение волн от шероховатых границ.

Обед  
13:00-14:30

**Вечернее заседание**

- 14:30-14:55 **Кульков С.Н.**<sup>1,2</sup>, **Суворов В.Д.**<sup>4</sup>, **Похиленко Л.Н.**<sup>3</sup>, **Стефанов Ю.П.**<sup>1</sup>, **Буякова С.П.**<sup>1,2</sup>, **Кульков А.С.**<sup>2</sup>, **Чернышов А.И.**<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ИФПМ СО РАН, <sup>2</sup>ТГУ, <sup>3</sup>ИГМ СО РАН, <sup>4</sup>ИНГГ СО РАН). Механические свойства и структурные характеристики перидотитов при активной деформации сжатием.
- 14:55-15:20 **Кочнев В.А.**, **Гоз И.В.**, **Поляков В.С.** (ИВМ СО РАН). Проблемы сейсморазведки в сложных палеотектонических условиях Восточной Сибири и опыт их решения.
- 15:20-15:45 **Неведрова Н.Н.**, **Санчаа А.М.**, **Деев Е.В.** (ИНГГ СО РАН). Характеристики краевых структур Курайской впадины по данным геоэлектрики с контролируемым источником.
- 15:45-16:05 **Александрова Н.И.** (ИГД СО РАН). Распространение волн в двумерной модели блочной среды.

Перерыв  
16:05-16:20

- 16:20-16:45 **Беляшов А.В.**<sup>1</sup>, **Суворов В.Д.**<sup>2</sup>, **Мельник Е.А.**<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ИГИ, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН). Строение верхней части разреза Семипалатинского испытательного полигона по данным сейсмотомографии и прямого лучевого моделирования.
- 16:45-17:10 **Яскевич С.В.**<sup>1</sup>, **Дучков А.А.**<sup>1</sup>, **Немирович-Данченко М.М.**<sup>1</sup>, **Стефанов Ю.П.**<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>ИФПМ СО РАН). Микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта.
- 17:10-17:30 **Дискуссия.**

## 1 августа

### Утреннее заседание

- 9:30-10:00 **Чанышев А.И.** (ИГД СО РАН). О допустимых формах соотношений упругости, пластичности, запредельного деформирования горных пород.
- 10:00-10:25 **Еманов А.А.<sup>1,2</sup>, Еманов А.Ф.<sup>1,2</sup>, Лескова Е.В.<sup>1,2</sup>, Фатеев А.В.<sup>1,2</sup>** (<sup>1</sup>АСФ ГС СО РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН). Структурные особенности совокупностей афтершоков Чуйского землетрясения и физика разрушения.
- 10:25-10:50 **Лескова Е.В.<sup>1,2</sup>, Еманов А.А.<sup>1,2</sup>** (<sup>1</sup>АСФ ГС СО РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН). Иерархическая модель напряженного состояния блоковой структуры Чуйско-Курайской зоны Алтая.

### Перерыв

10:50-11:05

- 11:05-11:45 **Овчинников С.Г.<sup>1</sup>, Плоткин В.В.<sup>2</sup>, Дядьков П.Г.<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>ИФ СО РАН, <sup>2</sup>ИНГГ СО РАН). Прогнозирование металлического слоя в нижней мантии Земли и его проявления в геомагнитных данных.
- 11:45-12:10 **Кочнев В.А.** (ИВМ СО РАН). Обоснование кинематико-гравитационной модели геодинамо.
- 12:10-12:35 **Григорьев А.С., Шилько Е.В., Астафуров С.В., Димаки А.В., Псахье С.Г.** (ИФПМ СО РАН). Диагностика напряженного состояния границ раздела структурных элементов в блочных средах.
- 12:35-13:00 **Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р., Павлов Е.В.** (ИНГГ СО РАН). Петрофизическая интерпретация сейсмогравитационных данных о структуре земной коры под Муйской впадиной.

### Обед

13:00-14:30

### Вечернее заседание

- 14:30-14:55 **Хисамутдинов А.И., Пахотина Ю.А.** (ИНГГ СО РАН). О компьютерном восстановлении плотности формации по данным измерений гамма-гамма метода.



- 14:55-15:20 **Прилоус Б.И.** (ИНГГ СО РАН). О решении фундаментальной проблемы теории структурированного континуума для микронеоднородных сред.
- 15:20-15:50 **Ребецкий Ю.Л.** (ИФЗ РАН). О новой форме неустойчивости верхних слоев тектоносферы.
- 15:50-17:30 **Заключительная дискуссия.**

### **2 августа**

Экскурсия на стационар ИНГГ СО РАН  
«Быстровский вибросейсмический полигон»  
Отъезд в 9:00 от главного корпуса ИНГГ СО РАН.

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРЫ И ПРОБЛЕМА ВРЕМЕННОЙ ПРИВЯЗКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ

Ребецкий Ю.Л.<sup>1</sup>, Добрецов Н.Л.<sup>2</sup>, Маринин А.В.<sup>1</sup>, Сим Л.А.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ИФЗ РАН, г. Москва; <sup>2</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Результаты региональной тектонофизической реконструкции палеонапряжений по зеркалам скольжения часто показывают существование для соседних участков коры резко различающихся геодинамических режимов таких как: горизонтальное растяжения, сжатие и сдвиг. Не редки случаи, когда данные о зеркалах скольжения одного обнажения также показывают наличие здесь в прошлом разных геодинамических режимов. Стандартной интерпретацией этих результатов тектонофизических реконструкций является объединение участков коры с одним и тем же геодинамическим режимом в один временной этап деформирования. Таким образом, для региона выделяют этапы, для которых его кора повсеместно испытывала либо горизонтальное растяжение, либо горизонтальное сжатие, либо горизонтальный сдвиг. Это является основой выделения режимов типа рифтового или субдукционного.

С другой стороны изучение современного напряженного состояния коры горно-складчатых орогенов по сейсмологическим данным о механизмах очагов землетрясений показывает, что в одно и тоже время разные участки коры одного региона могут иметь разные геодинамические режимы. Установлено, что в областях горных поднятий и увеличенной мощности коры часто наблюдается субгоризонтальное положение осей максимального сжатия (режимы горизонтального сжатия или сдвига). В областях крупных межгорных долин, предгорных прогибов и больших осадочных бассейнов наиболее часто субгоризонтальна ориентация осей максимального девиаторного растяжения (режимы горизонтального растяжения и сдвига).

Подобный результат позволяет поставить под сомнение правильность объединения в результатах регионального палеостресс анализа участков с близким типом геодинамического режим в один этап деформирования. С большой вероятностью можно предположить, что в уже прошедшие геологические времена также как это наблюдается сегодня возможно сосуществование разных геодинамических режимов для участков одного региона, имеющих разную палеоморфологию. Таким образом, наличие разнородных геодинамических режимов может оказаться не признаком смены рифтового этапа на субдукционный и наоборот, а орогенный этап развития коры, сочетающего в себе области поднятий и прогибов. В этом случае при достаточной длительности орогенного этапа может создаваться возможность смены направленности вертикальных движений отдельных участков коры, что приводит к формированию в одном участке коры зеркал скольжения, соответствующих совершенно разным геодинамическим режимов.

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ МАССИВАМИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕОСРЕДЫ С ДЕФЕКТАМИ

**Пантелеев И.А.**, Наймарк О.Б., Плехов О.А.  
*ИМСС УрО РАН, г. Пермь, pia@icmm.ru*

Авторами предложено использование оригинальной концепции структурно-скейлинговых переходов в ансамбле дефектов структуры геосреды для моделирования стадии локализованного лавинообразного роста дефектов, ассоциируемой с моментом наступления отдельного сейсмического события. Процедура усреднения позволяет естественным образом ввести единственный безразмерный параметр среды с дефектами, определяемый отношением двух характерных масштабов: среднего размера дефектов и среднего расстояния между ними. Данный параметр является единственным параметром, определяющим особенности поведения системы в процессе разрушения, его структура, аналогичная концентрационному параметру, введенному в работах Куксенко В.С., Журкова С.Н., позволяет высказать гипотезу «статистической автомодельности» - существование единого сценария развития несплошностей в среде на широком спектре пространственных масштабов от лабораторного до геологического.

Математическая модель поведения геосреды с дефектами в поле внешних напряжений позволяет описать основные способы релаксации напряжений массивами горных пород: хрупкое крупномасштабное разрушение и катакластическое деформирование, которые являются следствиями коллективного поведения дефектов, определяемого величиной параметра структурного скейлинга.

В предположении, что появлению одиночного землетрясения соответствует момент обострения (обращения в бесконечность) одиночной локализованной дефектной структуры, проведено численное моделирование обострения одиночной локализованной структуры возмущением поля напряжения. При этом показано, что величина флуктуации напряжения, вызывающая процесс обострения структуры зависит от близости системы к критическому состоянию. Учёт эволюции дефектной структуры среды позволил провести численное моделирование процесса распространения «медленных» волн – возмущений поля напряжения и плотности дефектов, распространяющихся со скоростью намного меньшей характерной скорости звука в среде. В заключении показано, что процесс эволюции одиночной дефектной структуры генерирует возмущение поля напряжения, способное инициировать соседние равновесные локализованные дефектные структуры и создать условия для развития каскада землетрясений.

Полученные результаты могут быть полезны для оценки критических напряжений и состояний геосреды в сейсмоактивных районах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 11-05-96005-р\_урал\_a, № 12-05-00670-а) и гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых Российских ученых-кандидатов наук (МК-6741.2013.1).

## **ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ БЛОКОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

**Сибиряков Б.П.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В настоящее время упругость и пластичность представляют собой принципиально разные модели поведения деформируемого твёрдого тела. Они ничем не связаны между собой. Многочисленные опыты показывают, что пластичность возникает и локализуется практически на поверхностях структур, составляющих твёрдое тело. Переход в особое состояние, так чтобы малая часть объёма среды (окрестность некоторой поверхности) перешла в состояние пластического течения, а основная часть среды продолжала бы находиться в упругом состоянии, не может быть описан в рамках классического континуума Коши и Пуассона. Такая модель континуума ставит нас перед альтернативой. Либо весь объём перешёл в пластическое состояние, либо пластичности нет вообще.

Однако, в рамках модели континуума со структурой, которая развивается последнее десятилетие в ИНГГ СО РАН, такие состояния оказываются возможными и могут быть конструктивно описаны. При этом линии (поверхности) скольжения разделены друг от друга расстоянием порядка средних размеров структуры, а не следуют бесконечно часто, как в обычной теории пластичности. Тем самым, энергия перехода в пластическое состояние оказывается исключительно малой, так как основная часть объёма среды находится в состоянии упругости. Это обстоятельство приводит к плавному появлению пластичности в окрестности поверхностей (или линий скольжения в плоском случае). Такие решения получаются в результате интегрирований уравнения равновесия для блочных сред с большим (теоретически бесконечным) числом степеней свободы.

Кроме того, как в упругости, так и в пластичности, существует проблема перехода медленных движений в движения быстрые. Сейчас это также два абсолютно разных явления. Модель континуума со многими степенями свободы отвечает на вопрос о появлении инерционных сил в ходе медленных процессов.

## СТРУКТУРА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗОНЫ НАРУШЕНИЙ ПРИ РАЗРЫВНОМ СДВИГЕ ОСНОВАНИЯ

Стефанов Ю.П., Бакеев Р.А.

*ИФПМ СО РАН, г. Томск, stefanov@ispms.tsc.ru*

В 3D постановке выполнено численное исследование формирования нарушений в упруго-хрупкопластическом слое среды, который находится под действием силы тяжести и лежит на двух жестких блоках. Продольное 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.

Рассмотрены особенности строения зон локализации деформации на разных этапах развития, от зарождения нарушений вблизи разреза в основании, до выхода на поверхность и соединения отдельных участков в линию разлома. Проведенные расчеты показали, что в условиях разрывного горизонтального сдвига основания, возможно формирование двух принципиально различных структур. В первом типе основными являются наклонные поверхности Риделя, ориентированные под небольшим углом наклона в горизонтальной плоскости и узкой зоной 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 образовании впоследствии двух магистральных разрывов.

Полученные результаты численного моделирования показали, что структура нарушений, в условиях продольного сдвига, зависит от упругих и прочностных свойств среды. Кроме того, их строение зависит от толщины деформируемого слоя, т.е. глубины исходного разреза в основании. При толщине слоя 4 км, в зависимости от параметров среды наблюдалось формирование структур обоого типа. Для 9 км слоя характерным являлось образование структуры второго типа.

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

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ В ГЕОМАТЕРИАЛАХ

Назарова Л.А., Усольцева О.М., Цой П.А., Семенов В.Н., Назаров Л.А.  
*ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

Деформирование и разрушение массива горных пород и геологических объектов различного масштабного уровня во многом определяется наличием нарушений сплошности и разломов. Механические свойства таких структурных элементов определяются, как правило, в лабораторных условиях с последующим «переносом» полученных данных на реальные объекты с использованием критериев подобия или вводом коэффициентов запаса прочности и структурного ослабления. Процессы возникновения разломов в изначально сплошной среде моделируются исключительно на эквивалентных материалах с низкими прочностными характеристиками.

В настоящей работе теоретически обоснованы и экспериментально апробированы методы построения уравнений состояния нарушений сплошности, возникающих при предельном деформировании геоматериалов (нормальное и касательное нагружение).

На основе разработанной ранее геомеханической модели определены фрактальная размерность контактной поверхности и нормальная жесткость нарушений сплошности, возникающих в образцах горных пород при испытании по методу “бразильская проба”, что позволило синтезировать уравнение состояния при нормальном деформировании.

Создана оригинальная установка для исследования поведения нарушений сплошности при двухосном нагружении образцов горных пород. Для искусственных геоматериалов выполнено физическое моделирование процесса возникновения и развития нарушений сплошности. Разработана и по данным лабораторных испытаний верифицирована геомеханическая модель эксперимента. Это позволило синтезировать уравнение состояния сдвигового деформирования вновь образующихся нарушений сплошности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 12-05-01057а).

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭВОЛЮЦИИ ГОРНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОРНЕЙ

Суворов В.Д.<sup>1</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>2</sup>, Павлов Е.В.<sup>1</sup>, Мельник Е.А.<sup>1</sup>, Кочнев В.А.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup> ИФПМ СО РАН, г. Томск;  
<sup>3</sup> ИВМ СО РАН, г. Красноярск

В рамках упруго-хрупко-пластической 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 горизонтальном сжатии. 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 упруго-пластических 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, прогиба 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 упруго-пластическую деформацию и образование зон ее локализации, формирующих изменяющийся рельеф дневной поверхности, внутрикоровой 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.

## **ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ НА ПРОЦЕССЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН**

**Роменский Е.И.**<sup>1</sup>, Лысь Е.В.<sup>2</sup>, Чеверда В.А.<sup>2</sup>, Эпов М.И.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> *ИМ СО РАН, г. Новосибирск;* <sup>2</sup> *ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;*

Трёхмерно-неоднородное строение Земли и постоянно протекающие в ней тектонические и геодинамические процессы порождают зоны аномальной (как повышенной, так и пониженной) концентрации напряжений, влияющие на распространение сейсмических волн. В работе представлена математическая модель и созданный на её основе программно-алгоритмический комплекс, предназначенный для исследования проявлений предварительно напряженного состояния в сейсмических волновых полях в масштабах, характерных для решения практических задач. Для этого сформулированы определяющие уравнения распространения волн малой амплитуды в упругих средах с начальными напряжениями. Полученные уравнения представляют собой гиперболическую систему дифференциальных уравнений первого порядка, неизвестными функциями в которой являются вектор скорости, тензор напряжений и вектор поворота элемента среды. Численно решены задачи, демонстрирующие существенное влияние предварительных напряжений на характеристики распространения волн.



## ОБ «УРОКАХ» КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ

**Стажевский С.Б.**

*ИГД СО РАН, г. Новосибирск, gmmlab@misd.nsc.ru*

Рассматриваются результаты, полученные при бурении в Печенгском прогибе Балтийского щита Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3). Обосновывается, что их радикальные отличия от прогнозировавшихся объясняются проходкой скважины в границах эндогенной кольцевой структуры. Появилась она в результате обрушения и оседания архейских пород в коровый «дефект». Образовался последний вследствие дегазации насыщенного высоконапорными флюидами глубинного очага. Смещения пород по падению протекали подчиняясь вполне определенным закономерностям, продиктованным дилатансией. Сопровождалось погружение деформируемой геосреды плотностными изменениями, поступлением в нее мантийных флюидов, формированием Печенгского прогиба и его компенсацией протерозойским вулканогенно-осадочным комплексом. Проводниками флюидов на вышележащие горизонты становились представляющие собой полосы максимального разуплотнения геоматериалов организовавшие кольцевую структуру поверхности скольжения. Они же стали каналами для интродуцируемых с мантийных глубин Земли несущих медно-никелевое оруднение серпентинизированных перидотитов, которые сконцентрировались в северо-восточном крыле Печенгского прогиба, а также для растворов, несущих иную рудную минерализацию.

Механика горных пород, результаты, полученные в ходе бурения СГ-3 и изложенные модельные представления позволили определиться с местом рассматриваемой кольцевой структуры в геотектонической картине Кольского полуострова, объяснить происхождение под Печенгским прогибом отражающих площадок, инверсионных этажей, границы Мохоровичича, а также сделать некоторые обобщения.

## ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ МАССОПЕРЕНОСА В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ: НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАЧАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ГАЗА

Назаров Л.А.<sup>1</sup>, Карчевский А.В.<sup>2</sup>, Родин Р.И.<sup>3</sup>, Назарова Л.А.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ИГД СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup> ИМ СО РАН, г. Новосибирск;  
<sup>3</sup> ИУ СО РАН, г. Кемерово

Предварительная дегазация – обязательная операция при подготовке к отработке угольных залежей, предназначенная для уменьшения опасности внезапных выбросов. Для проектирования оптимального расположения скважин и оценки времени дегазации необходимо установить производительность одиночной скважины и начальное газосодержание пласта.

Угольные пласты обладают природной трещиноватостью, поэтому разработана двухуровневая геомеханическая модель окрестности дегазационной скважины, которая учитывает блочную структуру объекта, напряженно-деформированное состояние массива и фильтрационно-емкостные параметры объекта. Эмиссия метана из блоков описывается:

- ♦ двумерной моделью диффузии с нелинейными условиями массообмена на границах;
- ♦ фильтрационной моделью движения газа по трещинам, раскрытие которых увеличивается вследствие усадки угольного вещества в процессе десорбции.

Известный метод определения начального содержания газа  $C_0$  в угле-“canister test”, заключается в регистрации давления газа в герметичной емкости с только что отбитой пробой угля. Интерпретация полученных данных проводится с использованием простых интегральных соотношений [1], не принимающих во внимание, в частности, гранулометрический состав пробы и кинетику десорбции.

В настоящей работе разработан новый метод интерпретации данных “canister test”, позволяющий не только установить величину  $C_0$ , но и определить коэффициенты диффузии и массопереноса.

Метод основан на решении обратной задачи, входные данные для которой должны быть получены по результатам измерения давления в двух емкостях с одинаковыми пробами угля, но герметизированными в различные моменты времени. Численные эксперименты с использованием синтетических данных показали, что обратная задача имеет единственное решение, причем значение  $C_0$  определяется с погрешностью не более 5%, если уровень шума во входных данных достигает 50%.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 13-05-00782) и Интеграционного проекта СО РАН № 99.

### Литература:

1. Standards Association of Australia, 1999. Australian Standard AS. 3980-1999: Guide to the determination of gas content of coal seams. Direct desorption method. North Sydney, NSW.

**КОНЦЕПЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОДИНАМИКЕ, ГЕОМЕХАНИКЕ И ГЕОФИЗИКЕ**

**Ильин В.П.**

*ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск; НГУ, г. Новосибирск, [ilin@sscc.ru](mailto:ilin@sscc.ru)*

Рассматривается концепция разработки и архитектура вычислительной интегрированной среды для решения широкого круга прямых и обратных междисциплинарных задач геодинамики, геомеханики и геофизики на многопросерных суперкомпьютерах новых поколений.

Основой предлагаемого подхода является создание базовой системы моделирования, поддерживающей все стадии крупномасштабного вычислительного эксперимента: геометрическое и функциональное моделирование для описания и редактирования многомерных объектов со сложными конфигурациями границ и контрастными материальными свойствами, построение адаптивных квазиструктурированных сеток, аппроксимация исходной задачи с помощью методов конечных элементов, конечных объемов (МКЭ, МКО), спектральных алгоритмов и т.д., решение систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений (СЛАУ, СНАУ), оптимизационные методы условной минимизации, постобработка и визуализация результатов, управление вычислительным процессом и средства принятия решения.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТА В ПРИСУТСТВИИ СТАЦИОНАРНЫХ И РАСТУЩИХ ТРЕЩИН**

**Федоров А.И., Давлетова А.Р.**

*ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа, FedorovAI@ufanipi.ru*

Одной из особенностей разработки низкопроницаемых коллекторов является массовое использование технологии заводнения для повышения темпов добычи нефти и повышения КИН. При этом часть добывающих скважин через определенное время переводится в режим нагнетания. Поскольку на основной массе таких скважин используется технология ГРП, их перевод в нагнетание, как правило, приводит неконтролируемому росту трещин. Кроме того, наличие нагнетательной трещины с течением времени может изменить напряженно-деформированное состояние пласта. А это в свою очередь может повлиять на ориентацию новых трещин как в процессе ГРП на новых скважинах, так и при повторных ГРП на действующих скважинах. Поле давлений, меняющееся со временем в процессе разработки месторождения, также может привести к изменению напряженно-деформированного состояния пласта. Настоящая работа посвящена разработке математической модели и численной реализации алгоритма для расчета напряженно-деформированного состояния в присутствии трещин ГРП и изменяющегося со временем поля давлений для последующей оценки влияния параметров существующих трещин на ориентацию новых трещин ГРП.

В качестве основы для создания математической модели, описывающей пористую упругую среду, выбрана статическая теория континуальной фильтрации. Для описания процессов образования трещин в качестве критерия разрушения выбран критерий максимальных растягивающих напряжений, согласно которому, в частности, трещина образуется в направлении максимального главного стресса. Численная реализация алгоритма выполнена на основе непрямого метода граничных элементов с введением функций влияния. Реализованный алгоритм в тестовом режиме интегрирован в корпоративный программный пакет Гид.

## ПРОМЫСЛОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТРЕЩИН В НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ И ИХ ИНТЕГРАЦИЯ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Давлетбаев А.Я., Рабцевич С.А.

ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа, RabtsevichSA@ufanipi.ru

Результаты гидродинамических исследований скважин (ГДИС) на установившихся режимах закачки в однопластовых и многопластовых нагнетательных скважинах подтверждают, что зависимости давления от расхода закачиваемой жидкости имеют нелинейный вид. Так, коэффициент приемистости нагнетательных скважин при снижении давления закачки ниже давления смыкания трещин может уменьшиться в десятки раз. Эти эффекты не могут быть описаны фазовыми проявлениями, изменением состояния призабойной зоны пласта, фактической репрессией на пласт. Промысловые исследования свидетельствуют о самопроизвольном развитии техногенных трещин автоГРП в нагнетательных скважинах.

В рамках программы исследовательских работ на ряде месторождений выполнены ГДИС методом гидропрослушивания. Его целью являлось осуществление гидродинамического контроля самопроизвольного развития техногенных трещин в нагнетательных скважинах. Технология проведения исследования предполагала изменение режимов работы (остановка и запуск в работу) возмущающей нагнетательной скважины на трех этапах и регистрацию кривых изменения давления в наблюдательной скважине. В скважинах выполнялись непрерывные записи кривых изменения давлений на устье и забое. Полученные результаты показывают, что изменение давления в наблюдательной скважине повторяет кривую изменения давления в возмущающей скважине на всех этапах изменения режима работы. Таким образом, исследование подтверждает наличие между скважинами техногенной трещины высокой проводимости.

Результаты исследований показали следующее:

- наличие эффекта самопроизвольного развития техногенных трещин в нагнетательных скважинах;
- развитие техногенной трещины автоГРП происходило вдоль линий максимальных горизонтальных напряжений.

Полученные результаты были интегрированы в гидродинамические модели и привели к качественному улучшению сходимости фактических и расчетных технологических показателей как в целом по модели, так и по отдельным скважинам. По результатам моделирования были проведены эффективные геолого-технические мероприятия на нескольких скважинах.

## ОТ ГИПОТЕЗЫ «ПОДЗЕМНЫХ ГРОЗ» К МОДЕЛЯМ ВЗАИМОСВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ

**Богомолов Л.М.**

*ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, bogomolov@imgg.ru*

Протекающие в геосреде токи имеют низкую плотность, так что гипотеза о “подземных грозах”, возбуждающих упругие волны, оказалась несостоятельной. Но “грозы” ассоциируются не только с молнией и громом, но и с многостадийными процессами поляризации среды, в которых принимают участие восходящие и нисходящие потоки газов и водяного пара. Аналогичный процесс: дегазация Земли может играть весьма важную роль во всех эффектах геомеханики и геоэлектрики. Информации о нем пока недостаточно для построения количественных моделей, но имеется достаточно результатов о влиянии электрических токов естественных и искусственных источников на неупругое деформирование геосреды (включая сейсмичность). В докладе приводятся некоторые новые результаты о влиянии импульсов тока мощного источника. А основная цель доклада - обсудить элементы физической модели, объясняющей наблюдения электроимпульсного стимулирования слабой сейсмичности. Предпринята попытка рассмотреть электромеханические взаимосвязи в геосреде с общезначимых позиций, а именно как передачу импульса от вещества к ЭМ полю (прямое преобразование) и от поля к веществу (обратное преобразование). Предпосылка для такого подхода - несущественность тепловых эффектов (тепловыделения при трении на контактах блоков, джоулева нагрева и др)

Также рассмотрен конкретный механизм, описывающий прямое и обратное преобразование - сейсмоэлектрический (электросейсмический) эффект при смещении проводящего флюида в коллекторах относительно скелетного вещества. Аргументировано, со ссылками на “Электродинамику сплошных сред”, что роль явлений электрокинетики в механизме ЭМ воздействий на среду преувеличивалась. Альтернативой может быть новая модель, формулируемая по аналогии с другими средами с заряженными частицами. И в физике плазмы и в микроэлектронике известен эффект возбуждения колебаний электрическим током. Для плазмы полупроводников это акустоэлектронное усиление звуковых волн. Аналогичный эффект возбуждения ионно - звуковых волн пучком электронов имеет место и в газоразрядной плазме. Сопоставление с эффектом Вавилова-Черенкова указывает на общность возбуждения волн в среде при движении в ней объекта-включения (неоднородности) со скоростью выше фазовой скорости волны. Для случая трещиноватой водонасыщенной геосреды интерфейсные волны можно считать теми волнами с небольшой фазовой скоростью, которые могут усиливаться импульсами тока. Представление об усилении волн током позволило оценить дальность влияния электрозондирований с активацией сейсмичности.

## ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЮЖНОЙ КАЛИФОРНИИ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ТЕКУЩЕЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Бондур В.Г.<sup>1</sup>, **Гарагаш И.А.**<sup>2</sup>, Гохберг М.Б.<sup>2</sup>, Стеблов Г.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *НЦ аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», г.Москва;*

<sup>2</sup> *ИФЗ РАН, г. Москва*

Создана трехмерная геомеханическая модель Южной Калифорнии, включающая горный рельеф, разломную тектонику и основные структурные границы - кровлю нижней коры и поверхность Мохоровичича. Основное напряженное состояние модели определяется собственным весом и горизонтальными тектоническими движениями, устанавливаемыми на основе GPS наблюдений.

В течение последних четырех лет в регионе Южной Калифорнии на основе геомеханической модели была испытана технология по оценке будущей сейсмичности на двухнедельном интервале. Технология основана на включении в трехмерную геомеханическую модель данных о текущей сейсмичности по каталогу Геологической службы США для расчета нового параметра, оценивающего близость участков земной коры к пределу прочности. Модель позволяет вычислять изменения напряженного состояния земной коры, связанные с развитием сейсмического процесса. Входными данными в модель является текущая сейсмичность, когда каждое землетрясение рассматривается как новый дефект земной коры, приводящий к перераспределению деформаций, плотности упругой энергии и пределов прочности земной коры.

Рассчитываемое каждые две недели трехмерное распределение нового параметра – близости участков земной коры к пределу прочности указывают практически на места, где будут происходить землетрясения с удовлетворительной сходимостью на данном интервале времени. Детальный анализ параметров перераспределения напряжений и деформаций выявил аномалии, появляющиеся в 10-50 км от будущего эпицентра в течение нескольких недель или первых месяцев до землетрясений с магнитудами  $M=5-7.2$  за период 2009-2012 годов (на границе Южной Калифорнии и Мексики). Аномальное характерное время растет с увеличением магнитуды события.

## О ПРОБЛЕМЕ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ребецкий Ю.Л., Лермонтова А.С.  
*ИФЗ РАН, г. Москва*

В теории очага землетрясений существует проблема влияния области готовящегося землетрясения на физические поля коры на больших расстояниях. О.П. Добровольский, исследуя эту проблему, предложил оценивать деформационное влияние очага землетрясения на окружающие его области, введя минимальный уровень деформаций порядка  $10^{-8}$ , соответствующих уровню приливных деформаций. При этом поле напряжений для очага землетрясения моделировалось жестким или мягким включением, а решение строилось на основе задачи теории упругости.

На самом деле горные массивы уже с глубин порядка километра находятся в закритическом состоянии, вызванном трещинным течением – катакластическая текучесть. Таким образом, очаг землетрясений формируется в области за пределом текучести. В таком состоянии у геосреды мало ресурсов к сопротивлению дополнительным упругим деформациям, что и обуславливает большие области влияния готовящегося очага землетрясения. В докладе этот факт будет проиллюстрирован решением задачи об отверстии радиуса  $R$  в полупространстве под внутренним давлением. Показано, что в случае чисто упругого решения напряжения на больших расстояниях от отверстия убывают по закону  $1/R^2$ , а для решения, отвечающего начальной стадии полупространства (до создания отверстия) при закритическом развитии в нем деформаций, напряжения убывают по закону  $1/R$ . Построенное решение имеет прикладное значение и для проблемы устойчивости скважин.



**ИССЛЕДОВАНИЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ ЯПОНСКОГО  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ТОНОКУ-ОКИ) 11.03.2011 (Mw = 9.0)**

**Тимофеев В.Ю.**<sup>1</sup>, Ардюков Д.Г.<sup>1</sup>, Тимофеев А.В.<sup>1</sup>, Кулинич Р.Г.<sup>2</sup>, Валитов М.Г.<sup>2</sup>, Стусь Ю.Ф.<sup>3</sup>, Калиш Е.Н.<sup>3</sup>, Дюкарм Б.<sup>4</sup>, Горнов П.Ю.<sup>5</sup>, Сизиков И.С.<sup>3</sup>,  
Колщикова Т.Н.<sup>2</sup>, Прошкина З.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;* <sup>2</sup> *ТОИ, г. Владивосток;* <sup>3</sup> *ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск;* <sup>4</sup> *Catholic University of Louvain, Centre for Earth and Climate Research, Belgium;* <sup>5</sup> *ИТуГ ДВО РАН, г. Хабаровск*

Методы космической геодезии и гравиметрии активно применяются при исследованиях на Дальнем Востоке России (в Приморье, Хабаровском крае и на Сахалине). Гравиметрические измерения на микрогальном уровне соответствует миллиметровой точности GPS измерений. Бурная сейсмическая активность региона позволят получить представление о косейсмических эффектах даже на расстояниях в несколько сотен километров от эпицентра. В нашей работе представлены результаты измерений в дальней зоне Японского землетрясения (Tohoku-Oki) 11 марта 2011 года (Mw = 9.0). Наши GPS измерения проводились по профилям, расположенным на севере Приморья и в Хабаровском крае в период с 2003 г. по 2012 г.. Эти данные дополнены результатами, полученными в институтах Дальневосточного отделения РАН по региону. Комплексные гравиметрические исследований проводились в 2010-2012 гг. на полигоне «мыс Шульца» ТОИ ДВО РАН. В измерениях использованы относительные и абсолютные гравиметры. Измерения методом космической геодезии позволили определить величину косейсмических смещений в дальней зоне. Скачок смещений в зависимости от расстояния до эпицентра получен на уровне от 10 до 40 мм. Косейсмический эффект при землетрясении 2011 года в изменениях силы тяжести соответствует опусканию на 18 мм (1000 км от эпицентра). Севернее на пункте ZMEY (1500 км от эпицентра) зарегистрировано опускание 8 мм.

В целом в дальней зоне, наряду со значительной горизонтальной компонентой, выделяется и вертикальная составляющая, вызванная косейсмическим опусканием земной поверхности. Работа была выполнена в рамках Интеграционного проекта СО РАН № 76, проекта Президиума РАН № 4.1 и Программы РАН ОНЗ 6-2.

## ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОЛОГИИ В КОНТРОЛЕ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Громько А. В., Соловьев В.М.  
*ГС СО РАН, г. Новосибирск*

17 августа 2009 года произошла одна из самых значительных в гидроэнергетике авария на Саяно-Шушенской станции. Сотрудники Геофизической Служба СО РАН участвовали в комиссии по расследованию причин аварии на СШ ГЭС. Было установлено, что причиной аварии явился разрыв шпилек крышки турбины. Почему шпильки не выдержали нагрузки? Были предположения, что произошел гидроудар, но если это так, то на сейсмической станции "Черемушки" находящейся в 4 км от гидростанции должна быть запись этого события. Попытаемся, анализируя записи сейсмостанции полученные до, в момент и после аварии разобраться в причинах аварии.

Прежде всего, исследуя запись полученную на сейсмостанции в момент аварии, удалось установить, что по интенсивности сейсмические волны зарегистрированные в момент аварии не превышают интенсивность волн полученный от взрыва 500 грамм тротила на удалении 4 км. Версия о гидроударе не подтвердилась. Были выделены низкочастотные колебания и установлено, что гидроагрегат (ГА) поднимался на высоту более 10 метров примерно за 10 сек. Спектральный анализ записей показал, что выделяются несколько монохроматических колебаний связанных с работой ГА. Амплитуда этих колебаний закономерно изменяется с изменением параметров работы ГА. Анализируя записи сейсмостанции за период более года до аварии, и записи режимов работы различных ГА удалось установить, что колебания излучаемые вторым (аварийным) ГА примерно в 1.5 раза были более интенсивные, чем от всех других ГА. После аварии на СШ ГЭС стали поочередно запускать гидроагрегаты вначале старой конструкции 3,4,5,6, а затем новой 1,7,8,9. Практически при всех запусках мы устанавливали 10-15 трехкомпонентных сейсмостанций в различных точках вокруг гидроагрегата и изучали поле сейсмических колебаний от его работы. Измерялись ускорения сейсмических колебаний, хотя обычно измеряются смещения в различных точках при контроле работы ГА. Было установлено, что ГА излучает набор монохроматических колебаний кратных частоте вращения равной 2.381 Гц. Изменение амплитуды этих сигналов связано с изменением режимов работы ГА. Изучение изменений в спектральном составе колебаний во времени позволяет контролировать работу ГА и его техническое состояние. Было установлено, что собственная частота крышки турбины, когда поступление воды перекрыто, имеет несколько небольших максимумов и находится в диапазоне от 60 до 110 Гц. В этом же диапазоне на старых гидроагрегатах при их работе идет мощное излучение монохроматических сигналов особенно на удвоенной лопастной частоте равной 76,2 Гц. Получается, что крышка турбины и шпильки, которые ее крепят, при работе гидроагрегата находились в состоянии постоянного резонансного возбуждения. Так как второй ГА был устроен таким образом, что излучаемые им колебания превышали колебания на остальных агрегатах именно на этом ГА и произошла авария. Осмотр шпилек на других гидроагрегатах показал, что некоторые из них были в аварийном состоянии.

Истинная причина аварии связана с тем, что при расчете крепления крышки турбины не был учтен тот факт, что она будет работать в постоянном резонансном возбуждении. На созданных новых ГА количество шпилек было увеличено и амплитуда монохроматических колебаний значительно снижена.

## **МОРФОГЕНЕЗ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНОГО САЯНА**

**Лапин П.С.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, LapinPS@ipgg.sbras.ru*

Прогноз сейсмической опасности территорий является одной из важнейших задач наук о Земле. Её решение носит комплексный характер. В большинстве случаев последствия крупных землетрясений приводят к катастрофическим разрушениям на границе раздела сред: земная кора – гидросфера и атмосфера. Среди геологических наук геоморфология занимает одно из важнейших мест при изучении данной границы раздела сред. Анализируются взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. В её арсенале существует несколько подходов в изучении объекта исследования. Работа выполнена в рамках системно-формационного подхода, направленного на анализ внутреннего механизма развития рельефа.

Основная цель исследования – осуществить морфогенетическое районирование земной поверхности Западного Саяна и сопоставить полученные результаты с эпицентрами крупных землетрясений (энергетический класс больше девяти). Объектом исследования являются морфогенетические особенности развития рельефа земной поверхности. Классификация процессов проведена по соотношению элементов основной морфологической триады (водораздел - склон - днище долины) и показателю общего эрозионно-денудационного расчленения рельефа, учитывающему изменения каждого из трёх морфологических элементов.

В пределах Западного Саяна выделены две специфические области – западная и восточная, каждая из которых характеризуются наличием реликтовых зон. К границам реликтовых зон приурочены районы с эпицентрами землетрясений энергетического класса от 9 до 13. Следует особо подчеркнуть, что в пределах Западно Саяна районы с эпицентрами крупных землетрясений, несмотря на их различия в морфологии и современной активизации, приурочены к границе сочленения реликтовой зоны и зон нисходящего развития. Напротив, в восточной части Западного Саяна, для эпицентров землетрясений с энергетическим классом 9-13 прослеживается их приуроченность к центральным частям районов, испытывающих поднятие.

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ

Кучай О.А.<sup>1</sup>, Кальметьева З.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup> ЦАИИЗ, г. Бишкек, Киргизия

Появление в последние годы дополнительных материалов по параметрам механизмов очагов землетрясений в зоне Дарваз-Каракульского разлома (область контакта Памира и Тянь-Шаня) позволило восстановить поле напряжений (использовался катакластический метод Ю.Л. Ребецкого (МКА) [1, 2]) и сейсмотектонические деформации (по методике Ю.В. Ризниченко [3]) как для района в целом, так и для афтершоковых последовательностей сильных землетрясений. В расчетах использовался массив данных из 2040 землетрясений (1962-2005гг. с  $M \geq 2.8$ ).

Применяя метод [1, 2] было получено, что землетрясения ( $M > 4.5$ ), зарегистрированные в 2009-2012гг., располагаются в областях с небольшими значениями относительного эффективного давления от 6 до 8, восстановленного по параметрам механизмов очагов, произошедших в 1962-2008гг.

При анализе максимальных значений компонент сейсмотектонических деформаций в каждой ячейке осреднения проявляется преимущественное максимальное горизонтальное сжатие в западном и восточном обрамлении Алайской долины и максимальное вертикальное удлинение к северу и югу от нее. Вследствие этого, механизмы очагов афтершоковых последовательностей сильных землетрясений, возникших в пределах этих зон, могут различаться. Что мы и видим на примере повторных толчков Маркансуйского (1974г.,  $M=7.3$ ) и Алайского землетрясений (1.11.1978,  $M=6.8$ ). В тоже время было получено, что после затухания афтершокового процесса Маркансуйского землетрясения (1974г.,  $M=7.3$ ), сильнейшего за последнее время в районе исследования, одновременно с западной и восточной окраин очаговой области активизировались сейсмические районы с возникновением Алайского землетрясения (1.11.1978,  $M=6.8$ ) на западе и землетрясения с  $M=6.1$  (8.10.1978) на востоке.

Ориентация осей максимального девиаторного напряжения за счет сильных повторных толчков Маркансуйского землетрясения соответствует региональному полю напряжений и осям P и T главного события. Однозначно определенная плоскость разрыва по методу [1, 2] и по вытянутости изосейст балльности не согласуется с простиранием Дарваз-Каракульского разлома. Ориентация осей максимальных девиаторных напряжений повторных толчков Алайского землетрясения, восстановленная за первый десятидневный временной период согласуются с положением осей P и T механизма очага самого Алайского землетрясения и с региональным полем напряжений. Спустя декаду, в афтершоковой области происходит переориентация осей напряжений.

Деформации, накопленные не менее чем за 10 лет до Алайского землетрясения, показывают, что в области их подготовки начало вспарывания начинается в пределах условной границы, разделяющей положительные и отрицательные величины в поле широтной, меридиональной и вертикальной компонент сейсмотектонических деформаций.

Работа была выполнена при частичной поддержке интеграционными проектами № 90 СО РАН и № 76 СО РАН.

### **Литература:**

1. Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Докл. РАН, 1999, Т. 365, № 3, С. 392-395.
2. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига» 2007, 406 с.
3. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985, 408с.

## **ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ И СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПО ДАННЫМ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ О. САХАЛИНА**

**Татаурова А.А.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Работа посвящена изучению особенностей сейсмотектонических деформаций и характеру напряженного состояния земной коры по данным параметров механизмов очагов коровых землетрясений, произошедших на о. Сахалин и прилегающих к нему территориях. При расчётах было использовано 548 землетрясений с магнитудой более 4,5 в период с 1985 по 2010 гг.

Для расчета сейсмотектонических деформаций использовался метод из [1,2]. При этом ищется средний тензор деформации, который равен сумме тензоров сейсмических моментов всех землетрясений, возникших в единице объема за определенный промежуток времени.

Для реконструкции современного поля напряжений за счет механизмов очагов землетрясений использовался программный комплекс МКА (Метод катакластического анализа разрывных смещений) [3]. В работе приведены результаты МКА (его первого этапа) и анализируются особенности реконструкции ориентации главных осей напряжений, типы напряженного состояния (геодинамический режим) и коэффициент Лоде-Надаи.

В результате анализа полей сейсмотектонических деформаций непосредственно для земной коры Сахалина получено преимущественное меридиональное удлинение и широтное укорочение. Вертикальная компонента деформаций практически для всего района характеризуется удлинением. На юге Сахалина рассмотрены деформации за счет афтершоковых последовательностей трех сильных землетрясений (Горнозаводского 2006 г., Невельского 2007 г. и Чаплановского 2009 г.).

Полевые материалы были предоставлены сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН.

### **Литература:**

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М. Наука, 1985, 407с.
2. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975, 174 с.
3. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига» 2007, 406 с.

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ БЛОКОВОЙ ДЕЛИМОСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Бушенкова Н.А., Кучай О.А., Червов В.В.  
*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Кайнозойские геодинамические процессы в Южной Сибири развиваются под влиянием как внешних факторов (поля напряжений, возникающие на границах крупных литосферных плит в процессе их взаимодействия при латеральном движении), так и внутренних (процессы, происходящие в подлитосферной мантии региона).

Работа посвящена сопоставлению доступных геологических данных о блоковой делимости Горного Алтая и прилегающих территорий с авторскими результатами, полученными с помощью геофизических и математического подходов. В комплексный анализ включены данные сейсмотомографии на отраженных волнах, сейсмотектонических деформаций и численного теплогравитационного моделирования верхнемантийной конвекции с учетом влияния на ее структуру локального перегрева под окружающими участками литосферы увеличенной мощности (кратонами).

При построении сейсмотомографической модели использованы глобальные данные из международного каталога ISC за период 1964-2007 гг. Сейсмотектонические деформации были рассчитаны по данным о 770 механизмах очагов землетрясений с  $M=3.5-7.3$ , происшедших в АСО за период с 1970 по 2007 гг. В задачу численного моделирования теплогравитационной конвекции внесены уточнения геометрии границ блоков литосферы разной мощности.

Результаты численного моделирования демонстрируют как образование устойчивых восходящих потоков мантийной конвекции вследствие перегрева под соседствующими с изучаемой областью кратонами, так и их продолжения, которые при приближении к основанию кратона, растекаясь вдоль его подошвы, стремятся к периферии. Этот перенос (обтекание) мантийного вещества проявляется в виде мелкомасштабной моды конвекции у бортов Сибирского кратона, в частности, юго-западного борта. Полученные тепловые поля хорошо соотносятся с результатами сейсмотомографии, а все инструментально наблюдаемые на поверхности особенности тепловых полей достаточно хорошо прослеживаются в рассчитанных.

Сопоставление скоростной структуры, полученной по результатам сейсмотомографии на отраженных волнах (срез модели на уровне глубины 50 км) и распределения ориентации главных осей деформаций укорочения позволяет выявить некоторые особенности. Так наблюдается тенденция к азимутальному изменению ориентации осей по окраинам зон с пониженными и повышенными значениями скоростей. При менее детальных расчетах СТД для больших объемов осреднения оси укорочения меняют свое простираение вокруг области наименьших скоростей, расположенной в Котловине Больших Озер от северо-западного на западе области до субмеридионального в центральной части и северо-восточного на востоке.

Работа выполняется при частичной поддержке РФФИ № 13-05-00054 и МП СО РАН № 76.

## ДИСПЕРСИЯ РАЗМЕРОВ БЛОКОВ И ИСКАЖЕНИЕ ЗАКОНА ГУТЕНБЕРГА-РИХТЕРА

**Копейкин А.В.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В работе получена зависимость числа комплексных корней дисперсионного уравнения для сред со структурой, в которых линейный размер неоднородности является случайной величиной с гамма-распределением, от удельной поверхности пор и трещин. Деформирование контрастных микронеоднородных сред описывается неклассическими уравнениями движения бесконечного порядка. Получен спектр пространственных частот для упругих волн, распространяющихся в контрастных микронеоднородных средах. Он является дискретным. Кроме вещественных, волновое число может принимать и комплексные значения, что может приводить либо к катастрофическим событиям (рост амплитуды), либо к затуханию волн. Распределение числа комплексных корней в зависимости от удельной поверхности пор и трещин в случае нулевой дисперсии характерного размера структуры напоминает закон повторяемости землетрясений Рихтера-Гутенберга. В случае ненулевой дисперсии происходит отклонение от линейного закона Рихтера-Гутенберга, качественно согласующееся с экспериментальными данными.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ

Еремин М.О.<sup>1,2</sup>, Перышкин А.Ю.<sup>2</sup>, Макаров П.В.<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup> ИФПМ СО РАН, г. Томск; <sup>2</sup> ТГУ, г. Томск

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования современных тектонических течений, а также сопутствующего сейсмического процесса в складчатых областях Центральной Азии как результата взаимодействия Евразийской тектонической плиты с обрамляющими плитами в активных поясах, таких как сегмент Черского, Тихоокеанская зона субдукции, область коллизии Индийской плиты, а также Аравийской плиты. На основе карты схемы зонно-блоковой делимости литосферы Центральной Азии К.Ж. Семинского, а также ранее выполненного численного эксперимента создана структурная модель региона с 3 поясами зон и блоков различной мобильности и жесткости. Расчетные тектонические течения качественно коррелируют с наблюдаемыми смещениями блоков литосферы по данным GPS – геодезии в регионе. В Байкальской рифтовой зоне поля смещений демонстрируют сдвиг с растяжением.

В Чуйско-Курайской зоне проведено моделирование сейсмического процесса при активизации разломной сети вблизи Чаган-Узунского блока. Показано, что в результате субмеридионального сжатия от Индо-Евразийской коллизии происходит активизация большинства разломов. Наиболее благоприятную ориентацию для максимальных касательных напряжений имеет разлом Кускуннур, по которому произошел сдвиг в 2003 году. Оценка энергии, выделяемой при элементарном деформационном акте, в расчетах и последующая статистическая обработка всего спектра динамических событий свидетельствует о том, что расчетные сейсмические события удовлетворяют степенной статистике как по пространственным масштабам (закон Гуттенберга-Рихтера), так и по временным (закон Омори). В расчетах качественно воспроизводится явление миграции деформационной активности вдоль активной разломной зоны, о чем свидетельствует пространственно-временная структура расчетных сейсмических событий.



## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ДЕФОРМАЦИЙ И СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Тимофеев В.Ю.,** Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В.  
*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Алтае-Саянской регион является зоной активных современных деформаций земной коры, вызванных природными факторами (сейсмичностью) и активной промышленной деятельностью на севере территории. Целью настоящей работы является анализ данных по скоростям современных движений земной коры, полученных различными методами, определение эффективного реологического модуля земной коры, оценка и моделирование косейсмических смещений и деформаций региона. Моделирование косейсмических и тектонических эффектов требует оценки параметров земной коры. Определение эффективного модуля упругости можно провести, используя данные о вертикальных смещениях при сезонной нагрузке зоны водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС. Высота ГЭС плотины 240 метров, сезонные вариации уровня воды 40 метров. При этом вертикальные смещения достигают 4-5 мм. Решение в двумерном случае в рамках теории упругости даёт значение модуля Юнга 47 ГПа. В трёх мерном случае значение модуля составит 80 ГПа при коэффициенте Пуассона 0.25.

Проведение ежегодных GPS измерений по Алтае-Саянской геодинимической сети позволило оценить особенности поля смещений Горного Алтая после Чуйского землетрясения ( $M = 7.5$ ; 27.09.2003;  $50^{\circ}N$ ,  $88^{\circ}E$ ). Скорости постсейсмических смещений в эпоху 2004-2010 гг. повторяют правостороннее смещение в эпицентральной зоне, их величина составляет 2-3 мм в год. Эти результаты позволяют провести оценку эффективной вязкости геологической среды. В результате исследований, исходя из экспериментальных данных, приходим к выводу, что при рассмотрении вязко-упругого поведения коры в целом эффективную вязкость среды можно оценить величиной  $1 \cdot 10^{21}$  Па·с. Для вязко-упругой нижней коры региона Горный Алтай оценки эффективной вязкости лежат в интервале  $1 \cdot 10^{19} \div 3 \cdot 10^{20}$  Па·с. Работа была выполнена в рамках Интеграционного проекта СО РАН № 76, проекта Президиума РАН № 4.1 и Программы РАН ОНЗ 6-2.

**МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА СТРУКТУРЫ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ  
ДАНЫМ В ПРИЛОЖЕНИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ, ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И  
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЯХ**

**Писецкий В.Б.,** Лапин С.Э., Зудилин А.Э., Бабенко А.Г., Абатурова И.В.,  
Патрушев Ю.В., Александрова А.В., Шинкарюк В.А.  
*УГГУ, г. Екатеринбург*

В докладе рассматриваются методы и результаты исследований нефтегазового ресурса и состояния устойчивости горного массива в подземном строительстве и добыче твердого полезного ископаемого по сейсмическим данным. Принципиальная идея, положенная в основу обсуждаемых методов и технологий, сформирована в представлениях блоковой организации естественных и техногенных геодинамических процессов дискретных сред. В данном подходе блоковый принцип динамики геодинамических нестационарных полей определяет ведущую роль в организации флюидных потоков в нефтегазовых бассейнах и формирует условия для реализации опасных инженерно-геологических процессов в пределах ближних и дальних зон влияния подземных горных выработок.

В контексте дискретных (блоковых) сред с горизонтальными и вертикальными границами проскальзывания на существенно разных масштабных уровнях компоненты напряжений терпят разрыв и атрибуты сейсмических волн различного типа попадают под определяющее влияние знака и величины дифференциальных напряжений, что и составляет основу для развития технологий оценки структуры и параметров напряженно-деформированного состояния нефтегазовых коллекторов по данным стандартных наземных сейсмических методов и состояния устойчивости горного массива по данным специализированных сейсмических аппаратно-технических систем наблюдений в пределах ведения подземных проходческих или добычных горно-технических работ.

Обсуждаются результаты прогноза флюидодинамических процессов в осадочных бассейнах на примерах поисков, разведки и разработки нефтегазовых ресурсов в осадочном чехле и фундаменте (Западная и Восточная Сибири и ряд зарубежных бассейнов).

Вышеназванная позиция определяет, по существу, безальтернативный выбор такой методики сейсмического изучения структуры и параметров текущего состояния устойчивости горного массива, которая направлена на выявление геометрии блоковых геодинамических процессов в ближней и дальней окрестностях подземных выработок и организации непрерывного контроля за развитием опасных инженерно-геологических процессов (выбросы породы в выработку, водо-газопритоки, горные удары и т.п.). Рассматриваются примеры сейсмического мониторинга строительства транспортных тоннелей в г. Сочи и непрерывного контроля состояния массива в процессах ведения проходческих и добычных работ в угольных и рудных шахтах.

**ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКАМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ КАРОТАЖА СКВАЖИН  
(НА ПРИМЕРЕ О. САХАЛИН)**

**Богомолов Л.М., Каменев П.А.**

*ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, bogomolov@imgg.ru*

Каждую глубокую скважину, особенно в сейсмоактивных регионах, можно рассматривать как геофизическую лабораторию, дающую комплексную информацию о породных массивах. Из-за сложностей интерпретации обычно используется лишь небольшая часть этой информации. Для расширения информации об «in situ» характеристиках слоев, вскрываемых скважиной, можно использовать феноменологические подходы. Доклад посвящен обзору этих подходов на примере каротажных данных для скважин на Полярнинском нефтяном и Анивском газовом месторождениях, о. Сахалин.

По данным акустического каротажа рассчитаны сцепление, коэффициент внутреннего трения, модуль Юнга и модуль сдвига. Значения коэффициента Пуассона определены двумя методами: через упругие модули и по данным естественной гамма активности пород. На основе этих параметров рассчитаны предельные горизонтальные напряжения с помощью критерия Кулона-Мора, а также установлены их направления по данным о механизмах очагов землетрясений. Полученные результаты могут использоваться для построения геомеханической модели месторождения, расчета диапазона плотности бурового раствора, а также оценок напряженно-деформированного состояния месторождения «in situ». Подобные оценки «in situ» представляют также интерес ряда разделов новейшей геодинамики Дальневосточного региона. Они могут быть существенным дополнением к традиционно используемым площадным методам.

## О ПАРАМЕТРАХ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

**Стефанов Ю.П.**<sup>1</sup>, Бакеев Р.А.<sup>1</sup>, Ахтямова А.И.<sup>2</sup>, Киндюк В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ИФПМ СО РАН, г. Томск; <sup>2</sup> ТГУ, г. Томск; <sup>3</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Известно, что свойства горных пород зависят от напряженного состояния и меняются в ходе деформирования. 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 показывает, 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 то же время, проведение специальных экспериментов для их определения не всегда возможно. Однако дополнительный анализ экспериментальных данных, выполненных в рамках стандартных методик, может позволить определить многие из необходимых дополнительных параметров.

В работе выполнен анализ некоторых эмпирических зависимостей и доступных экспериментальных исследований. Обсуждаются вопросы интерпретации и определения параметров по экспериментам данным.

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

## **ЗАДАЧА КОШИ В ГЕОМЕХАНИКЕ. СТАТИКА И ДИНАМИКА. ПРИМЕРЫ ПРОСТЕЙШИХ ПОСТАНОВОК И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОШИ**

**Чанышев А.И.,** Абдулин И.М.  
*ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

Традиционно задачи геомеханики рассматриваются в рамках классических постановок (задачи Дирихле, Неймана, Робена), требующих задания краевых условий на всем контуре исследуемых областей. Если – это задачи о выработке, то требуется знание условий нагружения массива пород везде и в том числе на «бесконечности», которые из-за нее неизвестны и могут быть получены из гипотетических соображений. Необходимо также описать все возможные сосредоточенные силы, действующие в массиве пород (их положения, интенсивности). Кроме того классические постановки требуют задания геометрии массива пород в полном объеме, т.е. требуется обрисовать все имеющиеся другие выработки, включения, что не всегда возможно, если речь идет о массиве горных пород. Между тем существует другая (неклассическая с точки зрения задач Дирихле, Неймана, Робена) постановка, предполагающая задание на одной и той же (какой-нибудь замкнутой) поверхности одновременно и условий Дирихле и условий Неймана, т.е. получается в чистом виде постановка задачи Коши (на одной и той же поверхности задаются и сама функция, и ее производная по нормали). В данной работе на примерах простейших задач показывается, что их решения существуют, единственны, непрерывно зависят от входных данных как в статике, так и в динамике. Исследуются задачи для полупространства, для выработки произвольной формы с заданными на их контурах вектором напряжений Коши и вектором перемещений. Приводятся результаты вычислений для напряжений и деформаций в окрестностях выработки эллиптического сечения, сечения в виде треугольника, сечения в виде трапеции при заданных на границах «переопределенных» условиях.

## **ПОТЕНЦИАЛ САМОПОЛЯРИЗАЦИИ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Шелухин В.В.**

*ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск*

Методами компьютерного моделирования исследуется динамика электрического поля, индуцированного вблизи скважины проникновением фильтрата бурового раствора в коллектор под действием избыточного давления во время бурения. Вследствие электрокинетических эффектов в прискважинной зоне возникает потенциал самополяризации, который изменяется со временем по мере увеличения глубины проникновения фильтрата и нарастания глинистой корки на стенке скважины. Из результатов следует два основных вывода. Во-первых, чем больше механические напряжения, тем сильнее временные изменения ПС на стенке скважины. Во-вторых, изменения ПС на стенке скважины по мере продвижения фронта проникновения больше, если пласт деформирован. Таким образом, учет механических напряжений способствуют более точной индикации зоны проникновения.

## **ТОМОГРАФИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ**

**Орлов Ю.А.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, OrlovYA@ipgg.sbras.ru*

Для получения параметров скоростного разреза в задачах геодинамики широко используется метод, основанный на определении времен прихода волн и последующей томографической обработке. Используется только часть волнового поля. Решение обратной динамической задачи позволяет использовать все волновое поле и получить новые данные о среде.

Для приближенного решения обратной динамической задачи предлагается применить метод медленно меняющихся амплитуд. Волновое поле представляется в виде суммы волновых полей для референтной среды со слабо меняющимися коэффициентами (амплитудами). Предполагается, что среда мало отличается от референтной и производные коэффициентов много меньше производных от волновых полей вдоль выбранного направления. Это позволяет уравнения в частных производных свести к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, которые являются интегральными характеристиками среды. Даются выражения для вычисления этих коэффициентов для различных систем наблюдения. Получение параметров среды из этих коэффициентов осуществляется методом томографии.

## ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН ОТ ШЕРОХОВАТЫХ ГРАНИЦ

**Сибиряков Е.Б.**

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Общепринятой является точка зрения, что отражательные свойства шероховатых границ такие же, как и у гладких, если длина волны много больше характерного размера шероховатости. В то же время, площадь поверхности шероховатых границ много больше, чем у гладких, что может изменить отражательные свойства в некотором диапазоне частот и углов. Известно, что при закритических отражениях шероховатая граница ведёт себя подобно гладкой, но при нормальном падении регулярное отражение отсутствует. Целью работы является выявление особых отражательных свойств шероховатых границ, а также возможностей обнаружения подобных границ.

Обычно под микронеоднородной средой понимают такую среду, механические свойства которой существенно изменяются в пространстве. Однако, если изучать свойства слоистой среды с помощью отражённых волн, то результат будет зависеть не столько от интегрально-геометрических параметров включений, сколько от их близости к границе раздела. В связи с этим быстрое изменение вектора нормали к поверхности раздела двух сред может изменить результат измерений не меньше, чем контрастные включения. Поэтому предлагается быстрое изменение вектора нормали на границе раздела двух сред называть микронеоднородностью второго рода, в отличие от микронеоднородности первого рода – контрастных включений малого размера в объёме среды.

Метод граничных интегральных уравнений использует в качестве фундаментальных решений отклик либо на объёмную, либо поверхностную нагрузку в виде  $\delta$  – функции. Это позволяет получить для нахождения потенциала интегральное уравнение второго рода с хорошей обусловленностью. Однако, недостатком этого метода при применении его на реальных поверхностях, особенно если нормаль изменяется достаточно быстро, является необходимость выкалывать аналитически интегрируемую особенность, что снижает точность и приводит к невозможности использования кубатурных формул высокого порядка точности. В связи с этим для решения задач на шероховатых поверхностях (а также поверхностях, содержащих углы) предложен новый вид тензора фундаментальных решений для задач упругих стационарных колебаний. Новое фундаментальное решение – отклик не на классическую  $\delta$  – функцию, а на  $\delta$  – функцию, «размазанную» на несколько ячеек.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИДОТИТОВ ПРИ АКТИВНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ

Кульков С.Н.<sup>1,2</sup>, Суворов В.Д.<sup>4</sup>, Похиленко Л.Н.<sup>3</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>1</sup>,  
Буякова С.П.<sup>1,2</sup>, Кульков А.С.<sup>2</sup>, Чернышов А.И.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ИФПМ СО РАН, г. Томск; <sup>2</sup> ТГУ, Томск;  
<sup>3</sup> ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>4</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В последнее время прослеживается отчетливо выраженная тенденция к интегрированной интерпретации геологических, геофизических, петрологических и геодинамических моделей земной коры и мантии с привлечением физических методов исследования. Полученные в последние годы результаты принципиального характера являются следствием именно системного анализа имеющихся данных. К ним относятся реологические характеристики земных недр, поскольку вследствие исключительно малой скорости геологических процессов, многие из них не могут быть непосредственно наблюдаемыми. Поэтому комплексное исследование и последующая интерпретация данных позволяет найти объяснения природы регистрируемых аномалий геофизических и петрологических параметров и выполнять геодинамические реконструкции процессов формирования и эволюции геологических объектов.

Проведены экспериментальные исследования перидотитов с различным средним размером зерна - для крупнокристаллического образца порядка 1 мм, а для мелкокристаллического – 0.2 мм с включениями крупных кристаллов. Предел упругости крупнокристаллического образца равный 40 МПа зафиксирован при деформации порядка 0.2%, модуль упругости 14.7 ГПа. После достижения предела прочности на сжатие 48 МПа, при осевой деформации 0.45% наблюдался спад напряжений, соответствующий интенсивному разрушению образца. Мелкокристаллический образец имеет другой тип диаграммы нагружения. Упругая деформация также составляла около 0.2% при напряжении порядка 35 МПа, но за ней начинается, область деформационного упрочнения, модуль упругости в мелкокристаллическом образце составил 22.0 ГПа. До деформации 2% и осевой нагрузки 90 МПа спада напряжений не наблюдалось.

Особо следует отметить принципиально разный характер разрушения крупно- и мелкокристаллических образцов. В крупнокристаллическом образце происходит множественное, «объемное» разрушение по всем составляющим крупным фрагментам, а для мелкокристаллического образца разрушение локализовано в центре и развивается в направлении близком к оси сжатия, лишь в верхней и нижней его частях зона локализованной деформации раздваивается и несколько отклоняется по направлениям близким к максимальным касательным напряжениям.

По измерениям размеров образцов в исходном состоянии и усредненным размерам в начале разрушения получено, что отношение поперечной и осевой деформаций для крупнокристаллического образца составило 1.36 и 0.76 – для мелкокристаллического. Очевидно, что столь большое значение поперечной деформации связано с раскрытием трещин разного масштаба.



## ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В СЛОЖНЫХ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ОПЫТ ИХ РЕШЕНИЯ

**Кочнев В.А.**, Гоз И.В., Поляков В.С.  
*ИВМ СО РАН, г. Красноярск, kochnev@icm.krasn.ru*

Проблемам, заявленным в названии доклада, посвящены многие наши работы и выступления на конференциях и семинарах. [1–5]. В докладе будут приведены как ранее полученные, так и новые методические и геолого-геофизические результаты.

### **Литература:**

1. Кочнев В.А., Гоз И.В. Возможности гравиметрии и магнитометрии при интерпретации сейсмических данных. // Геофизика. 2008. № 4. Р. 28–33.
2. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Кульчинский Ю.В. Проблемы точности сейсморазведки в Восточной Сибири. // Научно-практическая конференция «Сейсмические исследования земной коры» (Пузыревские чтения 2009). Новосибирск, 2009.
3. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В. Создание технологии обработки и интерпретации сейсмических данных в Восточной Сибири с использованием данных детальной гравиметрии. // Гольдинские чтения. Конференция, посвященная 75-летию со дня рождения академика РАН С.В. Гольдина. Новосибирск, 2011.
4. Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С. Расчет статических сейсмических поправок и скоростей по редуцированным гравиметрическим данным // Мат. 39-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского. Воронеж, 2012.
5. Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С., Мячев С.Б., Поспеева Н.В., Нифонтов И.В. Опыт применения технологии расчета плотностной и скоростной моделей и статических поправок по гравиметрическим данным при обработке сейсмических данных, полученных в Восточной Сибири. // Геомодель-2012. Геленджик: EAGE, 2012.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КРАЕВЫХ СТРУКТУР КУРАЙСКОЙ ВПАДИНЫ ПО ДАННЫМ ГЕОЭЛЕКТРИКИ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ

Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Деев Е.В.  
*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Курайская межгорная впадина является второй по размерам среди аналогичных структур Горного Алтая. Совместно с отделенной от нее межгорной перемычкой (Чаган-Узунский массив) Чуйской котловиной они образуют единую систему кайнозойских впадин на юго-востоке Горного Алтая со сходной историей неотектонического развития и кайнозойского осадконакопления. Но каждая впадина имеет характерные только для нее особенности строения. Геолого-геофизические исследования показывают, что Курайская впадина имеет сложные структурные взаимоотношения с обрамляющими хребтами.

На основе интерпретации данных геоэлектрики с контролируемым источником (методы ВЭЗ и ЗС) представлено глубинное строение основных элементов внутренней структуры Курайской впадины и определен характер ее пограничных взаимоотношений с горным обрамлением. Выявлено, что наиболее погруженные части впадины располагаются вдоль ее северного (Акташский грабен), южного (Ештыкельский грабен) и восточного горного обрамления. Мощности осадочного выполнения впадины здесь составляют 600 м на севере и более 1000 м на юго-востоке, тогда как в Центрально-Курайской впадине – 300-500 м. Установлено, что осадочное выполнение во впадине разделяется на два геоэлектрических комплекса, имеющих разные величины УЭС. Нижний низкоомный комплекс соответствует палеоген-неогеновым существенно глинистыми озерным отложениям. Перекрывающий их высокоомный комплекс соотносится с более грубозернистыми фациями полифациальных позднеплиоцен-голоценовых отложений. Эти комплексы отвечают различным этапам формирования структуры Курайской впадины. В палеогене-неогене в качестве основного механизма формирования впадины следует рассматривать формирование левосдвигового бассейна типа “pull-apart”. С конца плиоцена в северной части Курайской впадины при сдвиговых движениях обособляется Центрально-Курайская впадина, а обрамляющие хребты и блоки в условиях общего сжатия надвигаются на Курайскую впадину, превращая ее в структуру рампового типа. При этом в краевых частях возникают форберговые поднятия, а ограничивающие впадину краевые грабены превращаются в рампы и полурампы [1, 2].

### **Литература:**

1. Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н.А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депрессии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль // Геология и геофизика, 1995. т. 36 (10), с. 31–51.
2. Лузгин Б.Н., Русанов Г.Г. Особенности формирования неогеновых отложений юго-востока Горного Алтая // Геология и геофизика, 1992, № 4, с. 23-29.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН В ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ БЛОЧНОЙ СРЕДЫ

**Александрова Н.И.**  
*ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

Динамика блочной среды изучается в маятниковом приближении, когда считается, что блоки несжимаемы, а все деформации и смещения происходят за счет сжимаемости прослоек. Расчётной моделью в этом случае может служить решетка масс, соединенных друг с другом пружинами. В работе исследуется распространение нестационарных волн при действии ступенчатой сосредоточенной нагрузки на квадратную решетку масс. Задача рассматривается в антиплоской постановке и решается двумя методами. Аналитически получены асимптотические решения, описывающие поведение длинноволновых возмущений при большом времени с начала воздействия. Методом конечных разностей получено решение на всем временном интервале для волн всего спектрального состава. Проведено сопоставление этих решений и показано их хорошее соответствие.

## СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОТОМОГРАФИИ И ПРЯМОГО ЛУЧЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Беляшов А.В.**<sup>1</sup>, Суворов В.Д.<sup>2</sup>, Мельник Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИГИ, г. Курчатов, Республика Казахстан; <sup>2</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В докладе представляются результаты применения сейсмотомографии (Firstomo/X-Tomo) и метода прямого лучевого моделирования (SeisWide) при построении двумерных сейсмических разрезов верхней части разреза до глубины 400-600 м по данным первых вступлений волн. Выявляется значительная зависимость томографических разрезов от выбора стартовой модели, которая по условию не должна значительно отличаться от финального результата, чтобы обеспечить близость лучевых траекторий распространения волн. При разных стартовых моделях, сейсмотомографические разрезы также оказываются существенно различными, хотя и при малых невязках времен между наблюдаемыми и теоретическими временами пробега волн.

При слоисто блоковой стартовой модели, полученной прямым лучевым моделированием с уже достаточно малыми невязками времен, сейсмотомографический способ вносит в структуру верхней части разреза значительные изменения в виде достаточно протяженных и локальных аномалий скорости. Невязки времен в финальной модели остаются практически без изменений, но при этом лучевые траектории распространения преломленно-рефрагированных волн оказываются различными. Это выражается на годографах зонами тени и петлями, которые в волновом поле не наблюдаются.

## МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

**Яскевич С.В.**<sup>1</sup>, Дучков А.А.<sup>1</sup>, Немирович-Данченко М.М.<sup>1</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ИИГГ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup> ИФПМ СО РАН, г. Томск

Микросейсмический мониторинг используется для решения разведочных задач: мониторинг гидроразрыва пласта (ГРП) и разработки месторождений углеводородов, которые порождают сейсмическую эмиссию. Особое развитие в последние годы получил именно мониторинг ГРП в связи с разработкой нетрадиционных залежей углеводородов (например, при разработке сланцевого газа гидроразрыв является одним из основных способов вывести добычу на экономически эффективный уровень).

Для оптимального планирования сети скважин необходимо знать характерную геометрию трещин, образующихся при проведении ГРП, т.е. их высоту, длину и азимут. Эти величины наиболее надежно оцениваются по облаку гипоцентров микросейсмических событий, которое получается при обработке данных микросейсмического мониторинга. В докладе на модельных примерах была рассмотрена точность локации гипоцентров событий для систем скважинного и наземного микросейсмического мониторинга. Были рассмотрены типичные системы наблюдений, которые в настоящее время применяются на практике при мониторинге ГРП. Для наземных систем необходимо увеличивать длину расстановки, чтобы давать оценку глубины гипоцентров; для скважинных систем – чтобы можно было уточнять скоростную модель, наряду с локацией гипоцентров микросейсмических событий.

Показано, что по данным микросейсмического мониторинга может быть определена сейсмическая анизотропия горных пород. Например, сланцы и трещиноватые коллекторы обладают выраженными анизотропными свойствами. Также напряженное состояние, и само развитие трещины ГРП могут приводить к появлению анизотропии. Учитывая анизотропию горных пород, можно получать более достоверные результаты по локации гипоцентров событий. На основе геомеханического моделирования рассмотрен вопрос определения типа механизмов микросейсмических событий, возникающих при проведении ГРП.

Работа была частично поддержана в рамках интеграционного проекта СО РАН № 127.

## О ДОПУСТИМЫХ ФОРМАХ СООТНОШЕНИЙ УПРУГОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ, ЗАПРЕДЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Чанышев А.И.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Речь идет о соотношениях вида  $\varepsilon_{ij} = A_{ijkl}\sigma_{kl}$  (в случае упругости) и  $\Delta\varepsilon_{ij} = B_{ijkl}\Delta\sigma_{kl}$  (в случае пластичности). Как в случае упругости (разномодульная теория упругости), так и в случае пластичности (активное догружение, упругая разгрузка) возможно существование не одной, а нескольких областей нагружения, догружения (полная догрузка, частичная догрузка). В работе, исходя из того, что для получения того или иного значения напряжения (приращения напряжений) необходимо совершить некоторую историю нагружения (догружения), которая может быть непредсказуемой для континуальной механики сплошных сред, решается вопрос о допустимых формах тех или иных соотношений так, чтобы сами эти соотношения не зависели бы от истории получения конкретных значений  $\sigma_{kl}$ ,  $\Delta\sigma_{kl}$ . В частности, показывается, что при непрерывном переходе из одной области нагружения в другую, например, по напряжениям, должны непрерывным образом стыковаться деформации (то же самое относится и к приращениям деформаций). Другие ограничения – в каждой из областей нагружения (догружения) должен существовать потенциал (локальный потенциал). В то же время эти ограничения не выполняются во многих работах. В [1,2] данные ограничения получены из других соображений.

### Литература:

1. Ключников В.Д. Физико-математические основы прочности и пластичности. Уч. пособие. – М.: МГУ, 1994.
2. Чанышев А.И. О допустимых формах соотношений пластичности с точки зрения теоремы единственности // ПМТФ. – 1997. – т.38. – №6.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛОЯ В НИЖНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЯ В ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

**Овчинников С.Г.<sup>1</sup>, Плоткин В.В.<sup>2</sup>, Дядьков П.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ИФ СО РАН, г. Красноярск; <sup>2</sup> ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

На основе экспериментальных лабораторных исследований свойств магнезиовюстита при высоких давлениях и низких температурах и теоретического расчета электронной структуры и магнитных свойств построена фазовая диаграмма магнезиовюстита в широком интервале давлений и температур. Для высоких температур и давлений, характерных для нижней мантии Земли, предсказана последовательность переходов диэлектрик-металл-диэлектрик по мере возрастания глубины. Металлический слой предсказан для глубин 1400-1800 км. Этот слой характеризуется также повышенной магнитной восприимчивостью.

Проводится инверсия геомагнитных данных мировой сети с целью обнаружения слоя повышенной электропроводности на указанных глубинах как проверка гипотезы возможного фазового перехода магнезиовюстита в нижней мантии. Приводятся результаты обработки как синтетических, так и данных мировой сети - среднемесячных значений геомагнитного поля с 1920 по 2009 годы. Результаты инверсии данных мировой сети не противоречат возможному существованию слоя повышенной электропроводности в нижней мантии. Поскольку фазовый переход магнезиовюстита связан с физическими эффектами в кристаллической решетке, предприняты попытки обнаружить и анизотропию электропроводности в нижней мантии. Показана возможность получения оценок элементов тензора электропроводности, относящихся к тангенциальным компонентам электромагнитного поля, с помощью анализа характеристик одной магнитной моды.

## ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИКО-ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕОДИНАМО

**Кочнев В.А.**

*ИВМ СО РАН, г. Красноярск, kochnev@icm.krasn.ru*

Наши первые результаты численного моделирования неоднородного распределения источников магнитного поля в ядре были представлено в работах 2011 года [1]. Впервые новая модель геодинamo была обсуждена в 2012 году на семинаре Д.Г.Успенского [2] и 3 других российских конференциях.

Результаты обсуждения позволяют более четко сформулировать основные пункты обоснования модели.

1. Если предполагать, что основные источники магнитного поля Земли (МПЗ) находятся в ядре, то распределены они в нем неравномерно и не в центральной, а в экваториальной и прилегающей к ним областях ядра.
2. Источниками МПЗ являются токи, движущиеся по часовой стрелке (если смотреть со стороны северного полюса). В экваториальной области ядра токи движутся в противоположном направлении от вращения планеты.
3. Током является турбулентное и полоидальное движение положительно заряженной жидкости ядра, вызванное приливными (гравитационными) силами Солнца и Луны. Обоснованию приливного механизма и положительной заряженности и скорости движения жидкой субстанции ядра в докладе будет уделено особое внимание.

### **Литература:**

1. Кочнев В.А., Гоз И.В. Модель источников магнитного поля ядра Земли, полученная в результате решения обратной задачи магнитометрии. // Мат. 38-й сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». Пермь, 2011.
2. Кочнев В.А. Косвенные факты и явления, подтверждающие модель генерации магнитного поля при движении заряженного расплава ядра // Мат 39-й сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». Воронеж, 2012, с. 149-152

## ДИАГНОСТИКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БЛОЧНЫХ СРЕДАХ

Григорьев А.С., Шилько Е.В., Астафуров С.В., Димаки А.В., Псахье С.Г.  
*ИФПМ СО РАН, г. Томск*

Развитие подходов к оценке уровня сдвиговых напряжений в разломных зонах является актуальной задачей современной геомеханики. Результаты натурных и лабораторных исследований свидетельствуют о наличии однозначной связи величины сдвиговых напряжений на границе с величиной сдвигового смещения, инициированного внешним динамическим воздействием. Для корректной оценки уровня сдвиговых напряжений необходима информация о характере этой связи, которая может быть получена, в частности, на основе компьютерного моделирования. Поэтому целью настоящей работы являлось изучение характера связи величины сдвиговых напряжений на границе раздела с параметрами ее деформационного отклика на низкоамплитудные динамические воздействия. Исследования проводились путем численного моделирования методом подвижных клеточных автоматов.

Результаты работы демонстрируют возможность оценки уровня сдвиговых напряжений в разломных зонах, в том числе определения, на какой стадии деформирования находится разломная зона. В работе проанализирован эффект резкого изменения величины необратимых деформаций, инициированных на межблочной границе действием импульсного нагружения, при изменении величины нормальных и сдвиговых напряжений. Изучены особенности накопления необратимых смещений на границе раздела блоков в условиях низкоамплитудных серийных динамических воздействий. Предложены характеристики деформационного отклика границы раздела на низкоамплитудные динамические воздействия, которые могут быть использованы для оценки локального напряженного состояния границы.



## ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ О СТРУКТУРЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД МУЙСКОЙ ВПАДИНОЙ

Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р., Павлов Е.В.  
*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

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  $\eta$  (Буллен, 1966). Рассматриваемый параметр является комплексным, объединяя в себе данные о скоростях сейсмических волн и плотности.

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 (Баюк, 1988). По этим данным в зависимости от всестороннего сжатия был выделен общий тренд уменьшения коэффициента петрофизической неоднородности, который может быть обусловлен, главным образом, закрытием трещин, а отклонения от него связаны с изменениями вещественного состава. Это подтверждается результатами теоретического моделирования скоростей продольных, поперечных волн и плотности в зависимости от давления и температуры в сухих магматических породах, где фактор трещиноватости не учитывался (Sobolev & Babiako, 1994). Для них величина  $\eta$  близка к единице во всем диапазоне изменений скоростей, минерального состава, давления (глубины) и температуры.

Аналогичные расчеты были сделаны и для земной коры северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны по данным из профилей ГСЗ через Муйскую впадину (Мишенькина и др, 2004). Значения коэффициента петрофизической неоднородности в целом для этого района уменьшается с глубиной от 20-30 до 2-3, стабилизируясь в интервале глубин 10-20 км. Вместе с тем, на фоне общего уменьшения наблюдаются значительные локальные положительные и отрицательные аномалии в пределах узких протяженных и наклонных зон, достигающих глубины 20-25 км. При удалении трендовой компоненты, которая как предполагается, связана с трещиноватостью пород, получаем петрофизические аномалии, обусловленные только вещественным составом. Сопоставление с геологическими данными (Государственная геологическая карта РФ, 2010) показывает их возможную приуроченность к зонам сочленения блоков архейских и протерозойских пород, представленных зонами динамометаморфитов и диафторитов.

Использование комплексного параметра петрофизической неоднородности свидетельствует о возможности разделения эффектов влияния на сейсмическую скорость и плотность связанных как с трещиноватостью, уменьшающейся под действием давления, так и изменениями вещественного состава. Это представляет интерес при выделении в земной коре структур, контролирующими размещение месторождений полезных ископаемых.

### **Литература:**

1. Баюк Е.И., Лебедев Т.С. Упругие свойства минералов и горных пород // Физические свойства минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах: Справочник / Ред. М.П. Воларович, 1988, М.: Недра. С. 5-69.
2. Буллен К.Е. Введение в теоретическую сейсмологию // М.: Мир, 1966.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000, Серия Алдано-Забайкальская. О-50 Бодайбо. ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2010.
4. Мишенькина З.Р., Мишенькин Б.П. Изучение зоны перехода от земной коры к мантии на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны по данным рефрагированных и отраженных волн // Физика Земли, 2004 г., № 5, с.47-57.
5. Sobolev S.V. and Babeyko A.Yu. Modeling of mineralogical composition, density and elastic wave velocities in anhydrous magmatic rocks. Surveys in Geophysics 15: 515-544, 1994.

### **О КОМПЬЮТЕРНОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ФОРМАЦИИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ГАММА-ГАММА МЕТОДА**

**Хисамутдинов А.И., Пахотина Ю.А.**  
*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В данной работе рассматриваются две задачи о восстановлении плотности формации  $\rho$  при отсутствии и при наличии мешающего фактора (глинистой корки) толщины  $h$  по данным измерений гамма-гамма метода. Исследования обеих задач основаны на теоретических представлениях о гамма-гамма методах и математической модели процесса переноса частиц.

В первой задаче речь идет об определении параметра  $\rho$  уравнения переноса, в котором в качестве данных измерений используется отношение показаний двух детекторов. Решение осуществляется с помощью итерационного метода, основанного на методе последовательных приближений по характерным взаимодействиям.

Во второй задаче восстанавливается пара параметров  $(\rho, h)$ , где плотность формации, как и в первой задаче, восстанавливается, основываясь на методе последовательных приближений по характерным взаимодействиям, а толщина глинистой корки определяется по методу простой итерации.

Аналитическое обоснование свойств сходимости итерационных методов вызывает затруднения, однако теоретические предположения о сходимости полностью подтверждаются численными экспериментами. Таким образом, применение данных численных методов к поставленным задачам приводит к нахождению решения достаточно близкого к точному, то есть к восстановлению искомым параметров формации.

## О РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ СТРУКТУРИРОВАННОГО КОНТИНУУМА ДЛЯ МИКРОНЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

Прилоус Б.И.

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В докладе решается проблема несоблюдения в теории структурированного континуума для микронеоднородных сред некоторых постулатов представительного объема структурированного тела. Концепция континуума со структурой введена в ранних работах Б.П. Сибирякова и развивается на протяжении порядка двух десятилетий. В отличие от существовавших ранее была создана принципиально новая оригинальная модель микронеоднородной среды, в которой использование физических законов сохранения и четкий математический формализм позволили создать строгую модель трансформации реальных пористых и трещиннообразных тел (к которым, в частности можно отнести и коллекторы углеводородов) в их континуальный образ и изучать уравнения движения таких сложных тел с помощью обычной механики сплошной среды. Однако до последнего времени фундаментальная задача определения элементарного представительного объема, основанного на характерных линейных размерах микро, мезо и макроструктур решалась неверно вследствие неправомерного использования формулы интегральной геометрии  $\sigma_0 l_0 = 4(1-f)(1)$ , где  $\sigma_0$  - удельная поверхность рассматриваемого объема тела,  $l_0$  - линейный размер микроструктуры (неоднородности – т.е. поры или трещины) в объеме и  $f$  - пористость этого объема. Размер  $l_0$  этой формулы фигурировал в качестве радиуса представительного объема рассматриваемой среды, что приводило к искажению самих уравнений, их решений и интерпретации результатов. Анализ переменной  $l_0$  показывает, что она должна находиться строго в пределах своей физической “юрисдикции” – микромасштабного представления в контексте интегрально-геометрической формулы (1), в то время как представительный объем структурированного тела должен быть представлен в мезомасштабе. Доклад посвящен исправлению этого абсурдного состояния теории структурированного континуума. Вводится новое для теории понятие - представительный объемный элемент (RVE - representative volume element) с линейным размером  $l_R$  ( $l_R \gg l_0$ ), который определяется для каждой точки (важнейший постулат представительного объема) рассматриваемого тела в отличие от ныне существующей модели, при которой в некоторых точках среды континуальный имидж невозможен. Внутри такого RVE размером  $l_R$  репрезентативное физическое свойства среды (это может быть и пористость, и кривизна и т.п., а также, например, эффективная проводимость и диэлектрическая проницаемость ненасыщенных пористых сред) не испытывает больших флуктуаций, т.е. стабильно по величине в отличие от использования линейного размера  $l_0$ , при котором перечисленные свойства среды испытывают резкие флуктуации значений большого размаха. В докладе также приводятся оценки минимальных размеров  $l_R$  для различных геологических сред.

## О НОВОЙ ФОРМЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ВЕРХНИХ СЛОЕВ ТЕКТОНОСФЕРЫ

**Ребецкий Ю.Л.**  
*ИФЗ РАН, г. Москва*

Теорема Лагранжа – Дирихле определяет в качестве устойчивой механической системы те, которые обладают *минимумом потенциальной энергии*. Следуя этой теореме, показано, что верхние слои тектоносферы, находящиеся в чисто гравитационном напряженном состоянии, будут устойчивыми, если их модули объемной жесткости увеличиваются с глубиной. Если это не выполняется и в слоистом многослое существует инверсия упругой жесткости, то такому состоянию можно найти другое расположение слоев, для которого потенциальная энергия упругих деформаций, вызванных собственным весом массива, будет меньше. В среде, способной к текучести (пластической или вязкой), такое неустойчивое по Ляпунову состояние будет приводить к формированию тектонического течения, энергия которого обеспечивается разностью потенциальных упругих энергий начального и конечного состояний. Наличие неустойчивости обосновано также для малых деформаций границы контакта слоев, для которых наблюдается инверсия с глубиной упругой жесткости. Этот вид неустойчивости предлагается именовать неустойчивостью гравитационного напряженного состояния, отличая его от неустойчивости, вызванного инверсией плотности и связанного с потенциальной энергией силы тяжести.