

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ  
И ГЕОФИЗИКИ им. А.А. ТРОФИМУКА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**МАТЕРИАЛЫ СЕМИНАРА  
«ГЕОДИНАМИКА. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА»**

---

**Стационар «Денисова пещера», Алтайский край  
3-7 августа 2015 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 15-05-20582-г)  
и Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

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

**Место проведения:** 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 **3 августа 2015 г.**

Регистрация участников будет проводиться **4 августа с 9<sup>30</sup> – 10<sup>00</sup>** в конференц-зале стационара «Денисова пещера».

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

Завтрак: **9<sup>00</sup> – 9<sup>30</sup>**

Обед: **14<sup>00</sup> – 15<sup>00</sup>**

Ужин: **19<sup>00</sup> – 20<sup>00</sup>**

Отъезд участников семинара **7 августа 2015 г.**

## 4 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. (ИНГГ СО РАН).* О проблемах глобальной конвекции в Земле.
- 10:45-11:20 *Ребецкий Ю.Л. (ИФЗ РАН).* Планетарные напряжения в коре, планетарная трещиноватость.
- 11:20-12:00 *Сибиряков Б.П. (ИНГГ СО РАН).* Локализация деформаций и непрерывный переход от упругости к пластичности в блочных средах.

Перерыв  
12.00-12.15

- 12:15-12:55 *Стефанов Ю.П.<sup>1</sup>, Мясников А.В.<sup>2</sup>, Романов А.С.<sup>3</sup> (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>Сколтех, <sup>3</sup>ТГУ).* Численное исследование роста трещин гидроразрыва в слоистой упруго-хрупкопластичной среде.
- 12:55-13:20 *Александрова Н.И. (ИГД СО РАН).* Поверхностные сейсмические волны в трехмерной блочной среде.
- 13:20-13:45 *Макаров П.В.<sup>1,2</sup>, Перышкин А.Ю.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ТГУ, <sup>2</sup>ИФПМ СО РАН).* Моделирование «медленных движений» - автоволн неупругой деформации в пластичных и хрупких материалах и средах.

Обед  
14:00-15:00

### ***Вечернее заседание***

- 15:00-15:30 ***Сим Л.А., Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В. (ИФЗ РАН).*** Новые возможности анализа линеаментной тектоники для оценки напряженно-деформированного состояния слабосейсмичных регионов.
- 15:30-15:55 ***Назарова Л.А.<sup>1</sup>, Назаров Л.А.<sup>1</sup>, Кучай О.А.<sup>2</sup>, Кальметьева З.А.<sup>3</sup> (¹ИГД СО РАН, ²ИНГГ СО РАН, ³ЦАИИЗ).*** Термогидродинамические и геомеханические поля в окрестности защитной дамбы рудника Кумтор (Кыргызская Республика): штатный режим эксплуатации и диагностика состояния противодиффузионного экрана.
- 15:55-16:20 ***Кучай О.А.<sup>1</sup>, Козина М.Е.<sup>3</sup>, Бушенкова Н.А.<sup>1</sup>, Кальметьева З.А.<sup>2</sup> (¹ИНГГ СО РАН, ²ЦАИИЗ, ³НГУ).*** Поле деформаций Памиро-Гиндукушской зоны.
- 16:20-16:45 ***Дядьков П.Г., Козлова М.П., Цибизов Л.В., Михеева А.В., Романенко Ю.М. (ИНГГ СО РАН).*** Выделение жестких структурных элементов земной коры в районе южного окончания Байкальской впадины на основе анализа параметров сейсмической активности.

Перерыв  
16:45-17:05

- 17:05-17:35 ***Кочнев В.А. (ИВМ СО РАН).*** Особенности кинематико-гравитационной ионной модели геодинамо.
- 17:35-17:55 ***Кочнев В.А.<sup>1</sup>, Чубаров Д.Л.<sup>2</sup> (¹ИВМ СО РАН, ²ИПР ТПУ).*** О роли приливных сил, формируемых Луной и Солнцем, в формировании сейсмической активности исследуемых зон поверхности Земли.
- 17:55-18:30 ***Геза Н.И., Тани Ю.Л. (ИНГГ СО РАН).*** Испытание измерительно-управляющей системы АСТРОИД-ЛАВА с технологией «обогащения» сейсмических сигналов. Первый опыт

обработки «больших данных» системы и ее перспективы в решении прикладных и фундаментальных задач геофизики глобального масштаба.

18:30-19:00 *Дискуссия.*

## 5 АВГУСТА

### *Утреннее заседание*

10:00-10:25 **Тубанов Ц.А.** (ГИН СО РАН). Сейсмический контроль локальных аномалий теплового потока центральной части оз. Байкал?

10:25-11:00 **Кульков А.С.**<sup>1,2</sup>, **Макаров П.В.**<sup>1,2</sup>, **Кульков С.Н.**<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>ИФПим СО РАН, <sup>2</sup>ТГУ). Физико-механические характеристики и структурные особенности ультраосновных горных пород.

11:00-11:25 **Беляшов А. В.**, **Шелехова О. Х.**, **Ларина Т. Г.** (ИГИ, Республика Казахстан). Изменение скоростных характеристик среды после проведения подземного ядерного взрыва в скважине 1220 на Семипалатинском полигоне.

11:25-11:50 **Прилоус Б.И.** (ИНГГ СО РАН). О необходимости интеграции дифференциальной геометрии в структурную геологию.

Перерыв

11:50-12:05

12:05-12:30 **Кочнев В.А.**, **Поляков В.С.**, **Гоз И.В.** (ИВМ СО РАН). Анализ результатов выделения слабых сигналов из шумов, зарегистрированных на поверхности при гидроразрыве пласта.

12:30-13:15 **Дядьков П.Г.**, **Кучай О.А.** (ИНГГ СО РАН). Сейсмотектонические деформации в зоне подготовки землетрясения Мауле, 2010 г., М=8.8 (Чили).

13:15-13:40 **Сибиряков Е.Б.** (ИНГГ СО РАН). Развитие метода граничных элементов для решения смешанных задач теории упругости.

Обед  
14:00-15:00

**Вечернее заседание**

15:00-15:20 **Суворов В.Д., Мельник Е.А., Мишенькина З.Р., Павлов Е.В.** (ИНГГ СО РАН). Латеральные сейсмические неоднородности верхней мантии под Сибирским кратоном.

15:20-15:40 **Татаурова А.А.<sup>1,2</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>1</sup>** (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>НГУ). Изучение влияния упругопластических свойств модельного фрагмента земной коры на напряженно-деформированное состояние.

15:40-16:10 **Ребецкий Ю.Л.<sup>1</sup>, Кузиков С.И.<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>ИФЗ РАН, <sup>2</sup>НС РАН, Кыргызская Республика). Возможности тектонофизического районирования разломов на примере Северного Тянь-Шаня.

16:10-16:35 **Неведрова Н.Н., Пономарев П.В.** (ИНГГ СО РАН). Выявление разломных структур и их геоэлектрические характеристики по данным метода сопротивлений (на примере горного Алтая).

Перерыв  
16:35-16:50

- 16:50-17:15 **Белоносов А.Ю., Кудрявцев А.Е., Шешуков С.А.** (ЗСФ ИНГГ СО РАН). Геодинамические предпосылки нефтегазоносности мезозойского чехла южной части Западно-Сибирской плиты.
- 17:15-17:50 **Суворов В.Д.<sup>1</sup>, Мельник Е.А.<sup>1</sup>, Сальников А.С.<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, <sup>2</sup>СНИИГГиМС). Сейсмическая структура земной коры складчатых областей Сибири на опорных профилях 3-ДВ и 1-СБ.
- 17:50-19:00 **Общая дискуссия.**

**6 АВГУСТА**  
**Экскурсионный день**

## О ПРОБЛЕМАХ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗЕМЛЕ

*Добрецов Н.Л.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

1. Накопленные за последние 15-20 лет данные (космические, геохимические, сейсмотомографические, результаты моделирования) убеждают в необходимости рассматривать многослойную и сферически-симметричную модель глобальной конвекции в Земле, а именно как минимум три конвектирующих слоя: астеносфера, нижняя мантия и внешнее жидкое ядро. В ряде случаев необходимо рассматривать дополнительно еще два слоя вероятных локальных течения: нижнюю кору и переходный слой С (или его нижнюю часть) вдоль границы верхней и нижней мантии.

2. Многослойная конвекция не допускает постоянную температуру вдоль границы сфер (вдоль границы верхней и нижней мантии, вдоль границы мантии и жидкого ядра). Вдоль этих границ будет формироваться достаточно большой градиент температуры, обусловленный конвективными течениями в нижележащей сфере. Именно этот градиент позволяет формироваться плоским конвективным ячейкам, как например, под Тихоокеанской плитой при соотношении толщин и длины ячеек  $L_1/L_2 < 0,1$ . Моделирование конвекции в астеносфере при  $T = \text{const}$  на нижней границе дает почти изометричные в плане ячейки, что не соответствует действительности.

3. В верхних частях конвектирующих оболочек, по крайней мере, в астеносфере и жидком ядре, возникает режим пограничного слоя, ответственный за специфику подъемных течений в зоне спрединга, поперечных валиковых течений, определяющих винтовое конвективное течение вблизи зон спрединга, сложное строение субдукционных течений и задугового спрединга.

4. В эволюции Земли выделяется несколько стадий, когда на рубеже около 9,8, 2,8, 1,8 и 0,75 млрд. лет менялся глобальный режим конвекции. Пример быстрого глобального изменения конвекции в астеносфере иллюстрируется быстрым (около 42-45 млн. лет назад) изменением направления движения самой большой Тихоокеанской плиты, обусловленным глобальными коллизионными событиями около этого времени (в Гималаях и Тибете, в Альпах и на Кавказе, Южно-Американских Андах и др.)

## ПЛАНЕТАРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КОРЕ, ПЛАНЕТАРНАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

*Ребецкий Ю.Л.*

*ИФЗ РАН, г. Москва*

Рассмотрена проблема формирования в коре дополнительных планетарных напряжений от действия тангенциальных распределенных массовых сил, вызванных суточным вращением земли. Задача механики для сферического слоя континентальной коры покрывающей планету равномерной мощностью, решалась аналитическом виде в предположении закритического поведения пород уже при действии только гравитационных сил. Для определения двух неизвестных дополнительных широтных и меридианальных напряжений использовалось



уравнение равновесия сил в меридианальном направлении, записанное в оболочечном приближении, и критерий перехода в пластическое состояния Кулона – Мора. Показано, что в коре формируется три глубинных уровня напряженного состояния разного геодинамического типа: горизонтальное растяжение, сдвиг и сжатие с ориентацией максимального сжатия в меридианальном направлении. Уровень дополнительных латеральных напряжений снижается с глубиной и в двух верхних слоях в меридианальном направлении превышает уровень начального чисто гравитационного напряженного состояния в 2-3 раза. Проведенный анализ показывает, что известные азимутальные максимумы планетарной трещиноватости 315 и 45 град следует связывать с напряженным состоянием горизонтального сдвига на глубинах 6-20 км, а широтный максимум с напряженным состоянием горизонтального сжатия наибольших глубинах.

### **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НЕПРЕРЫВНЫЙ ПЕРЕХОД ОТ УПРУГОСТИ К ПЛАСТИЧНОСТИ В БЛОЧНЫХ СРЕДАХ**

***Сибиряков Б.П.***

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В настоящее время упругость и пластичность как модели твёрдых тел совершенно не связаны друг с другом. В упругости мы имеем линейные связи между напряжениями и деформациями, в пластичности имеют место связи одних напряжений с другими, в то время как деформации могут быть как угодно большими при достаточно скромных касательных напряжениях.

Плоская пластичность - гиперболический процесс волнового характера, даже в статике, где никаких волн нет, а роль фронтов выполняют два семейства линий скольжения. Упругость в статике эллипична и никаких фронтов либо их аналогов в виде линий скольжения не существует. Интуитивно понятно, что упругость должна предшествовать пластичности, но эти модели принципиально различны и промежуточные состояния невозможны.

Выход может быть найден, если рассматривать модель континуума со структурой и отказаться от гипотезы сплошности среды. В этом случае уравнения равновесия оказываются уравнениями бесконечного порядка. В отдельных точках среды уравнения равновесия нарушаются, т.е. возникают случайно ориентированные объёмные силы, в среднем равные нулю. Основное отличие континуума со структурой от сплошной среды в том, что средние свойства малого объёма и свойства в точке могут сильно отличаться друг от друга. Таким образом, возникают неоднородные уравнения со случайной или периодической правой частью, в среднем равной нулю. По мере роста деформаций поле вытесняется на границы микроструктур и там концентрируется. Деформации локализуются в окрестности линий, весьма похожих на классические линии скольжения, но таких линий конечное число, а толщина этих локализованных областей также конечна.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА ТРЕЩИН ГИДРОРАЗРЫВА В СЛОИСТОЙ УПРУГО-ХРУПКОПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЕ

*Стефанов Ю.П.<sup>1</sup>, Мясников А.В.<sup>2</sup>, Романов А.С.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, [yu\\_st@mail.ru](mailto:yu_st@mail.ru); <sup>2</sup>Сколтех, г. Сколково, [A.Myasnikov@skoltech.ru](mailto:A.Myasnikov@skoltech.ru); <sup>3</sup>ТГУ, г. Томск, [alesandro\\_pato22@mail.ru](mailto:alesandro_pato22@mail.ru)*

Прогноз и управление созданием трещин гидроразрыва требует учета множества факторов, важнейшими из которых являются процессы деформации и разрушения. Основная сложность описания развития трещин при гидроразрыве связана с многопараметрической сущностью явления. Для относительно простых условий (нет больших неоднородностей среды, включений и трещин, структура породы имеет достаточно регулярное строение так, что на масштабе трещины может быть представлена однородной, а поведение среды близко к упругому), проблема решается с удовлетворительной точностью. Однако такое предположение оправдано только при определенных условиях, которые могут приближенно соответствовать состояниям в однородных резервуарах, находящихся в упругом состоянии. Для сланцевых и баженовских формаций, характерна стратиграфическая цикличность зон хрупкого и вязкого (пластического) разрушения, в которых нарушение естественного напряженно-деформированного состояния при технологическом воздействии на пласт может проявляться различным образом. Для оценки роста трещины гидроразрыва в таких средах существенное значение может иметь не только хрупкое разрушение, но и пластическая деформация.

В работе рассмотрено напряженно-деформированное состояние вокруг трещины гидроразрыва при разных свойствах и напряженном состоянии среды. Изучено влияние распределения давления внутри трещины на ее форму и пластическую деформацию в окрестности вершины. Выполнены расчеты роста трещины в слоистой упруго-хрупкопластической среде.

Показано, что некоторое продвижение трещины возможно при наличии незаполненного участка вблизи вершины, т.е. при отсутствии внутреннего давления в носике и сомкнутых берегах. Похожее поведение может наблюдаться при пересечении трещиной пластичной прослойки, когда возможно формирование отдельных изолированных опережающих трещин. В этом случае часто наблюдается ветвление, а также образование сети разно-ориентированных трещин.

Исследование проводилось в рамках модели упруго-хрупкопластической среды с учетом разных механизмов роста трещины, включая хрупкое и пластическое разрушение. Моделирование процессов деформации и роста трещин выполнено для условий плоской деформации. Расчеты осуществлялись с использованием явной конечно-разностной схемы.

Работа выполнена при поддержке Сколтеха (Соглашение № 711-MRA).

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ТРЕХМЕРНОЙ БЛОЧНОЙ СРЕДЕ

*Александрова Н.И.*

*ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

Численно исследуется распространение сейсмических волн в трехмерной модели блочной среды. Среда моделируется пространственной решеткой масс, соединенных упругими пружинами и вязкими демпферами. Рассматривается поверхностное сосредоточенное нагружение. Рассчитаны осциллограммы перемещений и скоростей перемещений поверхностных масс при импульсном и ступенчатом воздействии. Исследуется влияние вязкости на затухание возмущений.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ «МЕДЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ» - АВТОВОЛН НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПЛАСТИЧНЫХ И ХРУПКИХ МАТЕРИАЛАХ И СРЕДАХ

*Макаров П.В.<sup>1,2</sup>, Перышкин А.Ю.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТГУ, г. Томск, [pvm@ispms.tsc.ru](mailto:pvm@ispms.tsc.ru); <sup>2</sup>ИФПМ СО РАН, г. Томск, [alexb700@yandex.ru](mailto:alexb700@yandex.ru)*

Как известно, возмущения в сплошных средах передаются волнами напряжений со скоростями звука в этих средах. Существуют также волны пластичности, скорости которых заметно меньше, но близки по порядку. Скорости тектонических течений, которые определены по геологическим данным и GPS измерениям, составляют не более нескольких см/год, на 14-15 порядков ниже скоростей звука и характеризуют крип [1]. Эти движения нельзя интерпретировать как волны. В физике пластичности достаточно хорошо изучены медленные деформационные процессы – фронты Людерса, распространяющиеся в виде волн пластичности. В науках о Земле за прошедшие 40 лет получила развитие и широко дискутируется концепция деформационных волн Земли или «медленных движений», скорости которых на 5-6 порядков ниже скоростей звука и на 7-8 порядков выше типичных скоростей тектонических течений. Сформировалась идея, что распространяющаяся вдоль разлома медленная волна деформации, действует как триггер, запуская последовательность землетрясений на разломе.

Предложена математическая модель [2-4] распространения медленных волн неупругой деформации, скорости которых занимают промежуточное значение между скоростями тектонического крипа и скоростями звука. Показано, что модель описывает как фронты Людерса и медленные волны пластичности, так и волновые возмущения в геосредах и разломах. Развитая модель является связанной динамической моделью упругопластического деформирования нагружаемой среды, в которой одновременно развиваются как быстрые процессы динамического отклика среды на нагружение, так и формируются медленные деформационные волны. Эти медленные волны деформации в модели трактуются как автоволновые процессы и представляют собой кооперативный отклик на нагружение, т.е. являются результатом самоорганизации в деформируемой среде. Во всех расчётах, как и в наблюдениях, получен целый спектр медленных деформационных фронтов разных масштабов, которые движутся с различными скоростями. Скорости

расчётных автоволн пропорциональны скоростям подвижки на разломе соответствующего масштаба.

Литература:

1. Гольдин С.В., Юшин В.И., Ружич В.В., Смекалкин О.П. Медленные движения миф или реальность? // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: Материалы IX Межд. школы-семинара, Красноярск, 2002. - Новосибирск: Акад. изд-во "Гео", 2002. - С. 213-220.
2. Макаров П.В. Самоорганизованная критичность деформационных процессов и перспектива прогноза разрушения // Физическая мезомеханика. - 2010 - Т.13. - №5 - С. 97-112.
3. 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
4. Макаров П.В., Романова В.А., Балохонов Р.Р. Моделирование неоднородной пластической деформации с учётом зарождения локализованных пластических сдвигов на границах раздела // Физическая мезомеханика. -2001. - Т. 4, - № 5. - С. 29-39.

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТЕКТОНИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РЕГИОНОВ**

*Сим Л.А., Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В.  
ИФЗ РАН, г. Москва*

При оценке сейсмической безопасности особо ответственных сооружений на платформах часто приходится сталкиваться с отсутствием данных о сейсмичности. В этом случае особую роль играют методы выделения активных разломов. Метод структурно-геоморфологического анализа Л.А. Сим позволяет из результатов дешифрирования линеаментов выделять те из них, которые рассматриваются как проявление на поверхности активных глубинных разломов фундамента. В настоящей работе, выполненной для одного из районов г. Томска, показано, что такие разломы можно обрабатывать с использованием алгоритмов метода катакластического анализа разрывных смещений Ю.Л. Ребецкого. Такие дополнительные процедуры выполняются на диаграмме Мора. Сама возможность выполнения этих процедур характеризует правильность выделения конкретных линеаментов в качестве проявления активных разломов фундамента. Результаты дополнительного анализа на диаграмме Мора позволяют оценить уровень напряжений, действующих в кристаллическом фундаменте.

## **ПОЛЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПАМИРО-ГИНДУКУШСКОЙ ЗОНЫ**

*Кучай О.А.<sup>1</sup>, Козина М.Е.<sup>3</sup>, Бушенкова Н.А.<sup>1</sup>, Кальметьева З.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ИИГГ СО РАН, г. Новосибирск; ЦАИИЗ, г. Бишкек, Кыргызская Республика;*

*<sup>3</sup> НГУ, г. Новосибирск*

Памиро-Гиндукушский 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. 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 650 землетрясений (1962-2013 гг. с  $M \geq 4.5$ ). При расчетах преимущество отдавалось параметрам механизмов сильных землетрясений, полученных в Гарвардском центре [2].

В Памиро-Гиндукушской зоне направление погружения сейсмически активного слоя разное: так Памирская зона погружается к югу и юго-востоку, Гиндукушская зона практически субвертикально падает к северу. Эти соприкасающиеся зоны проявляются разными особенностями сеймотектонического деформирования. Объемы горных масс Гиндукуша характеризуются максимальными вертикальными удлинениями практически по всем глубинным слоям. Такое удлинение сопровождается близгоризонтальным сжатием. Памир в свою очередь, надвигаясь на Тянь-Шань, деформируется таким образом, что близгоризонтальное растяжение контролирует его контур на севере и западе как по данным коровых, так и более глубоких землетрясений. Для внутренней части Памира растяжения ближе к субширотному направлению. Близгоризонтальное положение осей укорочения восточной части незначительно отличается от простираения их в западной.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-05-00054.

Литература:

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

## **ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ ЗАЩИТНОЙ ДАМБЫ РУДНИКА КУМТОР (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА): ШТАТНЫЙ РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА**

*Назарова Л.А.<sup>1</sup>, Назаров Л.А.<sup>1</sup>, Кучай О.А.<sup>2</sup>, Кальметьева З.А.<sup>3</sup> <sup>1</sup>ИГД СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup>ИИГГ СО РАН СО РАН, г. Новосибирск; <sup>3</sup>ЦАИИЗ, г. Бишкек, Кыргызская Республика*

Золоторудное месторождение Кумтор расположено на юго-востоке Кыргызской Республики на высоте около 4000 м в горах Тянь-Шань на территории

распространения вечной мерзлоты. Температура воздуха варьируется в пределах от  $-30$  до  $+23^{\circ}\text{C}$  со среднегодовым значением  $T_a$  от  $5$  до  $7^{\circ}\text{C}$ , температура флюидов  $T_w$  не опускается ниже  $4^{\circ}\text{C}$  в любое время года. Добыча ведется открытым способом, золото извлекается методом цианирования, а загрязненные жидкие отходы производства сбрасываются в хвостохранилище, ограниченной защитной дамбой. Откос и часть дна хранилища покрыта противofильтрационным экраном.

С использованием информации о структуре дамбы и подстилающего массива, теплофизических и фofильтрационных свойствах мерзлых и талых грунтов, экспериментальных данных о деформационно-прочностных характеристиках пород при различных температурах, а также сезонных колебаниях температуры воздуха разработана нелинейная геомеханико-термогидродинамическая модель, описывающая эволюцию полей напряжений и температуры, а также фofильтрационные процессы в окрестности дамбы. Численные эксперименты, проведенные с использованием оригинального конечноэлементного алгоритма, показали, что:

- ♦ изменение  $T_w$  в диапазоне от  $4$  до  $8^{\circ}\text{C}$  практически не влияет на объем фofильтрата  $V$  через плотину;
- ♦ снижение  $T_a$  (за счет увеличения периода отрицательных температур) существенно уменьшает  $V$  вследствие более длительного существования непроницаемого мерзлого слоя на поверхности откоса
- ♦ незначительное увеличение горизонтального участка противofильтрационного экрана на дне хранилища резко снижает величину  $V$ , и, как следствие, опасность загрязнения внешней среды;
- ♦ при неизменных внешних условиях, теплофизических свойствах грунтового массива и положения нейтрального слоя нулевая изотерма, разделяющая мерзлые и талые породы, вследствие незначительной разницы между  $T_a$  и  $T_w$  достигает стационарного положения через 12-15 лет после заполнения хвостохранилища.

Проанализирован сценарий развития нештатной ситуации - нарушение целостности противofильтрационного экрана - образование отверстия (размеры которого на 2-3 порядка меньше геометрических параметров дамбы), что может привести к увеличению  $V$  в несколько раз и возникновению обширных зон разрушения в теле дамбы.

Установлено, что индикатором такой ситуации может служить резкое возрастание наклона кривых  $P(t, h_i)$  изменения во времени давления в наблюдательных скважинах на различной глубине  $h_i$ . Сформулирована граничная обратная задача определения момента возникновения и местоположения повреждения в противofильтрационном экране. С использованием синтетических данных показана ее разрешимость для любых реальных термофofильтрационных свойств грунтового массива, если в качестве входных использовать результаты пьезометрических измерений в нескольких пунктах наблюдения, расположенных на некотором удалении от мерзлой зоны.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Фонда Фofундаментальных Исследований (проект № 14-05-90116).

**ВЫДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКИХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ  
ЮЖНОГО ОКОНЧАНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ**

*Дядьков П.Г., Козлова М.П., Цибизов Л.В., Михеева А.В., Романенко Ю.М.  
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Реологическая неоднородность земной коры и литосферы в целом во многом определяет характер пространственно-временного развития сейсмического процесса и процессов подготовки сильных землетрясений. Несомненно, что пространственная неоднородность распределения сейсмической активности в земной коре зависит от прочностных свойств тех или иных составляющих ее структурных элементов. Актуальность разработки методов выделения жестких структур также определяется необходимостью построения близких к реальности геомеханических моделей сейсмогенной среды, что существенно расширяет возможности исследования геодинамических и сейсмических процессов методами численного моделирования.

Ряд методов анализа сейсмического режима был включен нами в геоинформационную систему EEDB [1] и использован для выделения структурных элементов литосферы, например, в некоторых районах Центральной Азии [2]. В данной работе объектом исследования выбран район юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы, включающий юг Байкальской впадины, Тункинскую впадину и прилегающие к ним территории. Выбор этого района определяется необходимостью построения геомеханической и тектономагнитной моделей этого участка земной коры для интерпретации результатов комплексного геофизического и геодезического мониторинга, в том числе аномалий, сопровождающих Култукское землетрясения 2008 г. с  $M=6.3$ .

Существуют различные способы выделения асейсмичных областей: от визуального анализа пространственного распределения эпицентров землетрясений до анализа количественных значений ряда параметров сейсмического режима.

В данном случае мы иллюстрируем 2 подхода. В первом случае использовался расчет сейсмической активности  $A_8$ , который характеризуется количеством землетрясений с  $K=8$  на площади  $1000 \text{ км}^2$  ( $\sim 33 \times 33 \text{ км}^2$ ) за годовой интервал времени. Применение этого параметра позволило выделить асейсмичный блок размером  $\sim 120 \text{ км} \times 55 \text{ км}$ , примыкающий к юго-западному окончанию оз. Байкал.

Второй подход иллюстрирует выделение более локальной структуры с размерами  $\sim 40 \text{ км} \times 20 \text{ км}$ , расположенной в пределах акватории оз. Байкал. В этом случае для выделения асейсмичных областей рассчитывалось значение выделяемой сейсмической энергии за год на площади  $1 \text{ км}^2$ .

Важным сейсмогеодинамическим следствием обнаружения этого жесткого блока является возможность объяснения пространственного развития афтершокового процесса Култукского землетрясения 2008 г.,  $M=6.3$ . Землетрясение произошло у северо-западной границы этого блока, но из-за наличия этой жесткой структуры афтершоковый процесс развивался исключительно в северо-западном направлении от эпицентра главного толчка.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта VIII.70.2.3 Программы ФНИ, гранта РФФИ 14-05-00688а и Программы 18 Президиума РАН.

Литература:

1. Dyadkov P.G., Mikheeva A.V. The expert earthquake database (EEDB) for seismic-geodynamic reseach // Bulletin of the Novosibirsk computing center Mathematical Modeling in Geophysics. – 2010. – N. 13. – P. 15-30.
2. Новиков И.С., Дядьков П.Г., Козлова М.П., Мамедов Г.М., Михеева А.В., Черкас О.В. Неотектоника и сейсмичность западной части Алтае-Саянской горной области, Джунгарской впадины и Китайского Тянь-Шаня // Геология и геофизика, 2014. - Т. 55 - С.1802-1814

## ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКО-ГРАВИТАЦИОННОЙ ИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕОДИНАМО

*Кочнев В.А.*

*ИВМ СО РАН, г. Красноярск*

Рассматривается Z-компонента МПЗ в геоцентрической системе координат, которая наиболее отчетливо отражает свойства МПЗ. В геоцентрической системе координат магнитное поле в северном и южном полушарии является положительным, в отличие от геодезической системы, где поле в северном полушарии положительно, а в южном отрицательно и лишь только потому, что ось Z в геодезической системе в северном полушарии имеет направление на юг, а в южном – на север.

По результатам решения обратной задачи по Z-компоненте в геоцентрической системе координат плотность источников в ядре оказалась неравномерной, а наибольшая в экваториальной части и наименьшая в полярных областях.

Природа источников объясняется просто, если предположить, что током является слабо положительно заряженная жидкость ядра. Движение жидкости ядра обусловлено вращением планеты и тормозящими (приливными) силами Луны и Солнца.

Плотность тока определяется формулой  $j = qV$ , где q – плотность зарядов, а V – скорость движения зарядов. Для создания нужной силы тока достаточно плотности зарядов  $0.44 \cdot 10^2$  Кл/м<sup>3</sup> в движущейся объемной массе со скоростью 20 км/год при сечении объемной движущейся субстанции  $S = 10^{12}$  м<sup>2</sup>.

В докладе будут рассмотрены другие особенности модели, в частности, изменение магнитного поля Земли и возможность смены полярности с учетом глобальных геологических процессов, проходивших на Земле в прошлые геологические эпохи [1,2], а также особенности магнитного поля на других планетах. [3,4]

Литература:

1. Добрецов Н.Л. Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. 2010. Т. 6, № 6. С. 761–779.
2. Olson P., Hinnov L.A., Driscoll P.E. Nonrandom geomagnetic reversal times and geodynamo evolution // Earth and Planetary Science Letters. 2014. Т. 388. С. 9–17.
3. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 4. С. 3–15.



4. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель генерации магнитного поля Земли и планет. // Международная конференция MSS-14 «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность». Москва, 2014.

**О РОЛИ ПРИЛИВНЫХ СИЛ, ФОРМИРУЕМЫХ ЛУНОЙ И СОЛНЦЕМ, В  
ФОРМИРОВАНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ЗОН  
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*Кочнев В.А.<sup>1</sup>, Чубаров Д.Л.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ИВМ СО РАН, г. Красноярск; <sup>2</sup>ИПР ТПУ, г. Томск*

Приливные силы (гравитационные силы, касательные к поверхности планеты, создаваемые Луной и Солнцем) приводят в движение атмосферу, океан, земную кору и жидкость ядра. Под их воздействием с большой скоростью движутся пассатные ветры, со скоростью около 2 км/ч – пассатные течения, а со скоростью около 20 км/год двигаются массы ядра и около 2 см/год более подвижные континенты (например, американский). На стыках аномальных гравитационных блоков создаются зоны повышенной напряженности и сейсмической активности. Наибольшая величина приливных сил создается в экваториальной и прилегающей к ней зоне, а наименьшая практически нулевая на полюсах.

Используя математические модели расчета приливных сил, приведенные в работах [1–3], будут получены оценки приливных сил для разных зон земного шара и проведено сопоставление с реальной сейсмической активностью этих зон.

Литература:

1. Бутиков Е.И. Физика океанских приливов в компьютерных моделях. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2007.
2. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 4. С. 3–15.
3. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель генерации магнитного поля Земли и планет. // Международная конференция MSS-14 «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность». Москва, 2014.

**ИСПЫТАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АСТРОИД-ЛАВА  
С ТЕХНОЛОГИЕЙ «ОБОГАЩЕНИЯ» СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.  
ПЕРВЫЙ ОПЫТ ОБРАБОТКИ «БОЛЬШИХ ДАННЫХ» СИСТЕМЫ  
И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ  
ГЕОФИЗИКИ ГЛОБАЛЬНОГО МАСШТАБА**

*Геца Н.И., Тани Ю.Л.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;*

*e-mail: [lava.ru@inbox.ru](mailto:lava.ru@inbox.ru); site: <http://lava.nsc.ru>*

Осуществление проекта ЛАВА основано на опыте разработки аппаратуры регистрации и систем управления мощными виброисточниками в рамках программы ВПЗ [1,2], разработки и полевых испытаниях ([http://lava.nsc.ru/Geza\\_Geomodel.pdf](http://lava.nsc.ru/Geza_Geomodel.pdf)) прецизионных сейсмоакустических комплексов [3,4], а также на неоднократных сейсмических измерениях (совместно с ГС СО РАН) пусковых режимов новых гидрогенераторов на Саяно-Шушенской ГЭС (<http://lava.nsc.ru/RusGidro/index.htm>). Перед разработчиками проекта изначально ставилась задача получения продукции «двойного назначения» - как для фундаментальных научных исследований проблемы распространения сейсмической энергии при нелинейных взаимодействиях полей, в том числе и различной физической природы (проблемы релаксации и «медленных движений» геологической среды), так и для решения важных прикладных задач обеспечения безопасной эксплуатации сложных природных и техногенных объектов.

Сфера применения результатов проекта - сейсмология, инженерная сейсморазведка, нелинейная сейсмика; диагностика состояния таких объектов, как газовые подземные хранилища, нефтеналивные терминалы (например, в Усть-Луге), АЭС, ГЭС (например, СШ ГЭС) – контроль падения когерентности спектра или превышения допустимого уровня комбинационных частот, вызванное изменением параметров нелинейности объекта из-за усталостных или деструктивных проявлений; виброкалибровка каналов контроля ядерных взрывов, а также фундаментальные научные исследования проблем накопления и переноса сейсмической энергии.

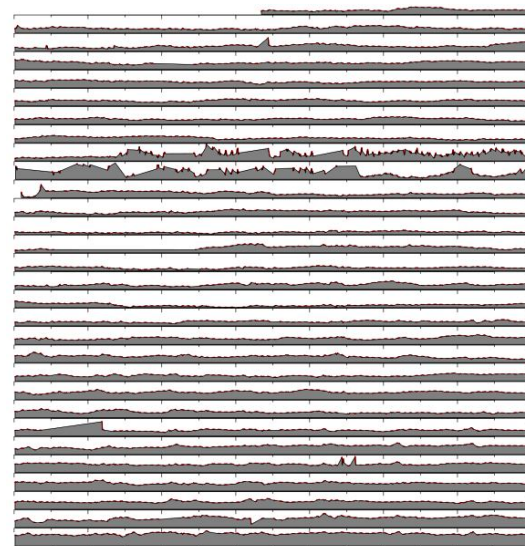
Разработка измерительно-управляющей системы принципиально ориентирована на сдачу комплексную, «под ключ»: одна или несколько активных антенн сейсмотермической регистрации и обогащения измеряемых данных АСТРОИД (на основе инновационных «интеллектуальных датчиков» ЛАВА-ИД) с определенным набором «активных наконечников» системы; отказоустойчивая, открытого типа, серверно-сетевая инфраструктура сбора, обработки и принятия решений, объединенные глобальной туннельно-защищенной сетью LAVA-VPN.

Базовыми элементами активных антенн являются многоцелевые измерительные модули станции ЛАВА-ИД, обеспечивающие 32-разрядную оцифровку трех сейсмических каналов и одного мультипараметрического канала (МПК), ориентированного на работу с высокоточными кварцевыми датчиками температуры и/или давления (одновременно до 10 таких датчиков на канал). В качестве сейсмических датчиков могут использоваться как стандартные, так и встроенный, специально разработанный трехкомпонентный велосиметр ДОТ4/НГ (Датчик Отказоустойчивый Трехкомпонентный 4-канальный Наклонно-Горизонтальный), сигналы которого в реальном масштабе времени с помощью деконволюции преобразуются в требуемую размерность – ускорение, смещение

или скорость – с расширенной полосой регистрации в диапазоне 0,5 ... 400 Гц. Отказоустойчивость обеспечивается при подключении МПК к 4-му каналу датчика: любая отказавшая наклонно-горизонтальная компонента автоматически заменяется на исправную с выдачей удаленному серверу соответствующего уведомления. Кроме того, модули станции содержат каналы когерентного управления активным вибромониторингом с помощью внешних пьезокерамических или магнитострикционных излучателей, а также каналы позиционирования и точного времени ГЛОНАСС/GPS. Питание станций и системы видеоконтроля (в модификации комплекса ЛАВА-СТД-ВИДЕО) штатно осуществляются по информационным линиям связи Ethernet (PoE), при аварии на которых управление и передача данных автоматически переходят по модемам на линии сотовых операторов или спутниковые антенны, а питание – на резервные источники.

В чем же заключается заявленное нами «обогащение» привычной всем сейсмической информации? Именно в том, что к привычным потокам, например, сейсмологическим или сейсмометрическим, мы добавляем один или несколько дополнительных зондирующих энергетических потоков (не обязательно одной физической природы), которые по известным нелинейным законам взаимодействуют с основными потоками, результаты чего выделяются специальными алгоритмами обработки «больших данных» (Big Data). При этом предельно малая энергетика этих прецизионных дополнительных полей ни в малейшей степени не способна исказить рабочие характеристики сейсмометрических каналов регистрации. Заданные параметры срабатывания системы защиты от аварийных воздействий, например, генераторов ГЭС, будут гарантированно выдержаны. Но при этом в базах данных Big Data появятся дополнительные, недоступные ранее знания о валидности датчиков, о текущей «стрессоустойчивости» плотины, гидроагрегатов и их примыканий, появится возможность экстраполяции полученных знаний на будущие аналогичные возмущения, появится возможность от пассивного, привычного «мониторинга» опасных объектов перейти, наконец, к их диагностике.

Технологически работу АСТРОИДа можно представить в виде перманентной «подсветки» зоны регистрации сейсмических сигналов «несущей частотой» (невидимой и неслышимой для «привычной» сеймики), амплитуда которой в отличие от радиосигнала модулируется не музыкой или речью, а самой природой: лунно-солнечными приливами, тайфунами, например, или т.н. «медленными движениями» геосреды под воздействием естественных или искусственных возмущений... И наша задача, «продетектировав» этот сложный макро-сеймосигнал, выделить его огибающую для последующего анализа. Фактически получается, что в роли «датчика» такого сигнала выступает сама среда (сейчас это в радиусе до 250 м), - именно поэтому «собственная частота» такого датчика практически не ограничена снизу. Это могут быть и суточные, недельные или полугодовые периоды неких «волн», которые предстоит



затем идентифицировать. К настоящему времени АСТРОИДом уже выделена огибающая «несущей», включенной нами более полугода назад (см. на рисунке справа – 30 недель, начиная с 20.11.2014), которая автоматически обрабатывается серверным пулом ЛАВА и доступна по ссылке с авторизированным доступом в реальном масштабе времени.

Для последующего анализа составляющих «природной модуляции», идентификации ее волн, априорно нелинейных и нестационарных, нами используется новый алгоритм изучения время-частотных характеристик сигналов, в основе которого лежит преобразование Гильберта-Хуанга (Hilbert-Huang Transform – ННТ) [5]. Алгоритм ННТ заключается в разложении нелинейного нестационарного сигнала на набор монокомпонентных составляющих, каждая из которых описывает автономный процесс. Для каждой такой составляющей, или суммы некоторых из них, или за вычетом определенных помех, с помощью преобразования Гильберта производится частотно-временной анализ. Алгоритм принципиально отличается от других методов время-частотных распределений (оконные БПФ или функции когерентности, вейвлет-преобразования и т.п.) отсутствием ограничения на частотно-временное разрешение, а также полной адаптивностью, поскольку разложение определяется локальными свойствами сигнала, а не используется априорный базис. Применение такого метода позволит существенно увеличить точность определения частотно-временных характеристик нашей модуляции и наиболее адекватно идентифицировать ее структуру.

#### Литература:

1. Геза Н.И., Юшин В.И. О некоторых особенностях корреляционного накопления слабых вибросейсмических сигналов // Вопросы вибрационного сейсмического зондирования. Новосибирск, 1981, с. 99-110.
2. Алексеев А.С., Геза Н.И., Глинский Б.М., и др. МОНОГРАФИЯ «Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками». Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, 2004, 387 с.
3. Геза Н.И., Егоров Г.В., Мкртумян Ю.В., Юшин В.И. Экспериментальное исследование мгновенных вариаций скорости и затухания сейсмических волн в рыхлой среде *in situ*, подвергаемой динамической нагрузке // Геол. и Геофиз., 2001, т. 42, № 7, с. 1137-1146.
4. Геза Н.И. Аппаратура и методика исследования нелинейных и релаксационных процессов в геологической среде // Международная конференция “Геомодель-2009”, Тезисы докладов, ISBN 978-5-88942-086-6. Геленджик, 2009.
5. Huang N.E., Shen Z., Long S., et al. Proc. R. Soc. London A, 454, 1998, pp. 903-995.

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОЗ. БАЙКАЛ?

*Тубанов Ц.А.*

*ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ*

При изучении природы геотермических аномалий неоднократно предпринимались попытки связать их с конкретными сейсмическими событиями или региональной сейсмичностью [Пшенников, 1965; Уломов, 1984]. Первые сопоставления наблюдаемых величин теплового потока с региональной сейсмичностью БРЗ выполнены [Лысак, Зорин, 1976; Лысак, Шерман, 1978; Лысак и др., 1978]. Согласно этим публикациям, коэффициент корреляции тепловых потоков и сейсмической активности в БРЗ и сопредельных районах составляет 0.48-57, а при нелинейной связи величина корреляции достигает 0.67. По материалам более однородной выборки для центрального участка БРЗ коэффициенты корреляции между сейсмической активностью ( $A_{10}$ ) и тепловым потоком ( $q$ ) составили достаточно низкую величину, чем это ожидалось [Голенецкий, Голубев, 1985].

На протяжении последних 15 лет в центральной части оз. Байкал увеличивается количество сейсмостанций. Полученные данные достаточно уверенно свидетельствуют о существовании под центральной частью оз. Байкал сейсмогенного слоя на глубине 10-22 км [Суворов, Тубанов, 2008]. Глубина для большого числа зарегистрированных слабых землетрясений, к сожалению, остается неизвестной. Требуется еще более плотная сеть сейсмостанций, более детальная (трехмерная!) информация о скоростном строении среды

На основе данных локальной сети сейсмостанций установлено, что эпицентры большинства слабых землетрясений (менее 8 энергетического класса) локализуются в виде обособленных в пространстве линейных групп. Очаги образуют обособленные в пространстве, достаточно тесные группы, с отчетливо выраженным положением длинной оси. Наиболее представительная группа эпицентров располагается полосой вдоль восточного берега оз. Байкал. На фоне общей линейной, ориентированной вдоль рифта, конфигурации эпицентрального поля, отчетливо выделяются участки без эпицентров – сейсмические брешы.

Сопоставление карты плотности землетрясений и теплового потока ( $q$ ), показывает отсутствие прямой связи между количеством событий и  $q$ . Не исключая влияния малодетальности геотермических измерений и косвенного характера оценок глубинного (!) теплового потока, можно согласиться с тем, что [Голубев, 2007] косвенная взаимосвязь между сейсмичностью и тепловым потоком (когда в результате сейсмического процесса возникают зоны повышенной проницаемости, по которым происходит перераспределение идущего снизу теплового потока) не позволяет ожидать устойчивых корреляций между этими параметрами. Таким образом, пространственное совпадение отдельных локальных термических аномалий и областей сгущения эпицентров возможно свидетельствует о тектонической природе локальных аномалий теплового потока центральной части оз. Байкал.

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Кульков А.С.<sup>1,2</sup>, Макаров П.В.<sup>1,2</sup>, Кульков С.Н.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>ИФПМ СО РАН, г. Томск; <sup>2</sup>ТГУ, г. Томск*

В работе исследованы ультраосновные горные породы, претерпевшие интенсивные неупругие деформации в естественных условиях их залегания с образованием различных структурных типов.

Поставленные задачи предусматривали применение петроструктурных методов исследования и петрохимический анализ, необходимые для петрографической классификации изучаемых горных пород, рентгенофлуоресцентный метод (РФА), метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), рентгеноспектральный микроанализ с электронным зондом, рентгенофазовые и рентгеноструктурные исследования, метод дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), механические испытания.

Выявлен вещественный состав оливинов (породообразующего минерала ультраосновных горных пород), выполнен анализ фазового состава, параметров тонкой кристаллической структуры, структурно-фазовых переходов в процессе их пластической деформации. Изучены механические свойства и деформационное поведение разных типов ультраосновных горных пород при активной деформации сжатием образцов, учитывая особенности их структуры. Установлена связь различных петроструктурных типов горных пород, отличающихся типами структур, включая тонкую структуру, с их физико-механическими свойствами – пределами текучести, прочности и упругими модулями.

Показано, что структурная неоднородность различных типов исследуемых горных пород обусловлена разными механизмами пластического деформирования их породообразующего минерала – оливина, которые реализовались в различных термодинамических условиях их формирования и последующей эволюцией.

Определены механические параметры, предел текучести, прочности, упругие модули четырех петроструктурных типов ультраосновных горных пород при активной деформации сжатием образцов. Установлена их связь со структурой, размерами зерен и кристаллитов. Показано, что наблюдаемые изменения механических свойств дунитов в ряду их петроструктурных типов определяются условиями их формирования и последующей эволюции и тесно связаны с особенностями их неупругой деформации.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА В СКВАЖИНЕ 1220 НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ**

*Беляшов А.В., Шелехова О.Х., Ларина Т.Г.*

*ИГИ, г. Курчатов, Республика Казахстан*

Подземный ядерный взрыв мощностью 190 кТ был проведен в скважине 1220 Семипалатинского испытательного полигона в 1980 г. Для изучения взрывного воздействия на кровлю палеозойского фундамента, представленного, в основном,

гранитными и гранодиоритовыми образованиями, до и сразу после взрыва проводились сейсмические исследования методом преломленных волн. Было выявлено формирование откольной зоны со смещением кровли ненарушенного фундамента на глубину до 90-100 м относительно его исходного залегания.

В 2006 г. в районе скважины 1220 проведены повторные сейсмические наблюдения методом рефрагированных волн. В полученном разрезе отмечено восстановление скоростных характеристик участка в сторону исходных значений, хотя скорость на глубине дозрывного залегания кровли фундамента остается пониженной на 1.0-1.5 км/с.

В докладе представлены результаты переобработки сейсмических данных 1980-1981 гг. и обработки данных 2006 г. с использованием двух способов построения скоростного разреза – сейсмотомографического и прямого лучевого трассирования.

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В СТРУКТУРНУЮ ГЕОЛОГИЮ**

*Прилоус Б.И.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

В процессе подготовки публикации на международную конференцию “ГЕО-Сибирь 2015” о результатах моделирования поведения давления на пологих геологических структурах автор познакомился с новыми направлениями по применению методов дифференциальной геометрии в структурной геологии, обзор которых представлен в настоящей статье.

Общеизвестно, что формы, в которые могут деформироваться геологические поверхности в верхних частях осадочных формирований могут быть достаточно сложными. Количественно их можно описывать такими характеристиками объектов дифференциальной геометрии, как например выпуклость, локальные максимумы и или минимумы, седловые образования, точки перегиба и кривизна поверхности. В то время как многие существующие методы для описания складчатых структур предполагают цилиндричность или симметричность структуры, дифференциальная геометрия допускает количественное описание любой формы структуры, независимо от ее симметрии и пространственных вариаций.

В 2007 г. в журнале *Journal of Structural Geology* вышла пионерская работа авторов Mynatt, Bergbauer, and Pollard под названием “Using differential geometry to describe 3-D folds”. Они обратили внимание на то, что определяя гауссову и среднюю кривизны в точках на поверхности структуры, можно описать как форму, так и ориентацию структуры, например, можно убедиться в ее схожести с куполом или бассейном. В результате была создана классификация складчатых поверхностей в виде восьми геологически релевантных форм: антиформа, синформа, плоскость, купол, бассейн и три типа седел - совершенное, антиформальное и синформальное. Главное разделение производится по знаку средней кривизны (арифметическому среднему двух главных кривизн) на антиформы и синформы. А затем уже эти формы делятся согласно знаку гауссовой

кривизны на синкластические (с одинаковой кривизной во всех направлениях) и антикластические (седлообразные).

Следует также отметить, что атрибуты кривизны могут стать мощным инструментом для структурной интерпретации сейсмических данных. Они измеряют степень кривизны или поверхности, или объема, и поскольку очевидно, что чем более кривой является поверхность, тем сильнее она деформирована, то атрибуты кривизны улучшают тонкие структурные особенности и позволяют отображать едва различимые разломы и трещины за пределами разрешения сейсмических данных, а это снижает количество времени, требуемое для идентификации и отображения структур в крупных сейсмических наборах данных.

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫДЕЛЕНИЯ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ШУМОВ,  
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГИДРОРАЗРЫВЕ ПЛАСТА**

*Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В.*

*ИВМ СО РАН, г. Красноярск*

С опорой на технологию [1] и опыт обработки и интерпретации результатов [2–5] была проведена пробная обработка данных, зарегистрированных на одном из месторождений Западной Сибири [6]. Система наблюдения включала 36 приборов, расположенных на поверхности в узлах сети 6х6 точек с шагом 400 м. Объект наблюдения (процесс гидроразрыва) находился на глубине более 3000 м.

Один из главных элементов подготовки к процессу накопления сигналов с фокусировкой на заданной глубине – расчет статических поправок на пунктах приема. По технологии [1] оно производится по записям сигналов от перфорации, когда сигнал несколько превышает уровень шума. В данном случае обнаружить подобные сигналы не удалось и расчет статических поправок пришлось проводить параллельно с накоплением. С использованием опыта подобных обработок удалось получить статику и скорректировать скоростную модель. В итоге было получено несколько вариантов развития процесса гидроразрыва. Они будут продемонстрированы и проанализированы. По мнению авторов, результаты анализа представляют интерес для совершенствования методики изучения слабых сигналов на фоне сильных шумов.

Авторы выражают благодарность за участие в обсуждении результатов В.С. Селезневу, А.В. Лисейкину, А.А. Брыксину.

**Литература:**

1. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Муртаев И.С., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Способ сейсмической разведки зон растрескивания горных пород в процессе гидроразрыва: пат. 2282876. Россия, 2004
2. Кочнев В.А., Поляков В.С., Брыксин И.В., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Выделение зон растрескивания коллекторов по сейсмическим данным, полученным в процессе гидроразрыва пласта. // Геофизика. 2009. № 1. С. 61–68.
3. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Брыксин И.В., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Опыт выделения зон растрескивания коллекторов по сейсмическим данным, полученным в процессе гидроразрыва пласта. // «Современные геофизические



технологии в ОАО «Хантымансийскгеофизика» и перспективы их использования для повышения эффективности поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа. Ханты-Мансийск, 2008. С. 57–61.

4. Kochnev V.A., Polyakov V.S., Goz I.V., Bryksin I.V., Murtayev I.S., Savin V.G., Zommer B.K. Imaging Hydraulic Fracture Zones from Surface Passive Microseismic Data // First Break. 2007. Т. 25. С. 77–80.

5. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Брыксин И.В. Пример использования технологии наблюдения шумов на дневной по-верхности при гидроразрыве // Всероссийская конференция «Геофизические методы исследования земной коры», посвященная 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева. 2014. С. 59–62.

6. Селезнев В.С., Брыксин А.А., Лисейкин А.В., Колесников Ю.И., Хогоев Е.А. Способ локализации места разрыва и инженерно-сейсмического контроля при работах по гидроразрыву пласта. // Сборник тезисов. Материалы второй научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири». Новосибирск, 2015. Т. 2. С. 69–71.

## **СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МАУЛЕ, 2010 Г., M=8.8 (ЧИЛИ)**

*Дядьков П.Г., Кучай О.А.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Одно из сильнейших землетрясений последнего времени произошло 27 февраля 2010 г. ( $M_w=8.8$ ) в регионе Мауле (Чили) на контакте тектонических плит Наска и Северо-Американской. Это третье по интенсивности событие из произошедших во время последней глобальной активизации (после Суматра-Андаманского, 2004 г.,  $M_w=9.2$ , и Тохоку, 2011 г.,  $M_w=9.0$ ).

В работе исследовались особенности сеймотектонических деформаций (СТД) за период с 1976 г. по 2014 г. и за временные отрезки до и после землетрясения Мауле. СТД рассчитывались по механизмам очагов землетрясений с  $M>4.8$  [[www.globalcmt.org/CMTsearch.html](http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html)] в районе  $\varphi = 17^\circ - 46^\circ$  Ю.Ш.,  $\lambda = 66^\circ - 76^\circ$  З.Д. Были рассмотрены СТД для диапазонов глубин: 0-35 км (для расчета использовано 805 решений механизмов очагов землетрясений), 36-70 км (244 решения), 71-150 км (432 решения), 150-300 км (198 решений).

Рассматриваемый регион относится к конвергентной границе, отражающей процессы взаимодействия Южно-Американской плиты и плиты Наска. По данным GPS океаническая плита Наска движется в ВСВ направлении со скоростью 8 см/год, в то время как Южно-Американская плита - на ЗСЗ со скоростью 1 см/год. Основная сейсмичность сосредоточена на глубинах до 300 км, но отдельные гипоцентры возникают на глубинах до 600 - 700 км.

Для расчета сеймотектонического деформирования объемов горных масс использовалась методика Ю.В. Ризниченко, 1985. Земная кора вдоль широтной компоненты СТД на глубинах до 70 км испытывает преимущественно деформации укорочения, при этом деформации удлинения имеют место в основном в южной части рассматриваемого района, южнее 39-й параллели. Поле меридиональной компоненты деформаций менее однородное. Особенностью поля вертикальной

компоненты деформаций является растяжение севернее 39 градуса Ю.Ш., южнее объемы горных масс испытывают деформации укорочения для глубин 0-35 км. Для глубин 36-70 км меридиональная компонента в районе 39-й параллели меняет знак деформации: юг характеризуется меридиональным растяжением, север - укорочением. В погружающейся плите под земной корой на глубинах 71-150 км и 151-300 км картина сейсмотектонических деформаций резко меняется, объемы горных масс испытывают преимущественно широтное удлинение и вертикальное укорочение.

Рассмотрение поведения СТД за отдельные отрезки времени: 1976 – 1985 гг; 1985 – 2009 гг. и 2010 – 2014 гг., показало, что в целом характер деформаций сохраняется, но при этом практически отсутствуют данные об одном из наиболее важных участков – будущей области афтершоков, поскольку с 1986 по 2009 гг она входила в зону сейсмического затишья.

Важно отметить, что южная граница афтершоковой области приурочена к границе смены типа деформирования литосферы (39-я параллель), при этом севернее этой границы располагается область, в которой с 1986 по 2009 гг. наблюдалось сейсмическое затишье, а также имело место повышение значений наклона графика повторяемости землетрясений и стабильности выделяемой сейсмической энергии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-00688.

Литература:

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М. Наука, 1985, 407 с.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СМЕШАННЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

*Сибиряков Е.Б.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: [sibiryakov@ipgg.sbras.ru](mailto:sibiryakov@ipgg.sbras.ru)*

В работе усовершенствована новая вычислительная технология решения трёхмерных краевых задач упругих стационарных колебаний (в том числе статических). Основой этой технологии является построение ядер интегральных уравнений как откликов на конечный аналог дельта-нагрузки.

Ранее эта технология использовалась для решения задачи о расклинивающем давлении на шаре с плоскими площадками контакта.

Ядра интегральных уравнений представляют собой отклики в виде перемещений на конечный аналог дельта-нагрузки, приложенный к плоской поверхности

$$\delta_1(S) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^N k_r J_0 \left( r_r \sqrt{k_r^2 + 2k^2} \right) dk_r,$$

где  $J_0(k_r r_r)$  – функция Бесселя первого рода.

С одной стороны, использование финитных и гладких ядер даёт возможность повысить точность решений на многие порядки, с другой стороны, несёт риск катастрофического роста числа обусловленности системы при уменьшении шага

разбиения сетки, что, в свою очередь означает резкое снижение достоверности полученных численных решений.

Ранее предполагалось, что если величина  $N$  (верхний предел интегрирования) обратно пропорциональна шагу разбиения, то обусловленность системы уравнений для нахождения вектора потенциала будет достаточной. Выяснилось, что это утверждение соответствует действительности лишь на достаточно гладких поверхностях. В действительности величина  $N$  напрямую связана с полнотой системы функций, составляющих ядра (то есть с существованием решения краевой задачи). Это означает, что с увеличением числа  $N$  можно найти достоверное решение задачи со сколь угодно быстро изменяющемся вектором нормали (а также со сколь угодно быстро осциллирующей правой частью уравнения).

Было показана возможность решения краевых задач первого, второго и смешанного типов на достаточно произвольной поверхности. Также проведён анализ достоверности полученных решений с использованием чисел обусловленности.

Обнаружено, что использование двух масштабов для построения библиотеки ядер даёт возможность снизить объёмы этих библиотек (а также время их вычисления) примерно в сто раз без существенной потери точности.

Особенно эффективно использование подобных ядер для решения смешанных краевых задач для тел, ограниченных поверхностями с быстро изменяющимся вектором единичной нормали (микронеоднородность второго рода).

#### **ЛАТЕРАЛЬНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПОД СИБИРСКИМ КРАТОНОМ**

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

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; e-mail: [SuvorovVD@ipgg.sbras.ru](mailto:SuvorovVD@ipgg.sbras.ru),*

*[MelnikEA@ipgg.sbras.ru](mailto:MelnikEA@ipgg.sbras.ru), [Mishenkinaz@ipgg.sbras.ru](mailto:Mishenkinaz@ipgg.sbras.ru), [PavlovEV@ipgg.sbras.ru](mailto:PavlovEV@ipgg.sbras.ru)*

По данным ядерных взрывов представлены сейсмические разрезы верхней мантии по профилям Рифт, Метеорит и Кратон, пересекающим Сибирский кратон [3, 4]. В отличие от слоистых слабо неоднородных моделей в предшествующих работах [5-10], нами приоритет отдается латеральным неоднородностям при минимально возможном количестве сейсмических границ с резкими скачками скорости. Использован метод двумерного лучевого моделирования. В основании литосферы выделен слой с повышенной до 8.5-8.7 км/с скоростью. Сейсмическая мощность литосферы оценивается 180-240 км при пологом рельефе подошвы, глубина залегания которой уменьшается на северо-западе Сибирского кратона и увеличивается в окрестности его юго-восточного края (профиль Метеорит). Верх мантии характеризуются латеральной неоднородностью при изменении скорости от 7.7 км/с под Байкальской рифтовой зоной до 8,5-8,6 км/с на локальных участках под Ангаро-Ленской ступенью (профили Рифт, Метеорит), восточной прибортовой частью Вилюйской синеклизы (Кратон) и в центральной части Западно-Сибирской плиты (Кратон). Преимущественное значение скорости под Мохо 8.0-8.4 км/с, с тенденцией уменьшения под крупными прогибами фундамента (Присяно-Енисейская, Тунгусская и Вилюйская синеклизы, Западно-Сибирская плита).

В структуре литосферы наибольший интерес вызывает рельеф кровли слоя повышенной скорости, который резко меняется по площади. Области максимального залегания (более 200 км) тяготеют к стабильным районам, включая алмазоносные области Иркутского амфитеатра и западную часть Якутской кимберлитовой провинции. Протяженность на юг может свидетельствовать о перспективах поиска кимберлитов в Красноярском крае и Иркутской области (имеются находки россыпных алмазов). Области минимальной глубины залегания (100-130 км) тяготеют к областям проявления траппового магматизма на Сибирской платформе и в Западной Сибири.

Интервал глубины между подошвой литосферы и границей «410 км» характеризуется незначительным нарастанием скорости с глубиной от 8.5 до 8.55 км/с. На границе «410 км» скорость скачком увеличивается до 9.4-9.45 км/с.

Двумерное сейсмогравитационное моделирование, по программе решения прямой и обратной двухмерной гравитационной задачи ADM-3D [2], по профилям Метеорит и Кратон показывает удовлетворительное соответствие сейсмических и гравитационных данных. Выявленная в работе [1] положительная гравитационная аномалия для подкоровой части верхней мантии коррелируется с аномалией повышенной скорости на глубине 100-200 км на профилях Метеорит и Кратон. Особый интерес вызывает различие в изостатическом состоянии земной коры Вилюйской и Тунгусской синеклиз (профиль Кратон).

#### Литература:

1. Грачев А.Ф., Кабан М.К. О причинах высокого стояния Сибирской платформы // Физика Земли, 2006, № 12, с. 20—33.
2. Кочнев В.А. 1993. Адаптивные методы решения обратных задач геофизики. Учебное пособие. Красноярский госуниверситет. Красноярск. 131 с.
3. Суворов В.Д., Мишенькина З.Р., Мельник Е.А. Сейсмические верхнемантийные корни структур фундамента Сибирской платформы по профилю Рифт // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (8), с. 1134—1150.
4. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Мишенькина З.Р., Павлов Е.В., Кочнев В.А. Сейсмические неоднородности верхней мантии под Сибирским кратоном (профиль Метеорит) // Геология и геофизика, 2012, т. 54 (9), с. 1411—1426.
5. Cipar J., Priestley K. Cental Siberia upper mantle cross-section from deep seismic sounding explosions / Ed. K. Fuchs. Upper mantle heterogeneities from active and passive seismology. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1997, p. 75—87.
6. Egorkin, A.V., Zukanov, S.K., Pavlenkova, N.A., Chernyshev, N.M., 1987. Results of lithospheric studies from long-range profiles in Siberia. Tectonophysics 140 (1), 29—47.
7. Egorkin A.V. 2004. Mantle structure of the Siberian platform. Izvestiya. Physics of the Solid Earth v. 40 (5), 385-394.
8. Pavlenkova G.A., Solodilov L.N. High velocities in the uppermost mantle of the Siberian craton // Tectonophysics, 1996, v. 262, p. 51—65.
9. Pavlenkova G.A., Pavlenkova N.I. Upper mantle structure of the Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data // Tectonophysics, 2006, v. 416, p. 33—52.
10. Pavlenkova N.I. Seismic structure of the upper mantle along the long-range PNE profiles — rheological implication // Tectonophysics, 2011, v. 508, p. 85—95.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛЬНОГО ФРАГМЕНТА ЗЕМНОЙ КОРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ**

*Татаурова А.А.<sup>1,2</sup>, Стефанов Ю.П.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup>НГУ, г. Новосибирск*

В работе выполнено исследование влияния неоднородности упругопластических свойств на напряженно-деформированное состояние модельного фрагмента земной коры блочной структуры. Рассмотрен ряд задач о влиянии закона изменения прочности с глубиной и различия свойств в блоках, а также последовательности нагружения на напряженно-деформированное состояние. Выполнен анализ упругопластической деформации и смещений, которые возникают на разных этапах нагружения: при приложении силы тяжести и изменении прочностных свойств в отдельных блоках.

Результаты расчетов показали, что пластическая деформация в блоках пониженной прочности приводит к изменению распределения напряжений, в результате которых в окружающей среде возникают деформации. Величина этих деформаций определяется упругопластическими свойствами окружающей, геометрией среды, а также условиями нагружения.

Моделирование процессов деформации выполнено в двумерной постановке для условий плоской деформации. Для этого численно решалась система уравнений механики в динамической постановке для упругопластической среды. Была использована модифицированная модель Друккера-Прагера-Николаевского. Расчеты проводились по явной конечно-разностной схеме.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ РАЗЛОМОВ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

*Ребецкий Ю.Л.<sup>1</sup>, Кузиков С.И.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, г. Москва; <sup>2</sup>Научная Станция РАН, г. Бишкек, Кыргызская Республика*

Предлагается выполнять районирование разломов по характеру их напряженного состояния. Для этого полученные из результатов тектонофизической реконструкции данные о напряженном состоянии участков земной коры трансформируются в данные о параметрах нормальных и касательных напряжений на плоскостях разломов, отвечающих отдельным их участкам. Подобный подход требует помимо информации о простирании разломов иметь также данные об углах погружения. Сведения о напряжениях на разломе позволяют определить направление действия полного касательного напряжения и, следовательно, идентифицировать участок разлома по его кинематическому типу. В настоящей работе приложение предлагаемого подхода осуществлялось для разломов Северного Тянь-Шаня, а для восстановления параметров современного поля напряжений использовался каталог механизмов очагов землетрясений сейсмической сети Knet НС РАН в г. Бишкеке. Сама реконструкция напряжений осуществлялась на основе метода катакластического анализа разрывных смещений, позволяющего определять не только параметры эллипсоида напряжений, но и соотношение между шаровой и девиаторной компонентами тензора напряжений.

Этот тип данных позволяет на диаграмме Мора получить положение точки, характеризующей напряженное состояние участка разлома, и, следовательно, дает возможность понять насколько близко к критическому состоянию (предел хрупкой прочности) находится данный участок. Районирование разломов Северного Тянь-Шаня позволило выявить участки разломов протяженностью до 25 км, находящиеся в предкритическом состоянии. Данную работу следует рассматривать как продолжение работ М.В. Гзовского по развитию геологических – тектонофизических критериев сейсмичности.

## **ВЫЯВЛЕНИЕ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР И ИХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ДАННЫМ МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО АЛТАЯ)**

*Неведрова Н.Н., Пономарев П.В.*

*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Методы постоянного тока мобильны, имеют развитые способы оперативной обработки полевых данных и значительное количество модификаций, с помощью которых можно исследовать внутреннюю структуру земли от дневной поверхности до глубин в сотни метров. В геоэлектрических условиях кайнозойских впадин Горного Алтая широко применяется комплекс этих методов: ВЭЗ и электротомография. В последнее десятилетие многоканальная аппаратура многоэлектродных наблюдений активно развивается. Эта технология объединяют принципы зондирования и профилирования, позволяет получить наиболее плотную сеть наблюдений и соответственно значительно увеличить детальность исследования.

Для измерений на территории Горного Алтая была использована станция «Скала-48М» с четырехэлектродной симметричной установкой Шлюмберже, состоящей из двух 24х-электродных кос с шагом между электродами 5 метров, таким образом, максимальный разнос генераторной линии АВ достигал 235 м. Глубинность таких измерений составляет около 50-60 метров. С целью увеличения глубины исследования до 100-120 метров были также реализованы измерения с трехэлектродной установкой  $AMN_{\infty}$ , с выносным питающим электродом (<http://nemfis.ru>). Интерпретация данных электротомографии выполнена с использованием программы ZondRes2d (<http://zond-geo.ru>).

В западном замыкании Чуйской впадины в долине р. Чаган имеется система наблюдений методом ВЭЗ по трем профилям практически параллельным течению реки. По этим данным построены геоэлектрические разрезы и модель участка. Модель дает представление о строении всего участка, в частности о наличии приподнятого блока на северо-востоке с общей мощностью осадочных пород до 120 м и мощного погруженного юго-западного блока, в пределах которого глубины до высокоомного основания превышают 300 м. Скорее всего блоки имеют разломные ограничения. Геоэлектрические разрезы также отражают блоковое строение участка с присутствием разломных структур. На разрезах разломы выделены по резкому изменению общей мощности осадков в соседних пунктах ВЭЗ. Но по данным ВЭЗ, выполненных с шагом в среднем 500 м между пунктами, невозможно определить точное положение сместителя разлома или его наклон и

другие параметры разломной зоны (ширину, УЭС). Для уточнения положения разломных структур в верхней части разреза и получения их приповерхностных геоэлектрических характеристик был выполнен целый ряд профилей электротомографии в зонах предполагаемых по данным ВЭЗ разломных нарушений. Наиболее значимый результат получен по данным профилей электротомографии в зоне перехода между двумя выделенными крупными блоками – приподнятым и погруженным. Профиль электротомографии № 5 длиной в 800 м выполнен с трехэлектродной установкой и по результатам интерпретации разрез построен до глубин более 100 м. На разрезе хорошо выделяется практически вертикальная зона перехода между блоками шириной примерно в 120 м с пониженным сопротивлением горных пород. Таким образом, подтверждено разломное разделение блоков и получены геоэлектрические характеристики этой разломной структуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-35-20614 мол\_а\_вед.

#### **ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЗОЗОЙСКОГО ЧЕХЛА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ**

*Белонос А.Ю., Кудрявцев А.Е., Шешуков С.А.*

*ЗСФ ИНГГ СО РАН, г. Тюмень*

Актуальность данной темы обусловлена расширением географии нефтегазового комплекса в РФ. В этой связи возрастает роль оценки перспективности мало изученных территорий. На юге Западно-Сибирской плиты (ЗСП) к таковым можно отнести: районы Тюменской, Омской, Курганской и Новосибирской областей, и даже западных участков Алтайского края.

По материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) совместно с региональными материалами сейсморазведки, магнито- и гравиразведки, а также по результатам бурения выделена зона Таро-Печорского глубинного разлома северо-западного простирания, распространяющаяся вплоть до Уральского хребта. Она выражена системой сопряжённых (продольных и поперечных) разломов, разделяющих тектонические блоки и интрузивные комплексы. Последние представлены дайками различного состава, осложненными вулканическими телами штокообразной формы (палеовулканами). Рассмотрены вопросы картирования погребённых вулканических образований по комплексу геофизических и космических материалов. Влияние палеовулканов на кайнозойско-мезозойский осадочный чехол выявляется по современным геохимическим данным. Пространственное расположение выявленных крупных палеовулканических образований является можно объяснить тем, что Таро-Печорский глубинный разлом является палеосубдукционной зоной, претерпевшей серию орогенических событий.

Осадочный чехол, перекрывший палеовулканические образования, характеризуется многочисленными мелкими антиклинальными структурами, способными аккумулировать нефтегазовые залежи. Предложены вероятные модели их образования на основе геодинамических и геохимических признаков. Разработана система разбраковки мелкокупольных структур осадочного чехла

комплексом методов: спутниковые технологии и совмещённые наземные геофизико-геохимические исследования (сейсмогеохимические, геоэлектрохимические, гравимагнитогеохимические и другие). Выявлены особенности строения нефтегазовых залежей на юге ЗСП.

Ключевые слова: Западно-Сибирская плита (ЗСП), дистанционное зондирование Земли, комплексные геофизико-геохимические исследования, тектонические блоки, палеовулканические образования, дайки штокообразной формы.

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ СИБИРИ НА ОПОРНОМ ПРОФИЛЕ 3-ДВ

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

*<sup>1</sup>ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; <sup>2</sup>СНИИГГиМС, г. Новосибирск*

В соответствии с созданием Государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин в РФ выполнено изучение верхней части земной коры (до глубины 5-8 км, данные КМПВ) и всей земной коры (данные ГСЗ) по профилю 3-ДВ, длиной около 3000 км, пересекающему Алданский щит, Средне-Ленскую моноклиналь, юго-восточный борт Вилюйской синеклизы и Верхояно-Колымскую складчатую систему.

Задачами исследований земной коры комплексом геолого-геофизических методов вдоль опорных профилей являются: 1. Изучение глубинного строения и минерагенической специализации крупных геологических провинций; 2. Создание современных комплексных геолого-геофизических, структурно-вещественных и геодинамических моделей земной коры и верхней мантии; 3. Выяснение закономерностей размещения полезных ископаемых относительно глубинных структур. В комплекс геофизических методов включены КМПВ и ГСЗ.

Новизна заключается в применении метода КМПВ для изучения глубинной структуры складчатых областей, тогда как типичным для этого метода предметом изучения являются платформенные области с полого-слоистым осадочным чехлом, подстилаемым глубоко погруженным фундаментом. В условиях складчатости слоистость деформирована, обнаружение кристаллического фундамента становится проблематичным, и возникает необходимость оценки возможности применения этого метода при решении новых задач. Это подчеркивается также и тем, что применение метода ОГТ также испытывает трудности в картировании круто наклоненных элементов складчатых структур.

Близкие проблемы возникают и при изучении структуры земной коры методом ГСЗ. Вследствие больших баз наблюдений, необходимых для определения скорости распространения волн в коре и положения границы Мохо, неизбежно происходит уменьшение разрешающей способности. В результате выявляемая скоростная структура коры оказывается сглаженной, отражающей только региональные ее особенности. Вместе с тем такие данные необходимы для корректировки скорости, используемой при миграции отражателей, обнаруживаемых в коре по данным ОГТ. Кроме того, Мохо и скачок скорости



(плотности) на подошве коры необходим при обработке и интерпретации гравитационных данных.

В докладе демонстрируются примеры изучения скоростной структуры верхней коры и всей ее толщи в разнообразных геологических условиях. Используется кинематический метод прямого лучевого моделирования, в котором реализуется локализация положения скоростных неоднородностей, проявленных в аномальных изменениях времен пробега продольных волн в первых и последующих вступлениях.

*Для заметок*

Blank area with horizontal dotted lines for notes.

Blank area with a grid of dotted lines for notes.