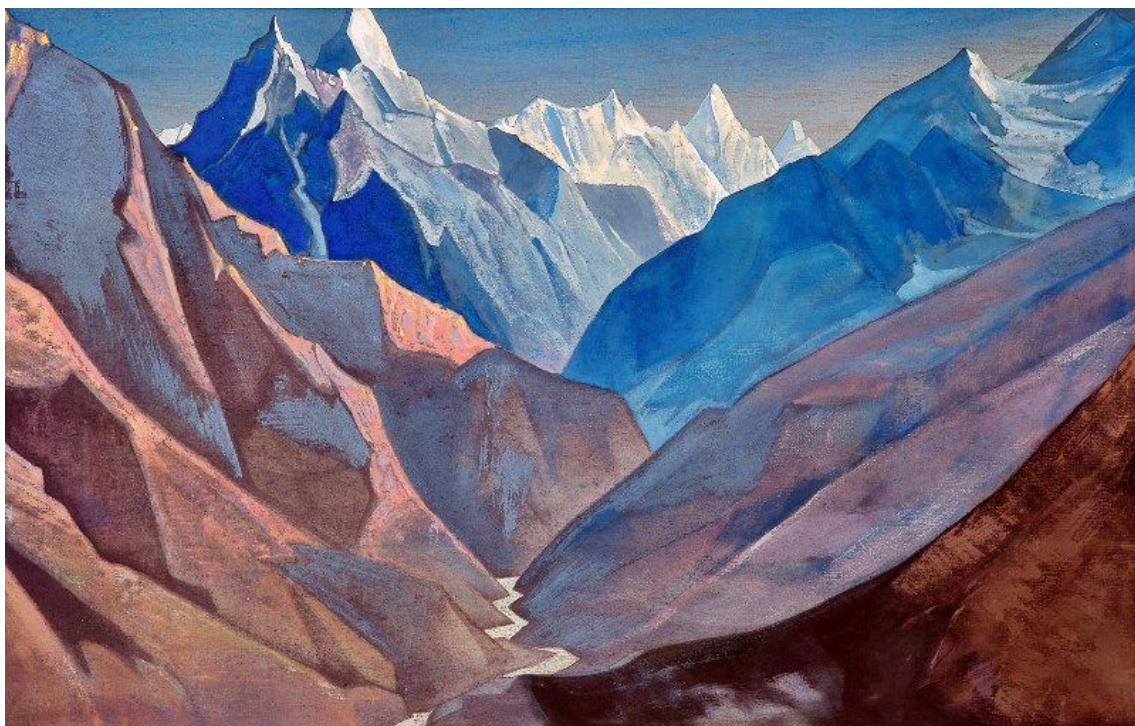


РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

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

МАТЕРИАЛЫ
ЧЕТЫРНАДЦАТОГО ВСЕРОССИЙСКОГО СЕМИНАРА
«ГЕОДИНАМИКА. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА»



Стационар «Денисова пещера», Алтайский край
4-8 августа 2014 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 Эпов М.И.

академик Добрецов Н.Л.

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 14-05-20059-э) 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: стационар Института археологии и этнографии СО РАН «Денисова пещера». Стационар находится на берегу реки Ануй, на территории Алтайского края, в 4 км от деревни Черный Ануй и в 40 км от районного центра Солонешное.

Заезд участников семинара **4 августа 2014 г.**

Регистрация участников будет проводиться **5 августа с 9¹⁵ – 9³⁰** в конференц-зале стационара «Денисова пещера».

Питание участников семинара будет организовано на стационаре «Денисова пещера».

Завтрак: **9⁰⁰ – 9³⁰**

Обед: **14⁰⁰ – 15⁰⁰**

Ужин: **19⁰⁰ – 20⁰⁰**

Отъезд участников семинара **8 августа 2014 г.**

5 АВГУСТА

Утреннее заседание

- 10:00-10:05 *Заместитель председателя Сибирского отделения РАН, академик Эпов М.И.* Вступительное слово.
- 10:05-10:45 *Добрецов Н.Л.^{1,2}, Кулаков И.Ю.^{1,2}, Литасов К.Д.^{2,3}, Кукарина Е.В.^{1,2}* (¹ИНГГ СО РАН, ²НГУ, ³ИГМ СО РАН). Значение геологии, экспериментальной петрологии и сейсмотомографии для комплексной оценки субдукционных процессов.
- 10:45-11:20 *Ребецкий Ю.Л., Алексеев А.С. (ИФЗ РАН).* Современные напряжения в коре Высокой Азии. Эволюция напряженного состояния в коре орогенов.
- 11:20-12:00 *Сибиряков Б.П., Копейкин А.В. (ИНГГ СО РАН).* Линейные и нелинейные волны в блочных средах.

Перерыв
12.00-12.15

- 12:15-12:45 *Селезнев В.С. (ГС СО РАН).* Использование колебаний малых амплитуд при сейсмологических исследованиях (наносейсмология).
- 12:45-13:15 *Макаров П.В.^{1,2}, Еремин М.О.^{1,2}, Перышкин А.Ю.², Буслов М.М.³* (¹ТГУ, ²ИФПМ СО РАН, ³ИГМ СО РАН). Моделирование деформационного процесса в Центральной Азии в масштабе ее общей эволюции в кайнозое.
- 13:15-13:40 *Богомолов Л.М.¹, Сычева Н.А.², Сычев И.В.³* (¹ИМГиГ ДВО РАН, ²НС РАН, ³ИНГГ СО РАН). Физические аспекты моделей несферических очагов землетрясений, приложения к оценкам снятия напряжений.

Обед
14:00-15:00

Вечернее заседание

- 15:00-15:35 ***Стефанов Ю.П.¹, Бакеев Р.А.², Ельцов И.Н.¹*** (¹ИНГГ СО РАН, ²ИФПМ СО РАН). Численное исследование необратимой деформации и изменения проницаемости вокруг скважин.
- 15:35-16:05 ***Назаров Л.А.¹, Назарова Л.А.¹, Хан Г.Н.¹, Панов А.В.¹, Карчевский А.В.²*** (¹ИГД СО РАН, ²ИМ СО РАН). Определение параметров и состояния подземных объектов по данным измерения смещений на дневной поверхности.
- 16:05-16:45 ***Родкин М.В.¹, Шатахьян А.Р.²*** (¹ИТПЗ РАН, ²ГЦ РАН). Статистический анализ данных по рудным месторождениям – новая область развития степенных самоподобных распределений.
- 16:45-17:05 ***Бакеев Р.А.¹, Стефанов Ю.П.²*** (¹ИФПМ СО РАН, ²ИНГГ СО РАН). Численное исследование строения сдвиговых нарушений осадочного чехла.

Перерыв
17:05-17:20

- 17:20-17:45 ***Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Еманов А.А., Белинская А.Ю.*** (ГС СО РАН). Челябинский метеорит глазами сейсмолога.
- 17:45-18:10 ***Тимофеев Д.Н.¹, Кочнев В.А.²*** (¹ООО «Космическая Технология», ²ИВМ СО РАН). Тунгусское событие: метеорит или разрушенная газовая залежь?
- 18:10-19:00 ***Дискуссия.***

6 АВГУСТА

Утреннее заседание

- 10:00-10:25 ***Кульков А.С.¹, Чернышов А.И.¹, Лычагин Д.В.¹, Тишин П.А.¹, Кульков С.Н.^{1,2}*** (¹ТГУ, ²ИФПМ СО РАН). Кристаллографический анализ ориентаций зерен геопород на мезо- и микромасштабном уровнях.
- 10:25-10:50 ***Александрова Н.И.*** (ИГД СО РАН). Сейсмические волны на поверхности блочного полупространства с учетом вязкости.

- 10:50-11:15 **Немирович-Данченко М.М.¹, Шатская А.А.²** (¹ТФ ИНГГ, ²ТПУ). Расчет влияния системы наклонных трещин на сейсмическое поле.
- 11:15-11:45 **Родкин М.В.¹, Писаренко В.Ф.¹, Нго Тхи Лы²** (¹ИТПЗ РАН, ²ИГВАНТ). Поведение хвоста функции распределения землетрясений – результаты применения метода предельных распределений и имитация мультипликативным каскадом.

Перерыв
11:45-12:00

- 12:00-12:35 **Сибиряков Б.П.** (ИНГГ СО РАН). Изменение закона Гутенберга-Рихтера из-за дисперсии размеров блоков.
- 12:35-13:05 **Назарова Л.А.¹, Карчевский А.В.², Назаров Л.А.¹, Полевищиков Г.Я.³, Козырева Е.Н.³, Родин Р.И.³** (¹ИГД СО РАН, ²ИМ СО РАН, ³ИУ СО РАН). Оценка газокинетических параметров угольных пластов на основе решения обратных задач.
- 13:05-13:35 **Суворов В.Д., Павлов Е.В., Мельник Е.А.** (ИНГГ СО РАН). Об изостатическом состоянии земной коры Тунгусской и Вилуйской синеклиз.

Обед
14:00-15:00

Вечернее заседание

- 15:00-15:25 **Павлов Е.В.¹, Суворов В.Д.¹, Кочнев В.А.²** (¹ИНГГ СО РАН, ²ИВМ СО РАН). Западная граница Сибирского кратона по региональным сейсмогравитационным данным.
- 15:25-15:50 **Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.** (ИНГГ СО РАН). Сходство и различие геоэлектрического строения межгорных впадин Горного Алтая.

- 15:50-16:15 *Неведрова Н.Н., Пономарев П.В., Шалагинов А.Е. (ИНГГ СО РАН). Характеристика активности разломных структур Чуйско-Курайской сейсмоактивной зоны Горного Алтая по данным геоэлектрики с контролируруемыми источниками.*
- 16:15-16:45 *Кучай О.А.¹, Кальметьева З.А.², Козина М.Е.¹ (¹ИНГГ СО РАН, ²ЦАИИЗ). Особенности деформированного состояния Тянь-Шаня-Памирского региона по механизмам очагам землетрясений.*

Перерыв
16:45-17:00

- 17:00-17:30 *Богомолов Л.М.¹, Закупин А.С.² (¹ИМГиГ ДВО РАН, ²НС РАН г. Бишкек). Развитие представлений об электромагнитных воздействиях на геосреду: сейсмоакустические проявления, анализ моделей.*
- 17:30-18:00 *Кочнев В.А. (ИВМ СО РАН). Анализ изменений Z-компоненты геомагнитного поля IGRF в геоцентрической системе координат в период 1980–2005 гг.*
- 18:00-18:20 *Прилоус Б.И. (ИНГГ СО РАН). О дуализме волна-частица в упругих средах.*
- 18:20-19:00 *Дискуссия.*

7 АВГУСТА

Утреннее заседание

- 10:00-10:30 *Стефанов Ю.П.¹, Дучков А.А.¹, Бакеев Р.А.², Яскевич С.В.¹ (¹ИНГГ СО РАН, ²ИФПМ СО РАН). Расчет излучения упругих волн при продвижении трещины гидроразрыва.*
- 10:30-11:10 *Сибиряков Е.Б. (ИНГГ СО РАН). Применение конечного аналога дипольного потенциала для решения задачи о расклинивающем давлении.*
- 11:10-11:40 *Родкин М.В.¹, Никонов А.А.², Стром А.Л.³, Шварев С.В.², Корженков А.М.² (¹ИТПЗ РАН, ²ИФЗ РАН, ³ЦСГНЭО). Метод и результаты оценки параметров палеоземлетрясений по смещениям в скальных породах.*

Перерыв
11:40-11:55

- 11:55-12:15 **Кулешов Д.А., Дядьков П.Г., Дучкова А.А. (ИНГГ СО РАН).** Вековая вариация геомагнитного поля и методы ее учета при тектономагнитных исследованиях в Байкальском регионе (2007-2013 гг.).
- 12:15-12:45 **Перышкин А.Ю.¹, Макаров П.В.^{1,2}, Еремин М.О.^{1,2} (¹ИФПМ СО РАН, ²ТГУ).** Численное моделирование сейсмических процессов в Байкальской рифтовой зоне и Горном Алтае.
- 12:45-13:15 **Лунев Б.В., Лапковский В.В. (ИНГГ СО РАН).** Геологические следствия конвективной неустойчивости «термической литосферы» (численное моделирование формирования эпиконтинентальных осадочных бассейнов).

Обед
14:00-15:00

Вечернее заседание

- 15:00-15:30 **Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С. (ИВМ СО РАН).** Формирование ВЧР и осадочной толщи в условиях траппового магматизма и солей на примере Чаяндинского НГКМ по данным сейсморазведки, гравиметрии и глубокого бурения.
- 15:30-16:00 **Эпов М.И., Дядьков П.Г., Злыгостев И.Н., Фирсов А.П., Кулешов Д.А., Цибизов Л.В., Евменов Н.Д. (ИНГГ СО РАН).** Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для тектономагнитного мониторинга.
- 16:00-18:00 **Дискуссия.**

**ЗНАЧЕНИЕ ГЕОЛОГИИ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЕТРОЛОГИИ И
СЕЙСМОТОМОГРАФИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
СУБДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Добрецов Н.Л.^{1,2}, Кулаков И.Ю.^{1,2}, Литасов К.Д.^{2,3}, Кукарина Е.В.^{1,2}
¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²НГУ, г. Новосибирск;
³ИГМ СО РАН, г. Новосибирск*

В данном докладе дан обзор имеющихся знаний о процессах субдукции, полученных методами геологии, петрологии и сейсмологии. Показана роль каждого из направлений в исследовании зон субдукции, их сильные и слабые стороны. На основе анализа результатов многомасштабных томографических исследований делается предположение о многоуровневой системе миграции флюидов и расплавов над погружающимся слэбом. В докладе приводятся возможные химические и физические сценарии эволюции глубинных источников вулканизма с учетом широкого круга геологических и геофизических данных. Рассмотрены два ключевых объекта. Первый - Камчатка, представляющий собой современную зону субдукции, которая активно изучается различными геолого-геофизическими методами. Исследования Камчатки и Японии подтверждают определяющую роль выплавления андезитов при субдукции океанической коры, а также сложность построения модели с независимой миграцией расплавов и флюидов. На примере Камчатки уточнена роль промежуточных камер на глубине 50-80 и около 30 км и показано значение малоглубинных камер как этапов подготовки к извержению. Вторым объектом исследования – Кокчетавский массив, который представляет собой вынесенный на поверхность фрагмент древней зоны субдукции. Эксгумация пород, претерпевших субдукцию, дает возможность напрямую исследовать состав и возраст расплавов, сопутствовавших субдукции на протяжении всей жизни процесса.

Ключевые слова: Субдукция, вулканы, состав лав, миграция расплавов и флюидов, фазовые переходы, дегидратация, сейсмичность, Камчатка, Кокчетав.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КОРЕ ВЫСОКОЙ АЗИИ. ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В КОРЕ ОРОГЕНОВ

Ребецкий Ю.Л., Алексеев А.С.

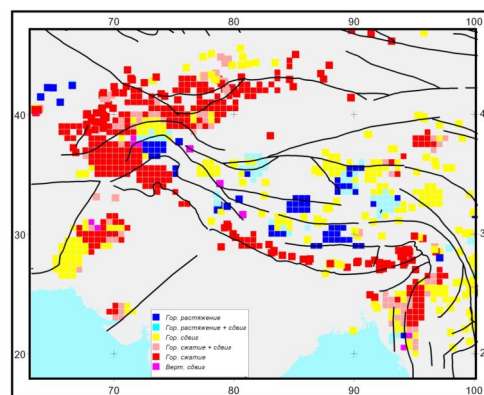
ИФЗ РАН, г. Москва

Результаты реконструкции природных напряжений, выполненной по данным механизмов очагов землетрясений методом катакластического анализа разрывных смещений, показали наличие обширных областей горизонтального растяжения в коре плато Тибета, которые с юга ограничены областями горизонтального сжатия коры Гималаев, а с севера и северо-востока – областями горизонтального сдвига коры Западного и Восточного Куньлуня.

В центральной части коры Тибета наблюдается повышенный уровень эффективного всестороннего давления, которое ослабевает в областях его окружения. Центральная часть коры Памира также испытывает состояние горизонтального растяжения и сдвига. С севера, запада и юга кора плато Памира окружена областями горизонтального сжатия. Выявленные закономерности поля современных напряжений Тибета и Памира находят свое объяснение в явлении тектонического «растекания» этих областей под собственным весом, что создает обстановку интенсивного горизонтального расплющивания коры Гималаев при выгибе южной границы Тибета в сторону Индийский индентора,двигающегося на север – северо-восток, согласно данным GPS.

Полученные результаты вместе с данным предыдущих исследований современного напряженного состояния в коре молодых горно-складчатых орогенов Центральной Азии (Северный Тянь-Шань и Алтае-Саяны) позволяют выдвинуть модель эволюции напряжений в коре горных поднятий в процессе их формирования и деградации. В этой модели важную роль играют экзогенный процессы, происходящие на поверхности (эрозия поднятий и осадконакопление во впадинах), а также внутрикоровое перетекание, осуществляемое на уровне средней и нижней вязкопластической коры. В этой модели верхняя хрупко-упругая часть коры испытывает вертикальные блоковые движения, формирующие соответствующий рельеф горно-складчатых орогенов.

На начальной и развитой стадии формирования горных поднятий в коре хребтов напряжения максимального сжатия субгоризонтальны, а в крупных межгорных впадинах и передовых прогибах в горизонтальном направлении действуют оси главных напряжений минимального сжатия (девиаторное растяжение). На этой стадии в коре имеет место перетекание горных масс из прогибов в поднятия, приводящее к формированию корней гор и антикорней впадин. На стадии стабилизации рельефа происходит формирование плато, состоящее в денудации вершин хребтов и увеличении мощности отложений в межгорных впадинах. Поскольку в этом момент происходит инверсия внутрикорового течения, межгорные впадины постепенно трансформируются во внутригорные. На этой стадии в коре возникающего плато ориентация осей растяжения становится



*Геодинамические типы
напряженного состояния в коре
Высокой Азии*

субгоризонтальной. В коре системы хребтов, окружающей плато, в этот момент может продолжаться формирования горного рельефа, т.к. эти зоны соседствуют с передовыми прогибами, в которых продолжают иметь место процессы соответствующие активной стадии горообразования.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В БЛОЧНЫХ СРЕДАХ

Сибиряков Б.П., Копейкин А.В.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Модель континуума, обладающего структурой, приводит к выводу о том, что вместо обычных продольных и поперечных волн в микронеоднородных телах возникают их дисперсионные аналоги, так что увеличение удельной поверхности пор и трещин приводит к снижению скоростей как продольных, так и поперечных волн. Однако, снижение скоростей продольных волн более существенное, так что коэффициент Пуассона, определяемый из отношения скоростей, падает, вплоть до отрицательных значений. Это явление аномально высоких отношений скоростей поперечных волн по отношению к скоростям волн продольных замечено довольно давно, но до сих пор должным образом не было понято.

Модель блочного континуума, обладающего, в среднем, нелинейной связью между напряжениями и деформациями, для волн, длинных по сравнению с размерами микроструктур, приводит к классическому уравнению четвёртого порядка, так называемому уравнению Буссинеска. Одним из решений этого уравнения являются классические солитоны. Однако, солитонные решения возможны лишь в том случае, когда диаграмма напряжение-деформация имеет положительную кривизну, т.е. скорость волн растёт с ростом амплитуды в волне. Иными словами, солитоны возможны там, где ударные волны устойчивы. Громадное большинство горных пород обладает как раз отрицательной кривизной упомянутой диаграммы, если поры и трещины не насыщены жидкостью. Видимо, это главная причина того, что мы до сих пор не имеем убедительного доказательства регистрации солитонов в горных породах. Однако, положение может измениться, если поры и трещины насыщены жидкостью без заметного содержания воздуха. В этом случае солитонные решения возможны.

Несколько неожиданным следствием существования блоков является то обстоятельство, что дисперсия, обязанная своим существованием конечным размерам структуры, резко обостряет нелинейность. Так, если бы среда не обладала дисперсией, то влияние нелинейного члена было бы исключительно малым, порядка квадрата величины деформаций. Наличие же дисперсии приводит к тому, что даже для слабых волн нелинейные эффекты для стационарных колебаний приводят к заметным амплитудам суммарных и разностных гармоник. Это явление было замечено при вибрационных полевых исследованиях ещё в 80 годах прошлого столетия, однако, оно не было правильно понято. Недавние лабораторные измерения Г.В. Егорова и И.Э. Машинского на пористом бетоне убедительно доказали существование достаточно больших амплитуд гармоник, отличных от двух исходных гармонических частот.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МАЛЫХ АМПЛИТУД ПРИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НАНОСЕЙСМОЛОГИЯ)

Селезнев В.С.

ГС СО РАН, г. Новосибирск

Создание регистрирующей аппаратуры используемой в настоящее время в сейсмологии позволяет одновременно регистрировать как сильные колебания от землетрясений и взрывов так и очень слабые колебания амплитудой в нанометры от других различных источников колебаний находящихся на больших расстояниях от точки регистрации. Современные способы выделения слабых сигналов на фоне сильных колебаний позволяют, используя большое количество станций (сейсмические антенны) или накопление сигналов закономерно изменяющихся во времени, одновременно на одной сейсмограмме зарегистрированной в течении определенного времени, выделять сразу несколько различных колебаний, по которым можно изучать как строение среды так и характеристики крупных объектов и вести мониторинг работающего оборудования находящегося на значительном расстоянии от сейсмологической станции. Это открывает новые возможности в использовании сейсмологических записей, в том числе и использование их как "черные ящики" при расшифровке причин различных аварий. Возникает новый класс задач и новое направление - наносейсмология - область сейсмологии, в которой выделяются и используются в различных целях колебания амплитудой в нанометры.

Наиболее интересными задачами в этом направлении являются задачи по выделению из сейсмических шумов собственных колебаний различных объектов. Это могут быть и собственные колебания различных слоев земной поверхности, что позволяет по-новому подойти к микрорайонированию земной поверхности, или собственные частоты зданий и сооружений, что позволяет контролировать их физическое состояние и проводить мониторинговые работы.

Выделение слабых сейсмических колебаний на сейсмических антеннах позволяет решать задачи только по изучению естественной и техногенной сейсмичности за короткие промежутки времени, но и решать задачи по изучению напряженного состояния различных объектов, вести мониторинговые работы на крупных месторождениях и изучать гидроразрывы.

Выделение из сейсмических записей монохроматических колебаний, или колебаний изменяющихся по определенным законам позволяет получать от вибраторов записи на больших расстояниях и изучать глубинное строение Земли, контролировать работу различных установок, предотвращая их аварии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В МАСШТАБЕ ЕЕ ОБЩЕЙ ЭВОЛЮЦИИ В КАЙНОЗОЕ

Макаров П.В.^{1,2}, Еремин М.О.^{1,2}, Перышкин А.Ю.², Буслов М.М.³

¹ТГУ, г. Томск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск; ³ИГМ СО РАН г. Новосибирск

Выполнены тестовые расчеты развития деформационного процесса от областей коллизии, отвечающие макроимпульсам тектонической активности в масштабе общей эволюции областей Центральной Азии в кайнозое и расчеты по

формированию микроимпульсов деформационной активности в плейстоцене, отвечающие локальным потерям устойчивости деформационного процесса в регионах.

Выполнены также тестовые расчеты по изучению процессов формирования и эволюции внутриконтинентальных горных систем центральной Азии с целью выявления макро и микроимпульсов. Главными целями этих расчетов было:

- Построение структурной модели по профилю Индостанский индентор – Гималаи – хребет Черского, уточнение границы Мохо по профилю. Определение физико-механических параметров элементов структуры по выбранным профилям, их вариаций с глубиной.
- Решение задачи на установление состояния гидростатического равновесия масс земной коры и мантии по выбранным профилям.
- Решение задачи о распространении деформационного процесса от Индийского индентора вглубь Центральной Азии по выбранным профилям.
- Решение задачи о распространении макроимпульсов деформации на сфере от зон коллизии вглубь Центрально-Азиатского континента.
- Выявление макроимпульсов деформационных процессов, начавшихся с момента столкновения Индии с Евразией.
- Выявление природы и механизмов локальных микроимпульсов, обусловленных процессами деструкции, а также (возможно в наибольшей степени) неоднородностями деформационных процессов в целом по Евро-Азиатскому материку и в частности в каждой локальной области.

С точки зрения нелинейной динамики, нагружаемая геосреда как нелинейная динамическая система в целом находится в состоянии динамического квазиравновесного состояния. Под влиянием внешних воздействий (коллизионных процессов на границах плит, в данном случае) и сил тяжести, деформационный процесс всей блочной системы развивается существенно неоднородно и сопровождается развитием глобальной и локальных неустойчивостей. Эти неустойчивости деформационного процесса регулируются обратными связями [1].

Согласование современных тектонических течений с наблюдениями в 3D модели в сферических координатах потребовало также учета давления не только Индостана, но и Аравийской плиты, а также коллизии с Американской плитой, согласно данным работы [2]. Распределение неупругих деформаций свидетельствует, что деформационные процессы сосредоточены в основном в горных системах и континентальных рифтах.

Литература:

1. Макаров П.В., Еремин М.О. Явление прерывистой текучести как базовая модель исследования неустойчивостей деформационных процессов // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 109–128.
2. Г.М. Стеблов, Д.И. Фролов, В.С. Куксенко Кинематика движения материков Земли // Физика твердого тела. - 2005. - Т. 47, N 6. - С. 1009-1014.

**ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛЕЙ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ,
ПРИЛОЖЕНИЯ К ОЦЕНКАМ СНЯТИЯ НАПРЯЖЕНИЙ**

Богомолов Л.М.¹, Сычева Н.А.², Сычев И.В.³

¹ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск; ²НС РАН, г. Бишкек, Киргизия;

³ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: bogomolov@imgg.ru

Вопрос об интерпретации спектральных характеристик очагов землетрясений, ЗЛТ, через их перерасчет на динамические параметры: радиус очага (по Брюну), сейсмический момент и снятие напряжений стал еще более актуальным после получения массовых данных об этих параметрах в нескольких регионах (Сахалин, Северный Тянь-Шань). В настоящее время уже составлены сводки (каталоги) включающие около сотни или даже несколько сотен значений, определенных по единой методике, принятой в мировой практике [1]. В докладе представлен пример такого каталога, допускающего статистический анализ полученных значений снятия напряжений.

В большинстве моделей очага землетрясения, ЗЛТ, попытки более точного расчета снятия напряжений фактически сводятся к поправкам к формуле для радиуса очага (Брюна), определяемого по частоте среза и скорости поперечных волн. Такие модели направлены, в основном, на более точный учет региональных особенностей сейсмической сети и скоростного строения коры, что дублирует в той или иной степени учет станционных поправок и поправок за частотную зависимость добротности среды [2]. Но при этом не учитывается принципиальный фактор – скорость распространения разрыва. Доклад посвящен анализу альтернативных моделей очагов ЗЛТ, в которых рассматривается распространение разрыва с дозвуковой скоростью. Это дислокационная модель [3] и модель вытянутого по форме очага, порождаемого сдвиговым разрывом [4].

Для модели Москвиной [3] предложены аналитические выражения, по которым могут быть проведены уточняющие расчеты радиуса очага, принимающие во внимание, что подвижка происходит со скоростью, меньшей скорости поперечных волн. Скорость подвижки оценивается из самой модели. В этом состоит принципиальное преимущество модели Москвиной перед моделями, но не принимающими в расчет ограниченную скорость разрыва. В модели Щеглова очаг землетрясения описывается как эллипсоид вращения. В этой модели фигурируют два размера, что позволяет описать форму очага более детально. Модель Щеглова приводит к громоздкой системе уравнений, которая может быть решена численно. Одно из достоинств модели – объяснение случаев, когда расчет сейсмического момента по разным компонентам сейсмограмм дает результаты, различающиеся в несколько раз. Когда очаг описывается двумя геометрическими параметрами, то вычисленный по спектрам параметр с размерностью длины, может быть поставлен в соответствие либо одному из радиусов эллипсоида вращения, либо их среднему. Модель позволяет сделать оптимальный выбор станций для расчета динамических параметров ЗЛТ (с учетом эпицентрального расстояния и углов выхода осей сжатия – растяжения).

Литература:

1. Бурымская Р.Н. Спектральный состав излучения и очаговые параметры землетрясений северо-западной части Тихого океана за 1969-1996 годы.//Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений Северо- Запада Тихого океана/ Отв.ред. А.И. Иващенко. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. Т.1.

С. 48-67

2. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. Падение напряжений в очагах среднемагнитудных землетрясений в Северном Тянь-Шане // Физика Земли. 2014. №3. С. 142-153.
3. Москвина А.Г. Поле смещения упругих волн, создаваемое распространяющейся дислокацией // Физика Земли. 1969. №6. С.3-10.
4. Щеглов В.И. К определению параметров сдвигового источника сейсмического излучения. // ФТПРПИ. 1978. № 5. С. 18-27.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБРАТИМОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОКРУГ СКВАЖИН

Стефанов Ю.П.¹, Бакеев Р.А.², Ельцов И.Н.¹

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск

Основным фактором, влияющим на изменение проницаемости среды, является развитие неупругой деформации. В процессе бурения, эксплуатации скважин или ином воздействии происходит развитие зон упругопластической деформации, изменение их формы и размеров, а внутри них меняются трещиноватость, пористость и, как следствие, проницаемость. В зависимости от свойств породы, напряженного состояния и осуществляемого воздействия характер развития деформации может быть различным, неупругая деформация может развиваться в режимах дилатансии и компаксии, а также с образованием макротрещин. Развитие деформации в режиме дилатансии, при котором происходит раскрытие микротрещин, может привести к возрастанию проницаемости среды. При компаксии разрушение и измельчение зерен влечет схлопывание микротрещин, уменьшение пористости и проницаемости. Для предсказания и управления режимом деформации необходим выбор оптимальных режимов воздействия на среду, в зависимости от напряженного состояния и свойств породы.

В докладе представлена модель и проиллюстрированы некоторые возможности численного расчета процессов деформации и разрушения в горных породах с использованием разработанной программы. Представлены результаты численного моделирования развития неупругой деформации и формирования зон локализации в окрестности скважин. Показано, что в зависимости от условий нагружения и свойств породы возможно формирование концентрических, спиральных и радиальных зон дилатансии и компаксии.

Описание деформации за пределом упругости осуществлялось в рамках модели с комбинированной поверхностью предельного состояния и неассоциированным законом течения. Моделирование осуществлялось в 2D и 3D постановках.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ НА ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Назаров Л.А.¹, Назарова Л.А.¹, Хан Г.Н.¹, Панов А.В.¹, Карчевский А.В.²
¹ИГД СО РАН, г. Новосибирск; ²ИМ СО РАН, г. Новосибирск

Крупномасштабная добыча твердых полезных ископаемых и извлечение углеводородов, движение подземных вод и карстообразование – вот далеко не полный перечень техногенных и природных процессов, инициирующих нарушение равновесия, деформирование массива горных пород с возникновением поля дополнительных смещений, параметры которого на дневной поверхности могут быть зарегистрированы методами спутниковой и/или наземной геодезии. Эти данные позволяют не только делать качественные выводы о динамике деформационных процессов, но и количественно оценивать некоторые параметры подземных объектов и геомеханических полей.

Оценка распределения давления в продуктивном пласте. Рассмотрена типичная конфигурация породного массива при разработке горизонтального продуктивного пласта батареями скважин. На основе пороупругой модели, описывающей деформирование пласта и вмещающей среды, сформулирована обратная задача оценки пространственного распределения давления по данным о приращениях смещений на дневной поверхности. Предложена структура целевой функции, численными экспериментами с использованием синтетических данных установлен предельный уровень шума, при котором обратная задача однозначно разрешима.

Определение размеров подземной полости в массиве грунта по конфигурации мульды сдвижения. Предложена и методом частиц (начальная упаковка генерировалась методом гравитационного осаждения) реализована геомеханическая модель, описывающая необратимое деформирование грунтового массива, если на некоторой глубине вследствие естественных или техногенных процессов внезапно возникает прямоугольная полость. Разработан способ оценки протяженности, высоты и глубины заложения полости, основанный на решении обратной задачи по данным о форме и размерах мульды сдвижения, если известны предельные характеристики (угол внутреннего трения и сцепление) грунта. Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 12-05-00843) и Интеграционного проекта СО РАН № 14.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО РУДНЫМ МЕСТОРОЖДЕНИЯМ – НОВАЯ ОБЛАСТЬ РАЗВИТИЯ СТЕПЕННЫХ САМОПОДОБНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Родкин М.В.¹, Шатахиян А.Р.²
¹ИТПЗ РАН, г. Москва; ²ГЦ РАН, г. Москва; e-mail: rodkin@mitp.ru

Обсуждаются результаты статистического анализа данных по крупным и суперкрупным рудным месторождениям (БД КСКМ), исследуются характер распределений, рассчитывается фрактальная размерность, анализируются значения мер близости Танимото. Подтверждается, что для месторождений различных видов сырья наблюдается однотипный степенной характер распределения для величин запасов и логнормальный для значений концентрации руд. При этом важно, что

часто наблюдается положительная корреляция между суммарными величинами запасов в месторождениях и концентрацией рудных компонент. Анализируются результаты расчетов корреляционной размерности и меры близости Танимото для разных видов месторождений. Реализуется кластеризация месторождений и приводится ряд неизвестных ранее эмпирических корреляций и соотношений. Выявленные данные указывают на высокую степень кластеризации крупных рудных месторождений. Выявленные закономерности находят возможную интерпретацию в рамках гипотезы формирования крупных рудных и углеводородных месторождений как попутного эффекта превращений больших объемов вещества между различными по составу резервуарами тектоносферы.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ СДВИГОВЫХ НАРУШЕНИЙ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Бакеев Р.А.¹, Стефанов Ю.П.²

¹ИФПМ СО РАН, г. Томск; ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Многие месторождения углеводородов и других полезных ископаемых находятся в зонах сдвиговых нарушений осадочного чехла. Это обусловлено тем, что зоны нарушений являются естественными областями миграции флюида в связи с повышенной пористостью и трещиноватостью, а также специфическим напряженно-деформированным состоянием. Данные нарушения имеют сложное трехмерное строение. За специфический вид в вертикальных поперечных сечениях нарушения подобного типа называют «цветковыми» структурами горизонтального сдвига. В настоящее время особое внимание сосредоточено на изучении геометрии и напряженного состояния структур горизонтального сдвига или цветковых структур нарушений, формирование которых обусловлено разрывным горизонтальным сдвигом блоков фундамента.

В работе представлены результаты 3D моделирования формирования нарушений в осадочном слое при разрывном сдвиге основания. Предполагалось, что осадочный слой находится под действием силы тяжести и лежит на двух жестких блоках, которые смещаются в противоположных направлениях. По мере развития деформации, формируются зоны локализации деформации, называемые цветковыми структурами нарушений.

Рассмотрены особенности строения зон локализации деформации на разных этапах развития, от зарождения нарушений вблизи разреза в основании, до их выхода на поверхность и соединения отдельных участков в линию разлома. Проведенные расчеты показали, что в условиях разрывного горизонтального сдвига основания, возможно формирование двух принципиально различных структур. В первом типе формируется вертикальный разлом с узкой зоной оперяющих структур, ориентированных под углом $\sim 10^\circ-15^\circ$ в горизонтальной плоскости по отношению к оси сдвига. Второй тип имеет более сложное пространственное строение, состоит из наклонных поверхностей нарушений, имеющих наклон $\sim 40^\circ$ к оси сдвига. Формирование нарушений данного типа происходит парами, на начальных этапах напоминающих створки устриц. После их выхода на свободную поверхность сверху формируется магистральный разрыв с хорошо выраженными оперяющими зонами разной ориентации. В случае низкой

прочности среды возможно формирование двух равноценных систем нарушений, лежащих по разные стороны от оси сдвига и образование впоследствии двух магистральных разрывов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 13-05-98083).

ЧЕЛЯБИНСКИЙ МЕТЕОРИТ ГЛАЗАМИ СЕЙСМОЛОГА
Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Еманов А.А., Белинская А.Ю.
ГС СО РАН, г. Новосибирск

15 февраля 2013 года произошло неординарное событие. Метеороид, пролетевший над территорией Сибири и взорвавшийся в Челябинской области, вызвал огромный интерес в мире. Это обусловлено следующими причинами:

1. крайне редко метеорное тело взрывается в районе крупного населенного пункта;
2. болид был заснят на множество камер видеонаблюдения, автомобильных видеорегистраторов и мобильных телефонов, записи с которых быстро разлетелись по всему миру.

Наше внимание метеороид привлек, прежде всего, тем, что его траектория проходила недалеко от крупнейшей в Сибири геофизической обсерватории «Ключи» (Новосибирская область). Здесь осуществляется регулярный мониторинг параметров ионосферы, магнитного поля и космических лучей. Кроме того, действует сейсмологическая сеть станций Геофизической службы СО РАН, расположенных в Алтае-Саянском и Байкальском регионах. Такая развитая система наблюдений за геофизическими полями позволила зафиксировать явления, сопровождающие пролёт метеороида.

Доклад посвящен описанию эффектов пролёта метеороида «Челябинск», взорвавшегося над территорией Челябинской области, в геофизических данных, полученных на станциях наблюдений в Западной Сибири. С использованием записей камер видеонаблюдения и автомобильных видеорегистраторов определены траектория и скорость движения метеорного тела с момента начала свечения и до момента разрушения. Используя записи широкополосных сейсмических станций, по временам вступлений поверхностной волны, возникшей в результате взрыва метеороида, определено точное время взрыва – 03:20:34 UTC. По амплитудам поверхностной волны оценена энергия взрыва в предположении, что источник точечный, аналогичный высотному термоядерному взрыву. Она составила около 100 кт в тротиловом эквиваленте.

ТУНГУССКОЕ СОБЫТИЕ: МЕТЕОРИТ ИЛИ РАЗРУШЕННАЯ ГАЗОВАЯ ЗАЛЕЖЬ?

Тимофеев Д.Н.¹, Кочнев В.А.²

¹ООО "Космическая Технология", г. Железногорск; ²ИВМ СО РАН, г. Красноярск;
e-mail htamp@inbox.ru

Наиболее распространённая концепция объяснения Тунгусского события 1908 года основывается на представлениях о космическом теле вторгшегося в атмосферу Земли. Эта концепция противоречит имевшимся наблюдениям очевидцев и

результатам последующих исследований. Она не объясняет странных атмосферных оптических явлений, светлых ночей, светящихся облаков над Европой и Западной Сибирью за несколько дней до события. Не объясняет изогнутость траектории полёта болида. Не объясняет большое количество взрывов и несколько центров вывалов деревьев в эпицентре события, а также много других фактов.

Выдвинутая гипотеза, в которой Тунгусское событие произошло из-за выхода из глубин Земли и взрыва природного газа объясняет все произошедшие явления. По этой гипотезе светлые ночи и светящиеся облака являлись следствием фотохимической реакции окисления метана озоном атмосферы. Изогнутость траектории объясняется тем, что сам болид являлся фронтом детонационной волны перемещавшимся по невидимому с Земли шлейфу природного газа, а шлейф может быть изогнут, в зависимости от изменения направления ветра. Большое количество взрывов объясняется неоднородностью образовавшегося облака смеси газа с воздухом в Тунгусской котловине. Объясняются газовой гипотезой и все другие наблюдавшиеся явления [2].

За прошедшее время появилось достаточно много дополнительных результатов исследований подтверждающих правильность выдвинутой газовой гипотезы. Произошли события, в определённой степени, близкие по природе к взрыву в Тунгусской тайге. Найдены описания подобных событий в прежнее время. Научными исследованиями выявлено, что воронки в районе Тунгусской котловины образованы в результате выхода природного газа из недр Земли. В северо-западной части Северного болота обнаружена воронка с тремя катастрофными слоями, возраст которых определен 7320, 6710, 4240 лет, что указывает на многократное проявление газозрывных процессов на Тунгуске [1]. Что породы в районе воронок имеют компоненты глубинного происхождения. Геологические исследования показали, что Тунгусская котловина находится в газоносном районе, по своей структуре являющемся одной территорией с открытыми здесь Собинским и Оморинским месторождениями углеводородов [3].

Всё это позволяет считать, что в вопросе Тунгусской тайны можно поставить точку. Тайна раскрыта. Имевшееся в 1908 году событие над тунгусской тайгой является следствием вскрытия месторождения природного газа, образования смеси газа с воздухом и взрыва вызвавшего это эпохальное событие.

Литература:

1. Скублов Г.Т, Марин Ю.Б, Скублов С.Г, Логунова Л.Н, Нечаев Е.С. Савичева А.А. Минерало-геохимические особенности коренных пород рыхлых отложений и катастрофных мхов участка Северное болото (район Тунгусской катастрофы 1908г.) ЗРМО №3 2011г.с 120-138.
2. Тимофеев Д.Н., Кочнев В.А. Геолого-физико-химическая модель Тунгусского события 1908 года. Пятые научные чтения Ю.П.Булашевича. ИГ УрО РАН. Екатеринбург 2009г.
3. Тимофеев Д.Н., Кочнев В.А. Геологические доказательства газовой природы Тунгусского взрыва 1908 года. Седьмые научные чтения Ю.П.Булашевича. ИГ УрО РАН. Екатеринбург 2013г.

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОРИЕНТАЦИЙ ЗЕРЕН ГЕОПОРОД НА МЕЗО И МИКРОМАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ

Кульков А.С.¹, Чернышов А.И.¹, Лычагин Д.В.¹, Тишин П.А.¹, Кульков С.Н.^{1,2}
¹ТГУ, г. Томск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск; e-mail: kulkov@ms.tsc.ru

Классификации деформационных структур оливинов, постоянно уделяется большое внимание. В результате морфологического и кристаллооптического анализа ранее была дана классификация петроструктурных типов оливина и выделены следующие типы: протогранулярный, порфинокластовый, порфиroleйстовый, мозаичный. Данные типы сменяют друг друга последовательно в процессе деформации геологических пород. Появление метода дифракции обратно отражённых электронов (EBSD) дает возможность получить комплекс сведений о типах границ зерен, их разориентации и предпочтительной ориентировки, значительно увеличив статистику. Целью настоящей работы является кристаллографический анализ ориентации зерен оливинов разных петроструктурных типов для уточнения условий их образования.

Проанализирована взаимосвязь разориентаций зерен оливинов различных петроструктурных типов из дунитов Тарлашкинского массива с размерами зерен, удельной площади границ зерен, объемной долей крупных и мелких составляющих. Исследована кристаллографическая ориентация петроструктурных типов оливинов. Методом EBSD анализа показано, что изменение ориентации зерен происходит начиная с порфинокластового типа, а максимальное рассеяние разориентировок зерен оливина наблюдается при образовании мозаичной структуры. Полученные результаты подтверждают высказанную ранее авторами гипотезу о деформационных превращениях оливинов в результате геологических процессов.

В протогранулярном типе наблюдается единичное сгущение точек, соответствующее ориентации наиболее крупных зерен. Мелкие зерна равномерно рассеяны по всей градусной сетке. При переходе к порфинокластовому типу наблюдается локальное рассеивание области с максимальной плотностью ориентировок крупных зерен с сохранением равномерного распределения от мелких зерен. Оливин в порфиroleйстовом типе имеет еще большее рассеивание по градусной сетке. В этом случае крупные зерна оливина создают серию максимумов с повышенной плотностью ориентировок, разбросанных по всей площади полюсной фигуры. В мозаичном типе устанавливается равномерное распределение кристаллографических ориентировок зерен оливина

Проведенные исследования основных структурных типов дунитов показало, что уменьшение размеров зерен оливина сопровождается увеличением абсолютной протяженности их границ. Пропорционально уменьшению количества зерна и увеличению количества кристаллитов в единице объема уменьшается степень анизотропии кристаллографических ориентаций. Характер изменения удельной протяженности границ зерен подчеркивает различные термодинамические режимы формирования протогранулярного, порфинокластового, порфиroleйстового типов с одной стороны и мозаичного – с другой. Первая группа структур формируется в высокотемпературном режиме, близких к условиям первичной рекристаллизации. Об этом свидетельствует уменьшение удельной протяженности границ зерен от протогранулярного к порфиroleйстовому типу дунитов. Подобная зависимость при близких размерах зерен обусловлена их морфологией и характером границ. При

этом избыточное напряжение по границам зерен снимается развивающимся процессом рекристаллизации и усилением рассеяния ориентировок. Аналогичные закономерности наблюдаются при высокотемпературной деформации оливина в лабораторных условиях. Особенности структуры мозаичного типа свидетельствует о том, что наряду с высокотемпературными деформациями проявляются низкотемпературные.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ БЛОЧНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА С УЧЕТОМ ВЯЗКОСТИ

Александрова Н.И.

ИГД СО РАН, г. Новосибирск

В настоящей работе исследуется задача Лэмба о действии сосредоточенной вертикальной ступенчатой нагрузки на поверхность блочного полупространства. Блочная среда моделируется однородной двумерной решеткой, состоящей из масс, соединенных пружинами и демпферами в направлениях осей x , y и в диагональных направлениях. Задача рассматривается в плоской постановке.

Для того чтобы построить аналитическое решение задачи Лэмба для блочной среды, применялось преобразование Лапласа по времени t и дискретное преобразование Фурье по переменной n к уравнениям движения. Анализ дисперсионного уравнения Релея для блочной среды показал, что скорость бесконечно длинных волн Релея в блочной среде c_R совпадает со скоростью волн Релея в изотропной упругой среде [1].

Аналитическое решение данной задачи без учета вязкости получено с использованием асимптотических методов обращения преобразований Лапласа и Фурье:

$$\begin{aligned}
 u_{n,0}(t) &\approx \frac{P_0}{4k_1} \left[\frac{1}{3} - \int_0^\kappa \text{Ai}(y) dy \right], & \dot{u}_{n,0}(t) &\approx \frac{nP_0}{2k_1 t} \frac{\text{Ai}(\kappa)}{(\omega_1 t)^{1/3}}, & \ddot{u}_{n,0}(t) &\approx -\frac{nP_0 c_R}{k_1 l t} \frac{\text{Ai}'(\kappa)}{(\omega_1 t)^{2/3}}, \\
 \dot{v}_{n,0}(t) &= -\frac{P_0 l^2 \alpha_1}{4M c_R} \frac{\text{Gi}(\kappa)}{(\alpha t)^{1/3}}, & \ddot{v}_{n,0}(t) &= \frac{P_0 l^2 \alpha_1}{4M} \frac{\text{Gi}'(\kappa)}{(\alpha t)^{2/3}}, \\
 \text{Ai}(\kappa) &= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \cos\left(\kappa z + \frac{z^3}{3}\right) dz, & \text{Gi}(\kappa) &= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \sin\left(\kappa z + \frac{z^3}{3}\right) dz, \\
 \alpha &= \frac{l^2 c_R}{8}, & \kappa &= \frac{2(n - c_R t/l)}{(\omega_1 t)^{1/3}}, & \omega_1 &= \sqrt{\frac{4k_1}{3M}}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь u , v — перемещения в горизонтальных x и вертикальных y направлениях; n , m — номера масс в направлениях x , y ; k_1 , k_2 — жесткости пружин в направлениях x , y , $k_1 = 2k_2$; M — масса; P_0 — амплитуда нагрузки; l — длина пружин; Ai — функция Эйри, Gi — функция Скорера [2]; точка означает дифференцирование по времени.

Сравнение аналитических (1) и численных решений, полученных конечно-разностным методом, показало, что аналитическое решение и качественно и количественно соответствует результатам численных расчетов. Таким образом, на

поверхности полупространства при отсутствии вязких прослоек при $t \rightarrow \infty$ максимальные амплитуды скоростей перемещений \dot{u} и \dot{v} в окрестности волны Релея $nl = c_R t$ падают как $t^{-1/3}$, максимальные амплитуды ускорений падают как $t^{-2/3}$, ширина квазифронта (зона роста возмущений от нуля до максимума) растет как $t^{1/3}$.

Как показали результаты численных расчетов, введение вязкости приводит к уменьшению амплитуды высокочастотных колебаний позади фронта релеевской волны на осциллограммах скоростей перемещений и ускорений, а затем и к их полному исчезновению с ростом вязкости. Такое поведение возмущений ближе к реальным сейсмограммам, чем без учета вязкости. Полученный результат свидетельствует о необходимости учета вязкости прослоек в блочной модели горных пород при расчете сейсмических волн.

Работа выполнена по проекту ОНЗ РАН 3.1.

Литература:

1. Aleksandrova N. I. The discrete Lamb problem: Elastic lattice waves in a block medium. *Wave Motion*, 51, 2014, pp. 818-832. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wavemoti.2014.02.002>.
2. Abramowitz M., Stegun I. A. (eds.) *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*. U.S. Department of Commerce, Washington, 1964.

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Немирович-Данченко М.М.¹, Шатская А.А.²

¹*ТФ ИНГГ, г. Томск;* ²*ТПУ, г. Томск*

В работе предложена методика построения модели среды с системой наклонных трещин и проведения расчетов прямых задач сейсморазведки для такой среды. Актуальность этого направления обусловлена тем, что на сегодняшний день все сервисные геофизические кампании мира предлагают 3D3C работы. Это позволяет сделать обычным для производственных организаций использование азимутальной анизотропии скоростей для определения параметров трещин в слоях. При этом в ряде экспериментальных работ рассмотрены лабораторные эксперименты с системами трещин различной насыщенности и обсуждаются возможности выявления соответствующих сейсмических атрибутов. Нами предлагается подобные эксперименты проводить на основе конечно-разностного моделирования. Подробно система уравнений и конечно-разностная схема приведены в работах [1, 2].

Система плоскопараллельных трещин имеет регулируемые угол наклона и флюидонасыщенность. Приводится пример построения временного разреза для модели с водонасыщенными трещинами. Сравняются спектры падающего и проходящего сигналов.

Сравнение спектров говорит о следующем. Как и для случая ненасыщенных трещин (см. работы [3, 4]), происходит видимое смещение несущей частоты в низкочастотную часть спектра. Кроме того, происходит обогащение правой части кривой высокими частотами, отвечающими как за дифракционную картину на всем

семействе трещин, так и за собственные моды колебаний трещин в отдельности. Как показали наши расчеты, затухание высоких частот спектра волны, прошедшей через пачку трещин, обусловлено (в отсутствие механизмов трения) волновым сопротивлением. Это связано, в свою очередь, с системой неоднородных поверхностных волн, возникающей на границах раздела [3].

Обнаруженные закономерности могут быть далее использованы для выявления сейсмических атрибутов, ответственных за зоны поглощения с учетом ориентированности систем трещин.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН, междисциплинарный интеграционный проект № 127 и при поддержке РФФИ, грант № 12-05-00337-а.

Литература:

1. Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для численного расчета волновых полей в сложнопостроенных средах // Геология и геофизика. - № 11. - 1995. - С. 96-105.
2. Nemirovich-Danchenko M.M. A model for the brittle hypoelastic medium: application to computation of deformations and failure in rock, Phys. Mesomech., 1, No. 2 (1998) 101-108.
3. Немирович-Данченко М.М. Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала // Физ. мезомех. - 2013. - Т. 16. - № 1. - С. 105-110.
4. Гик Л.Д., Конторович В.А., Канаков М.С., Лапковский В.В., Лунев Б.В., Немирович-Данченко М.М. Использование спектральных характеристик сейсмической записи для прогноза зон улучшенных коллекторов // Технологии сейсморазведки. - 2013. - № 3. - С. 16-20.

ПОВЕДЕНИЕ ХВОСТА ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ – РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ И ИМИТАЦИЯ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМ КАСКАДОМ

Родкин М.В.¹, Писаренко В.Ф.¹, Нго Тху Лы²

¹ИТПЗ РАН, г. Москва; ²ИГВАНТ, г. Москва; e-mail: rodkin@mitp.ru

Для оценки сейсмической опасности наибольший интерес представляют редкие сильнейшие события. Характер распределения редких сильнейших событий исследовался нами ранее методом предельных распределений теории экстремальных значений. В частности, было показано, что при анализе мировых каталогов сейсмичности поведение хвоста функции распределения в области сильнейших событий отвечает конечному закону распределения (с явно выраженным эффектом «загиба вниз» графика повторяемости). По региональным каталогам иногда наблюдается эффект так называемых характеристических землетрясений. Эти результаты сравниваются с результатами имитации сейсмического режима в рамках схемы мультипликативного каскада. Как известно, степенное распределение землетрясений (закон распределения Гуттенберга-Рихтера) естественным образом реализуется в рамках модели мультипликативного каскада. Загиб графика повторяемости вниз и конечность закона распределения может быть получено добавлением отрицательного квадратичного слагаемого в кинетическое уравнение мультипликативного каскада. Появление

характеристических событий при соблюдении условия конечности распределения может быть получено добавлением положительного кубического и отрицательного члена четвертой степени в кинетическое уравнение. Отсюда видно, что появление экстремальных характеристических событий по-видимому связано с развитием в процессе сейсмогенеза дополнительных нелинейных положительных обратных связей. Учитывая, что характеристические землетрясения (например, по данным для юго-восточной Азии) чаще реализуются в области зон субдукции, можно предположить, что такие нелинейные взаимодействия связаны с более активным флюидным режимом, свойственным областям зон субдукции. Полученные результаты применимы и ко многим другим случаям распределений с тяжелым хвостом.

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ГУТЕНБЕРГА-РИХТЕРА ИЗ-ЗА ДИСПЕРСИИ РАЗМЕРОВ БЛОКОВ

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.

ОЦЕНКА ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

*Назарова Л.А.¹, Карчевский А.В.², Назаров Л.А.¹, Полевицков Г.Я.³,
Козырева Е.Н.³, Родин Р.И.³*

¹ИГД СО РАН, г. Новосибирск; ²ИМ СО РАН, г. Новосибирск;

³ИУ СО РАН, г. Кемерово

Для уменьшения вероятности катастрофических явлений (внезапные выбросы угля и газа, горные удары) при разработке месторождений угля применяется заблаговременная дегазация пластов. В последние десятилетия угольный метан интенсивно используется как альтернативный, экологически безопасный источник энергии: реализуется большое число проектов его добычи и утилизации. Для планирования и проведения этих работ необходима количественная оценка газокинетических характеристик углепородного массива (начальное газосодержание, коэффициенты диффузии и массообмена и т.д.), от величины которых во многом зависит и схема расположения скважин, и длительность периода дегазации.

Оценка диффузионно-емкостных параметров угля по данным эксперимента “canister test”. Классический способ определения газоносности C_0 угольных пластов состоит в регистрации давления $P(t)$ в герметичной емкости [1] с пробой угля. При этом C_0 оценивается по величине установившегося в емкости давления с использованием приближенных соотношений, не принимающая во внимание целый ряд факторов, например гранулометрический состав пробы. Разработана модель такого эксперимента, учитывающая процессы диффузии и десорбции метана в частицах пробы, а также массообмен с внешней средой на границе последних. Найдено аналитическое решение и предложен новый способ интерпретации результатов “canister test”, основанный решении обратной задачи по входным данным $P(t)$. Подход апробирован на реальных данных измерения давления $P(t)$ для углей шахт Алардинская и Черкизовская (Кузнецкий угольный бассейн), позволивший оценить не только C_0 , но и коэффициенты диффузии D , массообмена β и кинетики десорбции.

Определение газокинетических параметров трещиновато-блочного угольного пласта в окрестности скважины по данным измерения расхода. Разработана и численно реализована геомеханическая модель эмиссии газа из угольного пласта блочной структуры, учитывающая: диффузию газа в блоках; фильтрацию в межблочных трещинах, раскрытость которых зависит от напряжений во внешнем поле и усадки блоков в процессе десорбции; массообмен на интерфейсных границах. Сформулирована обратная коэффициентная задача определения значений C_0 , D и β по данным измерения давления и расхода в дегазационной скважине. Численными экспериментами установлено, что при известных густоте и начальной раскрытости трещин для однозначной разрешимости задачи необходимо привлекать дополнительную информацию о газокинетических характеристиках, например, величине C_0 .

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

Литература:

1. W. P. Diamond, S. J. Schatzel, Measuring the Gas Content of Coal: A Review // International Journal of Coal Geology. 1998. V. 35, Issues 1–4.

ОБ ИЗОСТАТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ТУНГУССКОЙ И ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗ

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

В структуре земной коры проявляются следствия возможных геодинамических моделей внутри плитного магматизма [Anderson, 2006; Добрецов, 1997, 2005; Czamanske et al., 1998; Foulger, 2010; Иванов, 2007; Saunders et al., 2007]. Он широко представлен излияниями траппов в Тунгусской синеклизе и значительно меньше в Вилюйском бассейне. Нами анализируются особенности строения земной коры этих структур вдоль профиля Кратон, пересекающего Западно-Сибирскую плиту и Сибирскую платформу в широтном направлении.

Структура земной коры этих регионов представлена в сечении профилем осадочным чехлом, двумя слоями кристаллических пород [Егоркин и др., 1987] и дополнена нами значениями плотности, рассчитанной по регрессии скорость-плотность [Brocher, 2005]. Гравитационное поле в аномалиях Буге получено по спутниковым данным, пересчитанным на уровень геоида по [Fullea et al., 2008; Sandwell & Smith, 2009]. В целом наблюдается корреляция между гравитационным полем и распределением скорости-плотности в земной коре и верхней мантии.

Сейсмическая структура консолидированной земной коры, как и осадочного чехла, указывают на особое формирование глубинных корней Тунгусской синеклизы в постмагматический этап ее развития, который определенно связан с излиянием большого объема траппов. Это проявляется в согласном прогибе фундамента и внутрикоровой границе при отсутствии поднятия Мохо, необходимого для локальной изостатической компенсации, характерной Вилюйской и Западно-Сибирской синеклизам. При этом объем излившихся траппов, выраженный в дневном рельефе, компенсируется прогибом только верхней части коры.

ЗАПАДНАЯ ГРАНИЦА СИБИРСКОГО КРАТОНА ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Павлов Е.В.¹, Суворов В.Д.¹, Кочнев В.А.²

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ИВМ СО РАН, г. Красноярск

Проблема поиска и разведки месторождений углеводородов в палеозойском фундаменте Западно-Сибирской плиты обсуждается с начала освоения месторождений нефти и газа в регионе (Трофимук, 1964). Еще в 60-х годах прошлого века были открыты такие месторождения палеозойской нефти как Верх-Тарское, Малоическое и др. Несмотря на это, в целом объемы добычи нефти из фундамента плиты незначительны, по сравнению с мезокайнозойским осадочным чехлом. Проблема заключается в выделении потенциально нефтегазоносных слабодислоцированных блоков палеозойских отложений, аналогичных Сибирской платформе (Алексеева и др., 1976, Бочкарев, 1980, Сурков, Жеро, 1981). С этой проблемой тесно связана задача определения границы между Западно-Сибирской плитой и Сибирским кратоном, недеформированный фундамент которого,

продолжается под мезо-кайнозойский чехол плиты. Рассматривается решение такой задачи по региональным сейсмическим данным (КМПВ, ГСЗ) и гравиметрии.

Согласно модели изостатического равновесия Эйри-Хейсканена возвышения рельефа дневной поверхности над уровнем моря должны быть скомпенсированы повышенной мощностью земной коры. В таком случае можно выделить мантийную составляющую в аномальном гравитационном поле, предполагая, что высокочастотная составляющая гравитационного поля связана, прежде всего, с плотностными неоднородностями в земной коре, а низкочастотная часть поля преимущественно с рельефом границы Мохо и плотностными неоднородностями в верхней мантии. В Западной Сибири рельеф дневной поверхности является практически плоским и корреляция между ним и рельефом Мохо отсутствует. Однако наблюдается корреляция между подошвой мезокайнозойского чехла и границей Мохо, указывающая, что Западно-Сибирская плита изостатически скомпенсирована на уровне подошвы осадочного чехла, и разделение гравитационного влияния верхней мантии и коры можно провести, предварительно пересчитав аномальное гравитационное поле на этот уровень. Для Сибирской платформы, также характерна корреляция между Мохо и поверхностью архейского кристаллического фундамента.

В качестве примера используется сводный профиль ГСЗ, пересекающий с запада на восток Западно-Сибирскую плиту, Салаирский кряж, Кузнецкий прогиб, Томь-Колыванскую складчатую зону, с повторным выходом в Западно-Сибирскую плиту, затем через Енисейский кряж, и западную часть Сибирской платформы.. Выявлено, что для Западно-Сибирской плиты характерна обратная корреляция, когда— с увеличением глубины Мохо аномальное гравитационное поле понижается, а для Сибирской платформы наоборот – при уменьшении глубины Мохо редуцированное на поверхность фундамента аномальное гравитационное поле увеличивается. Это свойство предлагается использовать для определения западной региональной границы Сибирского кратона, погруженного под мезо-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты.

ХАРАКТЕРИСТИКА АКТИВНОСТИ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР ЧУЙСКО-КУРАЙСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ ПО ДАННЫМ ГЕОЭЛЕКТРИКИ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

*Неведрова Н.Н., Пономарев П.В., Шалагинов А.Е.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Разломные структуры фактически определяют строение сейсмоактивных регионов. По современным геолого-структурным и тектонофизическим данным разлом - это не только некоторая дизъюнктивная граница, корректнее термин – «разломная зона» или «область динамического влияния разлома». Эта область определяется в основном по поверхностным тектоническим признакам с учетом сейсмологических данных: рассматривается приуроченность к зоне разлома эпицентров землетрясений. Ширина этих зон может колебаться от сантиметров до многих километров и выражается в развитии областей хрупкого разрушения либо в более сложных структурно-вещественных преобразованиях (1). В терминах геоэлектрики разломную зону также можно характеризовать пространственной

областью определенного размера, электромагнитные характеристики которой отличаются от характеристик вмещающей среды, и чаще всего понижением значений удельного электрического сопротивления (УЭС). Кроме того разломные зоны могут отличаться по своим анизотропным электрическим свойствам, что подтверждается теоретическими расчетами и целым рядом полевых экспериментов. Наиболее вероятная причина анизотропии геологического массива в зонах разломов связана с развитием трещиноватости в верхней части земной коры под воздействием происходящих сейсмических событий. Коэффициент электрической анизотропии в Чуйской впадине был определен по измерениям, выполненным методами постоянного и переменного тока. Методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) получены вариации коэффициента электрической анизотропии и УЭС в долине р. Чаган, где последствия землетрясения были наиболее разрушительными. По результатам интерпретации данных метода становления поля (ЗС) выполненных по площади в юго-западной части впадины также получены вариации этих двух параметров.

Следует отметить, что большая часть электромагнитных измерений выполнена в эпицентральной области Чуйского землетрясения 2003 г., которое по сейсмологическим данным сопровождается продолжительным афтершоковым процессом (2). Если рассмотреть результаты электромагнитных измерений непосредственно в зоне магистрального разрыва Чуйского события, учитывая вариации как параметра УЭС, так и электрической анизотропии, то можно сделать несколько выводов. Во-первых, по интенсивности вариаций электромагнитных параметров можно выделить отдельные наиболее активные зоны этого разрыва. Во-вторых, по данным ЗС, полученным в районе пос. Мухор-Тархата наблюдается участок активного второстепенного разлома. Учитывая блоковое строение Чуйской впадины и амплитуды вариаций в различных пунктах регулярных наблюдений ЗС можно выделить также активные межблоковые разломы.

Литература:

1. Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект/ К.Ж. Семинский, М.А. Тугарина - Новосибирск: ГЕО. - 2005. – 275 с.
2. Еманов А.Ф. [и др.]. Землетрясения России в 2009 году. - 2011. - С.27-30.

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН ГОРНОГО АЛТАЯ

Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Характерной особенностью Горного Алтая является широкое распространение межгорных разновысотных котловин, относящихся к областям тектонического опускания (Чуйская, Курайская, Уймонская, Абайская, Канская и др.). Некоторые из них располагаются на значительной высоте, подвергаясь действию древних ледников, сформировавших рельеф их днищ. Другие находятся на более низких уровнях, являясь вместилищами древних озёрных бассейнов, например, Чуйская, Курайская, Уймонская котловины, относящиеся к наиболее крупным впадинам региона [1, 2]. Эти впадины являются ключевыми объектами

для понимания закономерностей формирования неотектонической структуры Горного Алтая и современного рельефа. Континентальные осадочные отложения значительной мощности выполняют впадины. Однако доступных для непосредственного изучения разрезов кайнозойских осадков немного и расположены они преимущественно в прибортовых частях депрессий. Поэтому в настоящее время для изучения глубинного строения впадин привлечен электромагнитный комплекс с контролируемыми источниками. В геоэлектрических условиях кайнозойских впадин Горного Алтая применяются методы постоянного тока (ВЭЗ, электротомография) и нестационарные электромагнитные зондирования. Чуйская и Курайская котловины разделены только межгорной перемычкой Чаган-Узунского массива и образуют единую систему кайнозойских впадин на юго-востоке Горного Алтая с похожей историей неотектонического развития и кайнозойского осадконакопления, они заполнены осадками примерно одного и того же возраста. На основе интерпретации данных геоэлектрики с помощью современных компьютерных средств построены глубинные геоэлектрические модели Чуйской и Курайской депрессий, в рамках которых уточнен рельеф поверхности фундамента и выделены основные геологические границы в осадочном выполнении [2, 3]. Особенности залегания осадочных пород отражают, построенные по профилям измерений, геоэлектрические разрезы. Главными чертами строения Чуйской, Курайской, Уймонской впадин являются разломные границы с обрамляющими их с северо-востока и юго-запада горными сооружениями. В результате позднекайнозойских тектонических движений отмечаются надвиги палеозойских пород на осадочное выполнение этих впадин вдоль северо-северо-восточных горных хребтов, что подтверждают геоэлектрические исследования. Строение южных и юго-восточных частей Чуйской и Курайской котловин существенно отличается. У Курайской впадины оно более сложное: фундамент впадины ступенчато погружается по системе сбросов с северо-запада на юго-восток, образуя глубокий прогиб, ограниченный со стороны поднятия разломом. Глубины до фундамента в юго-восточном прогибе по данным ЗС 20012-2013 гг. превышают 1000 м [4, 5].

Литература:

1. Зольников И.Д. Стратотипы четвертичных отложений Яломано-Катунской зоны Горного Алтая // Геология и геофизика. – 2008. - т. 49. - № 9. – С. 906-918.
2. Рудой А.Н. Озерно-ледниковая подпрудная формация и четвертичная палеогеография Алтая / А. Н. Рудой, М. Р. Кирьянова // Известия Русского географического общества. - 1994. — Т. 126. — Вып. 6. — С. 62-71.
3. Неведрова Н.Н., М.И. Эпов, Е.Ю. Антонов, Ю.А. Дашевский, А.Д. Дучков Реконструкция глубинного строения Чуйской впадины Горного Алтая по данным электромагнитных зондирований / Н.Н. Неведрова, // Геология и геофизика. – 2001. – Т.42, №9. – с. 1399-1416.
4. Неведрова Н.Н., А.М. Санчаа, Е.В. Деев Строение Курайской впадины по данным электрических зондирований / Н.Н. Неведрова, // Геофизика. - 2011. - № 6. - С. 56-65.
5. Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Деев Е.В. Глубинное строение и характеристики предгорных структур Курайской впадины по данным геоэлектрики с контролируемым источником. // Геология и геофизика, 2014, т.55, №1, с.119-132.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЕ ТЯНЬ-ШАНЯ-ПАМИРСКОГО РЕГИОНА ПО МЕХАНИЗМАМ ОЧАГАМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Кучай О.А.¹, Кальметьева З.А.², Козина М.Е.¹

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ЦАИИЗ г. Бишкек, Кыргызская Республика

Памиро-Тянь-Шаньский регион характеризуется как один из высокоактивных сейсмических областей внутриконтинентальных орогенов. Появление в последние годы дополнительных материалов по данным механизмов очагов землетрясений позволило восстановить поле сеймотектонических деформаций как всего района в целом. Для реконструкции сеймотектонических деформации (СТД) использовалась методика Ю.В.Ризниченко [1]. На начальном этапе каталог параметров механизмов очагов для Тянь-Шаня и Памира создавался под руководством С.Л.Юнги, далее дополнялся данными из сборников «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Евразии». Использовался массив определений из 5830 землетрясений (1962-2005гг. с $M \geq 3.0$). При расчетах преимущество отдавалось параметрам механизмов сильных землетрясений, полученных в Гарвардском центре [3].

По данным многих исследователей достаточно пологое падение сейсмофокальной зоны на Памире к югу, отличается от практически близвертикального падения к северу сейсмофокальной зоны Гиндукуша, расположенного южнее 37 параллели.

По очагам событий с $M \geq 3.0$ (1962-2005гг.) наблюдается более хаотичная картина по азимутальному простиранию проекций главных осей СТД на горизонтальную поверхность, чем только по сильным землетрясениям ($M \geq 4.5$). В тоже время ориентация осей укорочения несколько отличается по обе стороны от 74 меридиана. Памир, надвигаясь на Тянь-Шань, деформируется таким образом, что близгоризонтальное растяжение контролирует его контур на севере и западе как по данным коровых, так и глубоких землетрясений. Для внутренней части Памира растяжения ближе к субширотному. Близгоризонтальное положение осей укорочения восточной части субмеридиональное, в западной – северо-западное. Юго-западная часть Гиндукуша, расположенная южнее 37 параллели, испытывает близвертикальное удлинение при широтном и меридиональном укорочении на всех уровнях глубин

Возможно меридиональное надвигание Памира на Тянь-шань, СЗ смещение Гиндукуша и сдавливание юго-западной части Гиндукуша с севера и юга способствует распределению напряжений в Южном Тянь-Шане и Таджикской депрессии.

Литература:

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985, 408с.
2. <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.htm>

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ГЕОСРЕДУ: СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ, АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ

Богомолов Л.М.¹, Закупин А.С.²

¹ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск; ²ИС РАН, г. Бишкек, Киргизия;
e-mail: bogomolov@imgg.ru

Экспериментальные исследования влияния электромагнитных (ЭМ) полей на неупругое деформирование и разрушение геоматериалов, находящихся в напряженно-деформированном состоянии, опережают “теорию”. Физические модели, пусть качественные, были известны с самого начала исследований, но сложилась ситуация, что в публикациях они оставались на втором плане. Такая ситуация, в большей степени, способствует исследованиям, ориентированным на проблему разрядки искусственных напряжений в геосреде (РИНГ), чем упор на теорию. Тем не менее, представляет интерес проследить эволюцию базовых моделей, объясняющих механизм ЭМ воздействия на процесс разрушения геоматериалов и геосред. Представленный в докладе обзор подводит к выводу, что наблюдаемые отклики активности эмиссионных сигналов на воздействие ЭМ полей объясняются сочетанием нескольких механизмов. Но при этом можно установить ключевые элементы механизма электромагнитного воздействия, по типу объяснения молнии - “это электрический разряд”. Рассматриваемые модели опираются как на результаты о влиянии ЭМ воздействий на активность акустической эмиссии нагруженных образцов и результаты о вариациях сейсмичности в период экспериментальных ЭМ зондирований земной коры Бишкекского геодинамического полигона с применением мощных источников тока. Также приняты во внимание недавние результаты о сейсмоакустических проявлениях воздействий импульсов тока того же источника по данным скважинных измерений. Часть доклада посвящена особенностям реакции среды на ЭМ воздействия на промежуточном масштабе (для скважинных измерений в диапазоне сотен Гц это несколько метров или десятков метров, что намного меньше натурального геофизического масштаба, но намного больше лабораторного, сантиметрового).

На ранней стадии исследования описание возможного механизма ЭМ воздействий опиралось на модели движения дислокаций, которые при своем движении в диэлектрических материалах могут переносить электрический заряд. Движение краевых дислокаций реализует деформацию сдвига, таким образом, влияние внешнего ЭМ поля сводилось просто к электропластическому эффекту. Считалось, что при приросте пластичности должна несколько снизиться упругая деформация, так как полная деформация в земной коре задана глобальными факторами. При обобщении результатов экспериментов на бесшумных реологических установках с модельными ЭМ воздействиями на образцы геоматериалов была предложена иная модель, в которой триггерный эффект ЭМ полей объясняется возбуждением вибраций и последующим вибростимулированием эмиссионных сигналов (АЭ нагруженных образцов, слабая сейсмичность для земной коры). Модель опирается на ранее проведенные исследования влияния слабых вибраций на неупругое деформирование и разрушение горных пород. В рамках модели идентифицированы механизмы электромеханического преобразования и получены критерии эффекта “электромагнитного триггера” при ЭМ воздействиях в лабораторных и натуральных

условиях. В возбуждение отклика среды на ЭМ воздействие могут вносить вклад и другие механизмы, модели которых разработаны пока в меньшей степени, чем “сведение” к вибрациям. Один из таких механизмов связан с перемещением избыточных зарядов, их концентрацией на границах зерен, блоков или поверхностях трещин (расталкивание одноименных поверхностных зарядов – сильный эффект, который может играть роль смазки на контактах). В двухфазной среде (земной коре) вклад в перенос заряда будет вноситься за счет переходных (неустановившихся) процессов электрокинетики в коллекторах, связанных с прохождением импульсных токов.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ Z-КОМПОНЕНТЫ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ IGRF В ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ В ПЕРИОД 1980-2005 ГГ.

Кочнев В.А.

ИВМ СО РАН, Красноярск

Наличие изменений магнитного поля Земли со временем было открыто в 1633 году Г. Геллибрандом. В настоящее время различают четыре вида вариаций геомагнитного поля: вековые, годовые, суточные и магнитные бури.

Вековые вариации рассчитываются по данным глобальных обобщений магнитных измерений за каждые 5 лет. Обширная литература посвящена проблеме прогноза вековых вариаций геомагнитного поля. Аппроксимация наблюдаемых изменений, включенная, например в модели поля IGRF и WMM [6,7], позволяет прогнозировать изменения на несколько лет вперед, но задача прогноза долгосрочных изменений пока не решена. К теме источников МП в ядре автор обращается не впервые. [1–4].

Особенность данной работы в том, что изменение поля рассматривается по Z-компоненте и по результатам решения обратной задачи из предположения, что наиболее вероятным является вариант изменения интенсивности источников ядра.

Решая обратную задачу по разности магнитных полей с помощью пакета ADM-3D-earth [5], получаем увеличение интенсивности основных источников на 230 А/м (то есть на 12% или около 0.5% в год) в экваториальной восточной и южной части северного полушария и в восточной части южного полушария ядра от 40 до 100 А/м. Уменьшение интенсивности источников в ядре получаем в северном полушарии восточнее полюса (около 70 А/м), а в южном полушарии ядра наблюдается обширное по площади уменьшение интенсивности источников, достигающее 200 А/м. В итоге отрицательный источник, создающий южноатлантическую аномалию, уменьшился на 40%.

Неравномерное изменение интенсивности источников ядра обычно объясняется западным дрейфом субстанции ядра. Но может быть предложена еще одна причина: изменение температуры в разных частях ядра, приводящих к изменению вязкости и ионизации жидкой субстанции ядра.

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. С.

146–149.

2. Кочнев В.А. Эффективная намагниченность ядра — результат решения обратной задачи по геоцентрической Z-компоненте магнитного поля IGRF-2005. // Шестые научные чтения Ю.П. Булашевича «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Екатеринбург, 2011. С. 146–149.
3. Кочнев В.А. Изменения Z-компоненты геомагнитного поля IGRF в геоцентрической системе координат в период 1980-2005 г. // 41-я сессия Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». Екатеринбург, 2014. С. 121–124.
4. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 4. С. 3–15.
5. Кочнев В.А., Гоз И.В. Нераскрытые возможности магнитометрии // Геофизика. 2006. № 6. С. 51–55.
6. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Working Group V-MOD. и др. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation // Geophysical Journal International. 2010. Т. 183, № 3. С. 1216–1230.
7. Maus S. и др. The US/UK World Magnetic Model for 2010-2015, NOAA Technical Report NESDIS/NGDC. 2011.

О ДУАЛИЗМЕ ВОЛНА-ЧАСТИЦА В УПРУГИХ СРЕДАХ

Прилоус Б.И.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В докладе приведен обзор современных исследований о возможности дуальных представлений о процессах передачи возмущений в упругой среде. Рассматриваются две современные работы (2012 г.) авторов G. A. Maugin and M. Rousseau из парижского университета Пьера и Марии Кюри (Institut Jean Le Rond d'Alembert).

Доклад G. A. Maugin and M. Rousseau “**Quasi-particles associated with surface acoustic wave (SAW) modes**“, на XV летней школе-конференции “**Advanced Problems in Mechanics 2012**” в Санкт-Петербурге вводит понятие “квази-частиц”, ассоциированное с поверхностными акустическими волнами (конкретно - релеевские и поперечные SH волны) различных типов. Волны рассматриваются через призму канонических законов сохранения. Особое внимание уделено исходным вариантам и различным видам возмущений. Установленный дуализм волна-квазичастица иллюстрируется в задаче передачи отражения на интерфейсе.

Работа G. A. Maugin and M. Rousseau “**Wave-quasi-particle dualism for surface acoustic waves: theory and applications**” (конгресс “**Acoustics 2012**” в Nantes, France) сфокусирована на различных вариантах SH волн с эффектами возмущения. В ней акцент ставится на различных случаях SH волн с возмущающими воздействиями, связанными с упругой нелинейностью и вязкостью подложки. В качестве примера проявления альтернативных волнообразных и частице-подобных свойств рассматриваются проблемы прохождения и отражения волн на интерфейсе между двумя упругими средами, причем интерфейс возможен в виде разрыва с возможным расслоением, плиты

конечной толщины, или многослойной структуры.

Проведенный в настоящем обзоре анализ этих работ позволяет сделать вывод о том, что после длительного периода конкуренции, волнообразные и частицеобразные представления некоторых динамических теорий, кажется, достигли консенсуса в своей полезной взаимодополняемости. Оба представления служат для описания распространяющейся информации через их вполне обоснованную двойственность. Моделирование явления как волны основывается на описании распространения информации с точки зрения волнового числа и частоты. Моделирование явления как частицы имеет отношение к диффузии посредством вполне определенных с точки зрения импульса и энергии взаимодействий. Согласно классической истории создания концепции, дуальность между двумя моделями построена квантовомеханически.

РАСЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ПРИ ПРОДВИЖЕНИИ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА

*Стефанов Ю.П.¹, Дучков А.А.¹, Бакеев Р.А.², Яскевич С.В.¹
¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск*

Микросейсмический мониторинг все чаще используется для решения разведочных задач. Особое развитие получил мониторинг ГРП в связи с разработкой нетрадиционных залежей углеводородов (например, сланцевая нефть и газ). Микросейсмический мониторинг помогает изучить геометрию трещин, которые в реальности образуются при проведении ГРП. Чаще всего для этого используется облако гипоцентров микросейсмических событий, которое получается при обработке данных мониторинга. В настоящее время активно развиваются методы определения механизмов микросейсмических событий (тензора моментов).

Актуальным вопросом является связь тензора моментов по микросейсмическим данным и геомеханическими процессами образования трещины ГРП. Также интересно понять, какие процессы ГРП порождают микросейсмические сигналы, а какие являются асейсмичными. Доклад посвящен определению эффективных точечных источников сейсмических волн по анализу упругих колебаний, возникающих при геомеханическом моделировании ГРП.

Наряду с напряженным состоянием и типом трещины, излучение упругих волн зависит от скорости и дискретности продвижении вершины трещины. Для анализа формирования импульса при росте трещин удобно рассмотреть единичный акт продвижения вершины. Однако при этом возникают высокочастотные колебания, которые плохо описываются разностными схемами, т.к. длина волны составляет всего несколько ячеек сетки. В результате волновая картина становится либо не пригодной для анализа, либо форма и амплитуда волны искажаются за счет аппроксимационной или искусственной вязкостей.

Для уменьшения влияния численной схемы на формирование акустических импульсов предложен алгоритм, основанный на рассмотрении процесса на двух масштабах и гипотезе о плавном снятии напряжений на каждом интервале продвижения трещины. Применение данного алгоритма позволяет рассмотреть процесс формирования излучаемых импульсов с достаточной для численной схемы

детальностью. Это дает возможность изучения влияния напряженного состояния в среде и скорости роста трещины на излучение в вершине.

В ходе моделирования проводится запись поля упругих колебаний по окружности радиусом порядка трех длин волны от кончика трещины (где сейсмические волны уже сформировались). Это поле аппроксимируется полем от точечного источника, заданного тензором моментов. Далее этот эффективный точечный источник будет использован для моделирования и инверсии микросейсмических данных.

Работа выполнена при поддержке МИП СО РАН № 127.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНОГО АНАЛОГА ДИПОЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РАСКЛИНИВАЮЩЕМ ДАВЛЕНИИ

Сибиряков Е.Б.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; e-mail sibiryakoveb@ipgg.sbras.ru

В работе предложена и опробована новая вычислительная технология решения трёхмерных задач упругих как стационарных колебаний, так и статических. Основой этой технологии является построение ядер интегральных уравнений как откликов на конечный аналог дельта-нагрузки, либо на её производные. Преимуществом этого метода является ограниченность и гладкость ядер, что, в частности, даёт возможность решать упругие задачи на поверхностях, где вектор нормали может иметь точки разрыва.

Классические фундаментальные решения для стационарных колебаний упругого полупространства есть отклик на дельта-нагрузку, представленную в виде: $\delta(S) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty k_r J_0(k_r r_r) dk_r$, где $J_0(k_r r_r)$ – функция Бесселя первого рода.

Если искать решения в несколько ином виде: $\delta_1(S) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^N k_r J_0(r_r \sqrt{k_r^2 + 2k^2}) dk_r$, то это даст, с одной стороны, сделать аналоги фундаментальных решений гладкими и финитными, с другой – даст возможность избежать особенности вблизи Рэлеевской частоты. Иными словами, излишнюю для численных экспериментов обусловленность и полноту можно «разменять» на гладкость и финитность, т.е. на принципиально иную степень точности при заданном шаге разбиения.

Кроме того, финитные ядра дают возможность заменить интеграл, с помощью которого находится вектор потенциала, конечными суммами, т.е. перемещение представляется в виде: $U_i(x_0) = \sum M_{ik}(x_0, x) F_k(x)$, где $F_k(x)$ – потенциал в точке поверхности, при этом вектор нагрузок вычисляется аналитически (т.е. абсолютно точно): $p_i(x_0) = -\sum P_{ik}(x_0, x) F_k(x)$. Это означает, что если ранее классический метод граничных интегральных уравнений сводил решение упругой задачи к системе линейных уравнений, где коэффициенты вычислялись с точностью до выкалывания слабой особенности и вычисления интеграла, то теперь они вычисляются абсолютно точно. Более того, показано, что повышая степень переменной интегрирования k_r , можно построить конечный аналог дипольного потенциала и существенно улучшить обусловленность системы, сделав её достаточной как для решения смешанных задач, так и задач первого типа.

С использованием нового подхода было решено несколько задач о расклинивающем давлении в зернистой среде. Решалась статическая задача

смешанного типа на шаре с шесть плоскими симметричными площадками контакта. Показано, что изменение характеристик статического напряжённого состояния под действием порового давления существенно зависит от геометрии контакта и достаточно слабо – от вида граничного условия на контакте.

**МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО
СМЕЩЕНИЯМ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ**

Родкин М.В.¹, Никонов А.А.², Стром А.Л.³, Шварев С.В.², Корженков А.М.²

¹ИТПЗ РАН, г. Москва; ²ИФЗ РАН, г. Москва; ³ЦСГНЭО, г. Москва;

e-mail: rodkin@mitp.ru

В определенных случаях при исследовании зон сильных землетрясений и возможных палеоземлетрясений выявляются предположительно сейсмогенные смещения скальных отдельностей. Разработан ряд типовых схем оценки величин пиковых массовых скоростей (PGV) при землетрясениях по величинам таких смещений. На основе данных в ближней зоне землетрясений и при взрывах построена номограмма связывающая величины смещений (и оцениваемых по ним величин PGV) со значениями магнитуды землетрясения и аналога эпицентрального расстояния. Получаемые по нашему методу оценки сравниваются с другими подходами к решению этой задачи. Применение этого (и иных методов исследования палеосейсмичности) к материалам по Фенноскандии приводит к выводу о реализации здесь в послеледниковое время (и даже в первые сотни и тысячи лет назад) сильных землетрясений и, как следствие, к выводу о возможной недооценки современного сейсмического потенциала этой области.

**ВЕКОВАЯ ВАРИАЦИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И МЕТОДЫ ЕЕ УЧЕТА ПРИ
ТЕКТОНОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ
(2007-2013 гг.)**

Кулешов Д.А., Дядьков П.Г., Дучкова А.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В работе рассмотрена вековая вариация (ВВ) геомагнитного поля Байкальского региона. Исследуемая область представляет территорию республики Бурятия и Иркутской области около озера Байкал общим размером порядка 200x400 км. Региональные масштабы исследований создают основу для мониторинга геодинамических процессов вплоть до границы Кюри, а также позволяют следить за изменениями главного магнитного поля Земли, источники которого находятся в жидком ядре. Показано, что вековая вариация, выделенная по данным модели IGRF-11 и по данным тектономагнитных наблюдений, имеет общую тенденцию изменений, однако величина этих изменений по данным экспериментальных наблюдений значительно выше, чем предсказывает модель IGRF-11. Это делает необходимым использовать для определения и последующего учета вековой вариации при тектономагнитных исследованиях на Байкале данные ежегодных магнитных наблюдений, выполняемые на сети, включающей около 150

пунктов.

Исследование поддержано проектом 7.1 Программы ОНЗ РАН.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ И ГОРНОМ АЛТАЕ**

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

¹ИФПМ СО РАН, Томск; ²ТГУ, Томск;

e-mail: alex700@yandex.ru, pvm@ispms.tsc.ru, bacardi@ispms.ru

Предложенный в работах [1,2] эволюционный подход, объединяющий как достижения традиционной макроскопической теории деформируемого твёрдого тела, так и современные идеи нелинейной динамики, применён к моделированию тектонических течений и сейсмического процесса в Центральной Азии. Относительные значения прочностных параметров жестких блоков по отношению к податливым зонам характеризуются параметром δ , который варьировался в численных экспериментах в пределах $\delta=1,1\div 1,8$ для различных групп элементов зонно-блоковой делимости. В целом, расчеты, воспроизводящие тектонические течения и сопровождающие их сейсмические события в модельной геосреде, свидетельствуют о том, что численные решения уравнений механики деформируемого твердого тела (при условии постановки задачи деформирования как эволюционной [1, 2]) описывают деформационный процесс как типичное поведение нелинейной динамической системы, обладающей свойством самоорганизованной критичности

В рамках разрабатываемого подхода к описанию эволюции НДС рассматривается фактически современная эволюция внутриконтинентальных складчатых областей Центральной Азии, в частности Байкальской рифтовой зоны и Алтае – Саянской складчатой области, как результата Индо-Евразийской коллизии. В качестве структурной модели была принята современная карта зонно-блоковой делимости Центральной и Восточной Азии, составленная К.Ж. Семинским [3]. Согласно выводам работы [4] коллизия Индийской и Евразийской плит определяет характер деформационных процессов в Центральной и Восточной Азии. Для моделирования этого процесса принципиальным является то, что в результате субмеридионального сжатия коры в исследуемом регионе сформировалось два типа неотектонических единиц – жесткие домены (микроплиты, например Тарим, Джунгарская впадина и т.д.) и податливые зоны милонитизации коры с различной степенью дробления (например Большой Алтай), обрамляющие жесткие домены [3].

Выполнено численное моделирование тектонических течений и сейсмического процесса в Центральной и Юго-Восточной Азии как результата коллизионных процессов Евразийской плиты с Индийской и Аравийской плитами. Нагружаемая геосреда представлена как многомасштабная нелинейная динамическая система, эволюция напряжённо-деформированного состояния которой осуществляется по законам нелинейной динамики. Расчётные сейсмические события отвечают развитию деформационного процесса в локальных областях в сверхбыстром катастрофическом режиме.

Работа выполнена при поддержке проекта фундаментальных исследований СО РАН № III.23.1.4.

Литература:

1. Макаров П.В. Математическая теория эволюции нагружаемых твердых тел и сред // Физ. мезомех. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 19–35.
2. Макаров П.В. Самоорганизованная критичность деформационных процессов и перспективы прогноза разрушения // Физ. мезомех. – 2010. – Т. 13. – № 5. – С. 97–112.
3. Семинский К.Ж. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии // Геология и геофизика. – 2008. Т. 49. - № 10 – С. 1018–1030.
4. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. 2-е изд., доп. и перераб. / Н.Л. Добрецов и др. – Н-ск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. – 409с.

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ КОНВЕКТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
«ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ» (ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ЭПИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ)**

*Лунев Б.В., Лапковский В.В.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Проведенное нами численное моделирование развития конвективной неустойчивости «термической литосферы» позволило получить количественное описание заложения и эволюции осадочных бассейнов на континентальной коре, объяснить ряд важных геологических феноменов, предсказать некоторые, ранее неизвестные, особенности процесса и наметить пути дальнейшего развития теории явлений такого типа. Существенно, что численные эксперименты проводились в рамках модели первого приближения, что позволило обойтись без привлечения каких-либо специальных гипотез (в том числе, реологических) и сократить до минимума число произвольно варьируемых параметров. В основе модели лежат следующие достаточно надежно установленные факты: 1) у поверхности планеты существует тепловой погранслой, толщина которого под континентами составляет около 300 км, а температура на его нижней границе может варьировать от 1400 до 1700 °С, что обуславливает его конвективную неустойчивость; 2) вещество этого слоя, включая кору, необратимо деформируется в медленных геологических процессах; 3) континентальная кора является довольно мощным (30 – 40 км) слоем, с малой, по сравнению с мантией, плотностью; 4) состояние вещества, в зависимости от РТ-условий, определяется фазовыми равновесиями, также установленными экспериментально. Процесс моделировался ползущим течением ньютоновской жидкости со свободной верхней границей, конвектирующей под действием силы тяжести, в результате сверхadiaбатического градиента температуры, за счет теплового расширения и фазовых переходов. Плавление и замерзание расплава, как и твердотельные фазовые превращения, определялись в соответствии с диаграммами плавкости. Миграция расплава описывалась уравнением типа Дарси (с нелинейной зависимостью от концентрации расплава). Заполнение образующегося на поверхности бассейна осадками рассчитывалось в соответствии с моделью Слосса.

Основные результаты численных экспериментов.

При вязкости в пределах 10^{22} Па·с (что согласуется с данными натурных наблюдений деформаций земной поверхности), в «термической литосфере» развивается конвекция. При этом в коре, образующей верхний, «легкий» слой, возникает индуцированное противотечение. Над восходящими и растекающимися вдоль границы «М» потоками мантийного вещества в коре формируется нисходящее течение с растяжением в окрестности «М» и слабым сжатием у поверхности, образующее прогиб. Заполняясь осадками (образующими слоистые комплексы, деформирующимися по мере эволюции), прогиб может достигать многокилометровых глубин. (Заметим, что бассейн, таким образом, формируется, скорее, в условиях сжатия.) Над нисходящими потоками мантийного вещества в коре формируются восходящие течения, со сжатием в окрестности «М» и растяжением у воздымающейся свободной границы. Нисходящие ветви мантийной конвекции оказываются устойчивыми, что определяет устойчивость связанных с ними коровых поднятий (что хорошо коррелирует с известной устойчивостью воздымания платформенных щитов).

Интенсивность конвекции в «термической литосфере» определяется температурой на ее подошве. При достаточно высокой температуре (~ 1600 C°), восходящий поток оказывается достаточно мощным, чтобы разорвать континентальную кору и привести к раскрытию океана, формируя структуру типа Красного моря.

При температуре подошвы «термической литосферы» ~ 1500 C° (для «сухой мантии»), в восходящем потоке мантийного вещества на глубине ~ 150 км начинается декомпрессионное плавление. При этом, в результате сепарации, миграции и замерзания образующегося расплава, его содержание, при осреднении на объемы с линейным размером ~ 1 км, не превосходит первых процентов (как правило – десятые доли процента и меньше). Отделяющийся расплав формирует фронт замерзания и вторичного плавления, оторванный от зоны первичного плавления мантии, и продвигающийся вверх, к подошве коры, вместе с подъемом температуры, по мере развития общей, твердотельной конвекции. (Формированием этой зоны вторичного плавления, вероятно, можно объяснить стабильность состава основной массы базальтовых излияний на континентах.) Мощность производства и общее количество расплава имеют выраженный временной пик в процессе развития конвекции, что легко объясняется в рамках используемой модели (и позволяет без привлечения внешних причин объяснить кратковременность главных эпизодов основного платформенного магматизма, типа излияния траппов).

Замерзающее вещество, приблизительно базальтового состава, насыщает мантию над восходящим конвективным потоком непосредственно под корой, формируя широкую линзу пониженной плотности (что позволяет объяснить наличие хорошо известных зон такого типа, подстилающих границу «М» под эпиконтинентальными осадочными бассейнами).

**ФОРМИРОВАНИЕ ВЧР И ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ В УСЛОВИЯХ ТРАППОВОГО
МАГМАТИЗМА И СОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЧАЯНДИНСКОГО НГКМ ПО ДАННЫМ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ, ГРАВИМЕТРИИ И ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ**

Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С.

ИВМ СО РАН, Красноярск

Занимаясь проблемами сейсморазведки в Восточной Сибири [1,2] и принимая участие в обработке и интерпретации сейсмических данных, полученных на Чаяндинском НГКМ, мы столкнулись с серьезной проблемой. Неоднородности ВЧР, выявленные по первым вступлениям, практически не находили отражения в гравитационном поле. Максимумам гравитационного поля в ВЧР соответствовало увеличение мощности рыхлых отложений. По данным ВСП и акустического исследования скважин, по сейсмическим данным интервальные скорости в ВЧР меняются от 2500 до 6000 м/с, средние до опорного горизонта II (граница соленосной и карбонатной толщи) – до 4500 до 5200 м/с. Несмотря на сильное изменение скоростных, а следовательно, и плотностных параметров, гравитационное поле очень плавное по сравнению с полем Наканновской площади. Если на Наканновской площади [3] резкое изменение гравитационного поля позволило интерпретировать его как полностью обусловленное с ВЧР, то на Чаяндинском НГКМ мы использовали редуцированную, высокочастотную часть поля (менее 10% по амплитуде). Это позволило улучшить собираемость разрезов, ускорить их обработку, но по данным гравиметрии мы не смогли выделить средне- и низкочастотные составляющие статики.

Анализируя данные ГИС, сейсморазведки и гравиметрии, мы пришли к выводу, что основные объекты, формирующие положительные гравитационные поля, находятся в глубинной части разреза. Избыточные массы этих объектов привели к постепенному прогибанию осадочных толщ и накоплению в зонах прогиба в верхней части более рыхлых осадочных слоев. Более поздние циклы траппового магматизма также заполняют прогибы и их избыточная масса приводит к выдавливанию, деформации соляных толщ, вспучиванию вышележащих слоев. Формированию осадочных толщ в условиях траппового магматизма и соляных толщ посвящены работы Скобелина Е.А. [4], изучая которые, мы пришли к подобной интерпретации конкретных результатов на конкретной площади. Надеемся, что они будут полезны при интерпретации данных, полученных в аналогичных условиях.

Литература:

1. Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С. Технология расчета плотностной и скоростной моделей и статических поправок по гравиметрическим данным // Геофизика. 2014. № 1. С. 2–7.
2. Кочнев В.А., Гоз И.В. Возможности гравиметрии и магнитометрии при интерпретации сейсмических данных. // Геофизика. 2008. № 4. С. 28–33.
3. Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С. Проблемы сейсморазведки в условиях Восточной Сибири и опыт их решения. // Седьмые научные чтения Ю.П.Булашевича. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Екатеринбург, 2013. С. 165–167.
4. Скобелин Е.А., Карху Э.А. Трапповые комплексы и другие проблемы магматизма Сибирской платформы // Размышления о состоянии и путях перестройки в геологии. ЗАО Красноярскгеофизика, 2002. С. 50–64.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕКТОНОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА

*Эпов М.И., Дядьков П.Г., Злыгостев И.Н., Фирсов А.П., Кулешов Д.А.,
Цибизов Л.В., Евменов Н.Д.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при тектономагнитном мониторинге может существенно повысить производительность и информативность этого метода изучения геодинамических процессов. Основной задачей тектономагнитных исследований является выделение и интерпретация таких изменений геомагнитного поля, которые обусловлены процессами в литосфере. Физическими механизмами генерации тектономагнитных аномалий являются магнитоупругие, электрокинетические и некоторые другие эффекты.

Основные требования к точности магнитных измерений с помощью БПЛА заключаются в следующем. Во-первых, необходимо обеспечить точность измерений около 0.1 нТл, поскольку тектономагнитные аномалии, как правило, не превышают первых единиц нТл. Во-вторых, требуется достаточно высокая точность пространственной привязки точек измерений на маршруте полета БПЛА. Она будет определяться величиной пространственного градиента магнитного поля. Поскольку обеспечить достаточно точное повторение маршрута БПЛА при повторных пролетах практически невозможно, предлагается вдоль намеченных маршрутов выполнить детальную регистрацию пространственного распределения градиентов магнитного поля. Это позволит обеспечить пересчет измеряемых значений магнитного поля на необходимый уровень по высоте.

При проведении тектономагнитных исследований в районах расположения массивов горных пород с аномальными значениями намагниченности предлагается прокладка маршрутов и изучение тектономагнитных аномалий в первую очередь от тел более глубокого залегания (но расположенных выше границы Кюри). Высокие градиенты магнитного поля от близповерхностных тел вряд ли позволят обеспечить необходимую точность наблюдений.

Важным достоинством тектономагнитного мониторинга с помощью БПЛА является возможность измерений на нескольких высотах, что значительно упрощает интерпретацию выявленных аномалий. Последнее относится и к магнитным съемкам с БПЛА, выполняемым с другими целями – поиски и разведка полезных ископаемых, изучение погребенных археологических объектов, инженерные изыскания. Исследования поддержаны проектом 4.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

Для заметок

Для заметок