

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



**динамика,
механика и
физика**

XVII Всероссийский семинар



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

**Стационар «Денисова пещера», Алтайский край
24-29 июля 2017 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 организационного комитета:

д.г.-м.н. Суворов В.Д.

д.ф.-м.н. Сибиряков Б.П.

д.ф.-м.н. Стефанов Ю.П.

к.г.-м.н. Мельник Е.А.

к.ф.-м.н. Сибиряков Е.Б.

Секретарь семинара:

Татаурова А.А.

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 **24 июля 2017 г.**

Регистрация участников будет проводиться **25 июля с 9³⁰ – 10⁰⁰** 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 **29 июля 2017 г.**

25 июля

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, Буслов М.М.², Василевский А.Н.¹ (¹ИНГГ СО РАН, ²ИГМ СО РАН).* Процессы коллизии и вулcano-плутонические комплексы в разновозрастных складчатых областях.
- 10:45-11:25 *Ребецкий Ю.Л. (ИФЗ РАН).* О нижнемантийной конвекции и о роли малых тангенциальных массовых сил в геодинамике литосферных плит.
- 11:25-12:00 *Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Спиридонов В.А. (ВНИИгеосистем).* Отечественная геоинформационная система «ИНТЕГРО» как инструмент для 3D геолого-геофизического моделирования.

Перерыв
12.00-12.15

- 12:15-12:55 *Шеменда А.И., Mas D., Petit J.P., Ambre J. (Университет Ницца – София Антиполис).* Разломы и трещины как результат локализации деформации: экспериментальный, теоретический, численный и геологический подходы.
- 12:55-13:25 *Назарова Л.А.¹, Назаров Л.А.¹, Вандамм М.², Перейра Ж.-М.² (¹ИГД СО РАН, ²Universite Paris-Est).* Деформационные и фильтрационные свойства угля по данным адсорбционных испытаний на основе решения обратной задачи.
- 13:25-13:50 *Стефанов Ю.П.^{1,2}, Бакеев Р.А.^{1,2}, Мясников А.В.³ (¹ИНГГ СО РАН, ²ИФПМ СО РАН, ³Сколтех).* Устойчивость горизонтальных скважин и инициация трещин ГРП в породах нетрадиционных коллекторов.

Обед
14:00-15:00

Вечернее заседание

- 15:00-15:30 ***Митрофанов Г.М. (ИНГГ СО РАН)***. О точности и достоверности оценивания параметров при сейсмических исследованиях.
- 15:30-16:00 ***Сибиряков Б.П. (ИНГГ СО РАН)***. Перколяционные явления в трещиноватых средах и прогноз скорости истечения жидкости в скважину.
- 16:00-16:20 ***Нефедкина Т.В., Лыхин П.А. (ИНГГ СО РАН)***. Изучение анизотропных свойств трещиноватых коллекторов углеводородов методом AVOA инверсии PP-отражений.
- 16:20-16:40 ***Горелик Г.Д., Сысоев А.П. (СПГУ)***. Асимптотические способы компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке данных МОВ.

Перерыв
16:40-16:55

- 16:55-17:15 ***Хогоева Е.Е. (ИНГГ СО РАН)***. Определение дилатации в объеме среды по заданным смещениям на границах методом случайных блужданий.
- 17:15-17:35 ***Новиков М.А. (ИНГГ СО РАН)***. Численное моделирование волновых полей в трещиновато-пористых средах – проявление связности трещин в сейсмических полях.
- 17:35-17:55 ***Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Шелехова О.Х., Ларина Т.Г. (ИГИ МЭ РК)***. Глубинные исследования МОВЗ в Средне-Сырдарьинской депрессии.
- 17:55-19:00 ***Дискуссия.***

26 июля

Утреннее заседание

- 10:00-10:40 ***Бакеев Р.А.^{1,2}, Стефанов Ю.П.^{1,2} (¹ИНГГ СО РАН, ²ИФПМ СО РАН)***. Численное моделирование карстового провала и анализ сопутствующей акустической эмиссии.

- 10:40-11:10 *Кульков С.Н., Кульков А.С., Вологодина И.В. (ТГУ).* Влияние эпигенетических процессов на фильтрационно-емкостные свойства терригенных пород-коллекторов васюганского горизонта на примере пласта Ю1 Трайгородско-Кондаковского нефтяного месторождения (Томская область).
- 11:10-11:35 *Рига В.Ю.¹, Турунтаев С.Б.^{1,2}, Остапчук А.А.² (¹ВНИИА, ²ИДГ РАН).* Влияние увеличения порового давления на движение по разлому в рамках двухпараметрической модели типа rate-state.
- 11:35-11:55 *Ребецкий Ю.Л.¹, Абузар Гараванд² (¹ИФЗ РАН, ²РГУ нефти и газа (НИУ)).* Тектонофизические подходы в определении устойчивости нефтяных скважин в процессе бурения.

Перерыв
11:55-12:05

- 12:05-12:25 *Сибиряков Б.П., Хогоева Е.Е. (ИНГГ СО РАН).* Малые геологические объекты и прогноз дилатации (давления) в геологических средах с использованием только продольных волн.
- 12:25-13:05 *Кочнев В.А., Александровский Д.А. (ИМВ СО РАН).* О формировании потоков жидкости во вращающемся шаре под действием приливных сил.
- 13:05-13:45 *Тимофеев Д.Н. (ООО «Космические технологии»).* Геодинамика глубинных процессов мантии и коры Земли. Силановая нефть.

Обед
14:00-15:00

Экскурсия в Денисову пещеру
15:00-16:30

Вечернее заседание

- 16:30-16:55 ***Назарова Л.А.¹, Голиков Н.А.², Назаров Л.А.¹, Скулкин А.А.¹ (1ИГД СО РАН, 2ИНГГ СО РАН).*** Метод определения реологических свойств пород пластов Баженовской свиты по данным термобарических испытаний.
- 16:55-17:15 ***Макаров П.В., Перышкин А.Ю. (ИФПМ СО РАН).*** Моделирование солитоноподобных медленных волн деформации в прочных средах.
- 17:15-17:35 ***Романов А.С.^{1,2}, Стефанов Ю.П.^{2,3}, Мясников А.В.⁴ (1ТГУ, 2ИНГГ СО РАН, 3ИФПМ СО РАН, 4Сколтех).*** Численное исследование процессов деформации горной породы при изъятии керна.
- 17:35-17:55 ***Голиков Н.А. (ИНГГ СО РАН).*** Деформация и изменение петрофизических свойств образцов в процессе деструкции углеводородов.
- 17:55-19:00 ***Дискуссия.***

27 июля

Утреннее заседание

- 10:00-10:25 ***Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С., Маринин А.В. (ИФЗ РАН).*** Новый механизм эволюции литосферы Тибета и орогенов Высокой Азии.
- 10:25-10:50 ***Мягков Д.С., Ребецкий Ю.Л. (ИФЗ РАН).*** Аналитические модели формирования эпиплатформенных орогенов Центральной Азии. изучение влияния денудационно-аккумуляционных процессов на формирующееся напряжённое состояние.
- 10:50-11:15 ***Лунев Б.В., Лапковский В.В. (ИНГГ СО РАН).*** Метод подбора для реконструкции истории формирования и актуальной структуры объектов соляной тектоники.
- 11:15-11:40 ***Татаурова А.А.¹, Стефанов Ю.П.^{1,2} (1ИНГГ СО РАН, 2ИФПМ СО РАН).*** Влияние геомеханических параметров на формирование надвиговых структур.

Перерыв
11:40-11:55

- 11:55-12:35 **Кульков С.Н.** (ТГУ). Неупругое поведение при сжатии хрупкого материала с иерархической поровой структурой.
- 12:35-12:55 **Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.** (ИНГГ СО РАН). Блоки и разломы, как важнейшие элементы структуры тектонических впадин Горного Алтая (по электромагнитным данным).
- 12:55-13:20 **Мельник Е.А., Оленченко В.В., Татаурова А.А., Елисеев А.А.** (ИНГГ СО РАН). Петрофизическая интерпретация структурных и вещественных особенностей грунтов по комплексу сейсмоплотностных и геоэлектрических данных.

Обед
14:00-15:00

Вечернее заседание

- 15:00-15:30 **Суворов В.Д.¹, Мельник Е.А.¹, Павлов Е.В.¹, Сальников А.С.²** (¹ИНГГ СО РАН, ²СНИИГГиМС). Структура верхней коры Забайкалья по сейсмогравитационным данным (профиль 1-СБ).
- 15:30-16:00 **Кочнев В.А., Поляков В.С.** (ИМВ СО РАН). Оценка достоверности результатов обработки сейсмических данных с использованием сейсмогравиметрической технологии.
- 16:00-16:20 **Сибиряков Е.Б.¹, Сибиряков Н.Е.²** (¹ИНГГ СО РАН, ²НГУ). Численное моделирование импульсного источника поперечных волн с использованием преграды.
- 16:20-16:40 **Колесников Ю.И.^{1,2}, Федин К.В.^{1,3}** (¹ИНГГ СО РАН, ²СФ ЕГС РАН, ³НГУ). Применение пассивных сейсмических методов при решении задач инженерной сейсмологии: физического моделирование и натурные эксперименты.
- 16:40-18:00 **Общая дискуссия.**

28 ИЮЛЯ
Экскурсионный день

ПРОЦЕССЫ КОЛЛИЗИИ И ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ

Добрецов Н.Л.¹, Буслов М.М.², Василевский А.Н.¹

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

В кайнозой структура Центрально-Азиатского складчатого пояса была интенсивно реактивирована с формированием внутриконтинентальных орогенов. В работах [Dobretsov et al., 1996; De Grave et al., 2004, 2006, 2007; Buslov et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012] показана роль эффекта дальнего распространения деформаций внутрь континента при взаимодействии крупных континентальных плит. Так, в результате коллизии Индийского континента с Евразией были сформированы современные горы Центральной Азии, а также сопутствующие им осадочные бассейны, сдвиго-надвиговые структуры и рифты. Древние тектонические структуры, а также наложенные кайнозойские деформации, отчетливо отображены на карте гравитационных аномалий Фая [Andersen et al., 2014]. Характеристика тектонических структур, полученная из распределения гравитационных аномалий, является принципиально важным аспектом исследований, позволяющим выявлять различные типы деформационных узоров (или деформационных решеток) [Добрецов и др., 2013], обусловленные наложением разновозрастных деформаций. В частности, выделяется зона кайнозойских деформаций, протягивающаяся от Байкала и примыкающих рифтовых впадин, до Джунгарской, Таримской и примыкающих впадин по обрамлению и внутри Тянь-Шаня. Зона молодых деформаций топографически выражена как система хребтов и впадин и обусловлена деформациями, распространяющимися в миоцене-плейстоцене (моложе 23 млн лет) от столкновения с Индией в результате последовательного поднятия Тибета и погружения Таримской микроплиты, поднятия Тянь-Шаня и погружения Джунгарского бассейна, поднятия Алтая, Восточного Саяна и Прибайкальских хребтов и возникновения здесь системы впадин типа пул-апарт [Добрецов и др., 1995; Dobretsov et al., 1996; De Grave et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012]. Во всей этой системе характерен ромбовидный узор ограничений поднятий и впадин, и в ряде случаев - ромбовидная внутренняя структура, а также максимальный перепад гравитационных аномалий от -300 до $+300$ в Тянь-Шане и его обрамлении и от -250 до $+200$ в обрамлении Байкала. Вне этой зоны в складчатом поясе наблюдаются овальные и извилистые узоры, обусловленные покровно-складчатой структурой, нарушенной более поздними сдвигами. Наиболее отчетливо этот деформационный узор наблюдается в Восточной Монголии, а также в Северо-Западной Монголии, Туве, Западном и Восточном Саяне.

Результаты тектонофизической реконструкции напряжений Тянь-Шаньской и Алтае-Саянской горных областей показали существенную неоднородность напряженного состояния, выражающую не только в изменчивости простирания и погружения главных осей тензора напряжений, определяющих изменение и геодинамического режима земной коры, но и в близком расположении областей повышенного и пониженного всестороннего тектонического давления по отношению к литостатическому давлению [Ребецкий и др., 2013, Ребецкий, Кузиков, 2016]. Отчетливо выделились области с извилисто-овальным и ромбовидными узорами, которые отражают, соответственно, покровно-складчатый и сдвиговый тип деформаций. Ромбовидный узор характерен для “жестких” структур

докембрийских микроконтинентов, когда как извилисто-овальный узор – для “мягких” палеозойско-мезозойских аккреционно-коллизионных структур, что характерно в целом для Центрально-Азиатского складчатого пояса [Добрецов и др., 2013]. Данная закономерность в корреляции с результатами пространственно-временного проявления землетрясений может быть использована в прогнозных целях.

Литература

1. Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика, 2011, т.52 (1), с. 66—90.
2. Буслов М.М. Геодинамическая природа Байкальской рифтовой зоны и ее осадочного выполнения в мел-кайнозойское время: эффект дальнего воздействия Монголо-Охотской и Индо-Евразийской коллизий // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (9), с. 1245—1255.
3. Буслов М.М., Кох Д.А., де Граве И. Мезозойско-кайнозойская тектоника и геодинамика Алтая, Тянь-Шаня и Северного Казахстана по результатам трекового датирования апатитов // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (9), с. 862—870.
4. Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры // Геология и геофизика, 1995, т. 36 (10), с. 5—19.
5. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Де Граве Й., Склярков Е.В. Взаимосвязи магматических, осадочных и аккреционно-коллизионных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении. *Геология и геофизика*, 2013, т. 54, № 10, с. 1451—1471.
6. Ребецкий Ю.Л., Кузиков С.И. Тектонофизическое районирование активных разломов северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 6, с. 1225-1250.
7. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области // Геология и геофизика, 2013, т. 54, № 2, с. 271-291.
8. Andersen, O.B., Knudsen, P., Kenyon, S., Holmes, S. (2014) Global and arctic marine gravity field from recent satellite altimetry (DTU13), 76th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2014: Experience the Energy - Incorporating SPE EUROPEC 2014, pp. 3049-3053.
9. Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A., Batalev V.Yu. Cenozoic tectonic and geodynamics in the Tian Shan: synthesis of geology and geophysical data // *J. Asian Earth Sci.*, 2007, v. 29, p. 205—214.
10. Dobretsov N.L., Buslov M.M., Delvaux D., Berzin N.A., Ermikov V.D. Meso- and Cenozoic tectonics of the Central Asian mountain belt: effects of lithospheric plate interaction and mantle plume // *Inter. Geol. Rev.*, 1996, v. 38, p. 430—466.
11. De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P. Intercontinental deformation in Central Asia: distant effects of India—Eurasia convergence revealed by apatite fission-track thermochronology // *Himalayan J. Sci.*, 2004, v. 21, № 41, p. 121—122.
12. De Grave J., Buslov M., Van Den Haute P., Metcalf J., Batalev V. From Palaeozoic Eurasian assembly to ongoing Indian indentation: multi-chronometry of the northern Kyrgyz Tien Shan batholith // *J. Asian Earth Sci.*, 2006, v. 26 (2), p. 133.

13. De Grave J., Buslov M.M., Van Den Haute P. Distant effects of India—Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental deformation in Central Asia: constraints from apatite fission-track thermochronology // *J. Asian Earth Sci.*, 2007, v. 29, p. 188—204.

О НИЖНЕМАНТИЙНОЙ КОНВЕКЦИИ И О РОЛИ МАЛЫХ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ МАССОВЫХ СИЛ В ГЕОДИНАМИКЕ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

Ребецкий Ю.Л.
ИФЗ РАН, г. Москва

Новые данные о строении нижней мантии [Murakami et al., 2004; Oganov, Ono, 2004], в которых было показано, что в ней наблюдается крупномасштабная латеральная зональность вещества – ULVP (ультранизкоскоростные провинции), заставляют по-новому подойти к проблеме термогравитационной конвекции. Из современной интерпретации новых данных о строении нижней мантии можно сделать вывод, что движения литосферных плит не связаны с температурным режимом в нижней мантии. Основным источником латеральных движений литосферных плит следует принять погружения холодных и тяжелых слэбов (table cloth – скатертная тектоника). Слэбы под действием силы тяжести опускаются в достаточно холодную нижнюю мантию, не вовлекая ее в нисходящее движение. Мантия выдавливается из-под слэбов вверх, создавая вокруг них ореолы пониженной скорости на томографических разрезах. Вероятно, перенос тепла в верхнюю мантию осуществляется по узким каналам за счет термохимических плюмов [Добрецов, 2010; Кирдяшкин и др., 2004]. Такой тип переноса холода и тепла в мантии *не приводит к перемешиванию нижней мантии*.

О том, что нижнемантийная конвекция может не существовать в том виде, как она рассчитана теоретиками, говорит и тот факт, что используемый в гравиметрии коэффициент динамического сжатия планеты, измеренный в шестидесятых годах прошлого века на основе прецессии орбиты спутников (1/305.51), оказался меньше, чем коэффициент сжатия геоида (1/298.26). С развитием GPS наблюдений стали доступны данные о глобальных высотах поверхности Земли с той же точностью, что и спутниковые измерения геоида (0.5 м). В результате было установлено [Ребецкий, 2016], что усредненные в масштабе 100-200 км равнинные части континентов и океанов отличаются по форме от геоида и в среднем отвечают полученным ранее данным о величине коэффициента динамического сжатия Земли. Это также (см. выше) говорит о том, что *вещество в нижней мантии не перемешивается* (нет конвекции) и поэтому форма Земли не подстроилась под сегодняшний потенциал силы тяжести.

Сделанный вывод о невозможности полномасштабной нижнемантийной конвекции требует нахождения источников сил,двигающих литосферные плиты. В работе [Ребецкий, 2016] предложено в качестве таких сил рассматривать малые тангенциальные массовые силы, возникающие из-за несовпадения усредненной поверхностной формы литосферных плит и геоида. Показано, что таких сил вполне достаточно, чтобы обеспечить движения плит со скоростями в первые сантиметры – десятки сантиметров по верхней мантии с вязкостью 10^{20} Па.

Литература

1. Добрецов Н.Л. Глобальная геодинамическая эволюция земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 6. С. 761-784.
2. Кирдяшкин А.А., Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Термохимические плюмы // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 9. С. 1057-1073.
3. Трубицын В.П., Рыков В.В. Мантийная конвекция с плавающими континентами // Проблемы глобальной
4. Oganov, A.R., Ono, S., 2004. Theoretical and experimental evidence for a post perovskite phase of MgSiO₃ in Earth's D'' layer. Nature 430, 445–448.
5. Murakami, M., Hirose, K., Kawamura, K., Sata, K., Ohishi, Y., 2004. Postperovskite phase transition in MgSiO₃. Science 304, 855–858.
6. Ребецкий Ю.Л. О Возможности существования в литосфере малых тангенциальных массовых сил. их роль в тектонике и геодинамике // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7, Вып. 4. С. 691-704.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ИНТЕГРО» КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ 3D ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Спиридонов В.А.
«ВНИИгеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва*

Решение геологических задач уже невозможно представить себе без использования геоинформационных технологий. При этом наиболее хорошо технологически обеспечена "картографическая" часть работ, те работы, которые связаны со сбором, увязкой и обработкой цифровых картографических материалов. Однако в задачах комплексного геологического моделирования большой объем исходной информации приходится на данные, имеющие третью координату "Z" - профили, скважины, пространственные модели и др., что требует от используемых технологий расширенных возможностей в части 3D представления и 3D анализа. Именно поэтому актуальными сегодня являются такие технологические решения, которые сочетают возможности картографической системы и аналитического пакета обработки и визуализации данных в задачах геологического моделирования.

Платформа ГИС ИНТЕГРО, разработанная во ВНИИгеосистем, представляет собой программно-технологический комплекс, способный обеспечить весь производственный цикл работ по подготовке данных и решению задач геологического моделирования [1]. В отличие от традиционных картографических пакетов программа обеспечивает возможность работы в многооконном режиме с синхронизацией изображений по плоскости и глубине. Для подготовки картографической базы геологических исследований в базовом пакете системы предусмотрены следующие возможности:

- *сборка ГИС-проекта* – загрузка шейп-файлов, баз пространственных данных (PostgreSQL), растров, импорт данных из EXCEL, ACCESS, DBASE, поддержка web-сервисов (WMS/WFS);
- *картографические работы* – привязка растров и векторных данных, перепроецирование «на ленту», библиотека проекций и датумов, динамические географическая и километровая сетки;
- *ввод и редактирование* – полуавтоматическая трассировка, режим одновременного совместного редактирования нескольких слоев с автоматической проверкой топологии и пр.;
- *пространственный анализ* – оверлейные операции, построение буферных зон, пространственное соединение и пр.;
- *оформление и печать* – динамические подписи и текстовые аннотации, библиотеки стилей (включая ЭБЗ), формирование компоновок с зарамочным оформлением и пр.

Наряду с подготовкой и визуализацией плоских картографических данных, в базовом пакете ИНТЕГРО обеспечена возможность загрузки и обработки любых данных по профилям и скважинам (включая специализированные форматы сейсмоки и каротажа) с их координатной привязкой по X, Y, Z, поддерживается работа с регулярными (грид) и нерегулярными сетями, а также трехмерная визуализация поверхностей, сечений и многомерных кубов данных.

Решение прикладных задач в ГИС ИНТЕГРО реализуется на базе прикладных интерфейсных блоков. Сегодня в состав тематических модулей входят блок создания карт геологического содержания и их подготовка к печати, блок решения прогнозных и диагностических задач, блок аналитической обработки геолого-

геофизической информации, и блок геологического моделирования. Блок геологического моделирования [2] включает набор аналитики и инструментов для реализации геологических моделей участков недр на базе всего комплекса имеющейся информации: геологических карт, данных по рельефу и геоморфологии территории, материалов геофизических съемок (потенциальных полей, сейсморазведки, геофизических исследований скважин), космоснимков, ретроспективных данных и моделей, собранных по исследуемым территориям в ходе ранее проведенных исследований. Инструментарий этого блока позволит решить следующие задачи трехмерного моделирования:

- построить геологический разрез по заданной линии (или систему разрезов по заданной сети линии) в полуавтоматическом режиме на основе геологической карты, рельефа и данных о мощности залегания пород [3];

- выполнить увязку данных по сети профилей (геологических, сейсмогеологических и пр.), а также провести заверку имеющихся данных по профилям, скважинам и геологическим поверхностям в режиме экспертного редактирования с синхронизацией профиля и карты и синхронизацией профилей между собой;

- построить структурные поверхности осадочного чехла на основе полученной согласованной системы разрезов и сведениям по выходам геологических подразделений на дневную поверхность с помощью широкого набора интерполяционных алгоритмов;

- визуализировать векторные карты, поверхности, разрезы, скважины в 3D, а также создать на их основе трехмерную модель - многомерный куб данных, описывающий возраст, плотность, вещественный состав пород осадочного чехла и другие характеристики в каждой кубической ячейке исследуемой территории [4]. Примером визуализации в ГИС ИНТЕГРО может служить проект исследования глубинного строения Приладожья, сцены из которого представлены на рисунке 1;

- с подключением инструментария блоков Геофизика и Прогноз (расчитать трехмерные модели избыточной плотности и эффективной намагниченности по гравимагнитным данным), провести комплексный анализ информации с выходом на петрофизические характеристики фундамента территории [5].

Разработка и апробация аналитического аппарата и интерфейсных инструментов ГИС ИНТЕГРО выполнялась на основе ряда научно-исследовательских проектов по геологическому изучению территорий Дальнего Востока, Центральной и Западной Сибири, Прикаспия, Волго-Уральской и Тимано-Печорской НГП и др.

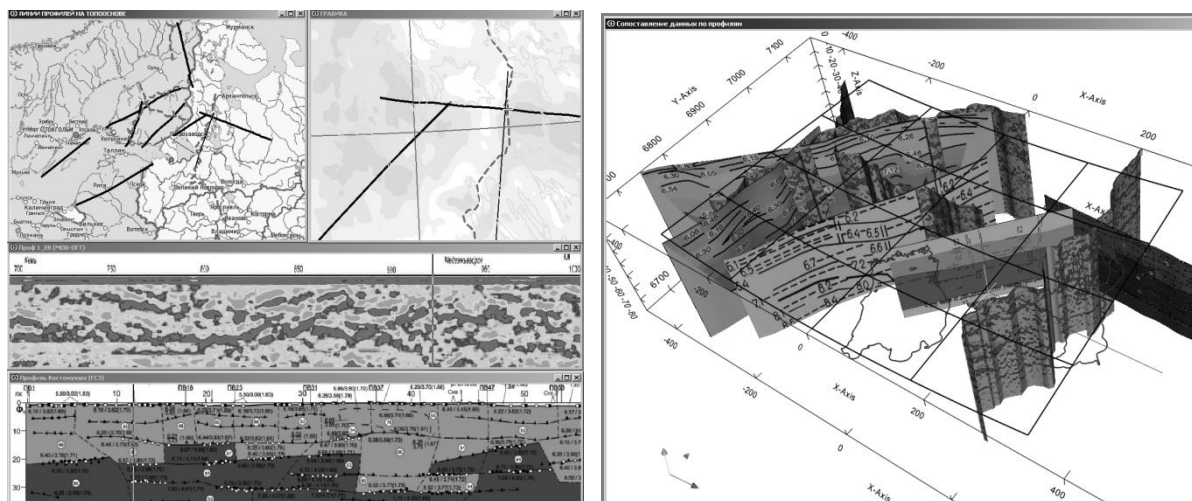


Рис.1. Отображение собранной информации в 2D и 3D сценах ГИС проекта.

Fig.1. Visualization of source data in 2D и 3D Scenes of GIS INTEGRO

Литература

1. Черемисина Е.Н. и др. Создание Государственных геологических карт на базе ГИС INTEGRO. Методические рекомендации. // МПР, ГНЦ ВНИИгеосистем. М. 2001. 208 с.
2. Финкельштейн М.Я., Спиридонов В.А. Геологическое картопостроение и трехмерное геологическое моделирование с использованием ГИС ИНТЕГРО. // XIIth International Conference on Geoinformatics, Kiev, Ukraine. 2013. Theoretical and Applied Aspects.
3. Финкельштейн М.Я., Спиридонов В.А. Автоматизированное построение геологических разрезов в среде ГИС INTEGRO. // Геоинформатика: журнал. М. 2013. №2.
4. Пиманова Н.Н., Бисеркин И.А., Деев К.В. Технология построения 3D сеточных плотностных моделей в среде ГИС INTEGRO. // Геоинформатика: журнал. М. 2013. №4.
5. Гришина И.Л., Малинина С.С. Технология построения согласованных 2D и 3D магнито-плотностных моделей земной коры в среде ГИС INTEGRO. // Геоинформатика: журнал. М. 2015. №3.

**РАЗЛОМЫ И ТРЕЩИНЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ:
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ, ЧИСЛЕННЫЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ПОДХОДЫ**

Шеменда А.И.

Университет Ницца – София Антиполис, Geoazur, Франция

e-mail: chem@geoazur.unice.fr

Результаты геомеханического анализа/моделирования трещино- и разломообразования могут иметь предсказательную силу только при условии адекватного описания свойств геосреды. По мере углубления экспериментальных исследований, эти свойства представляются все более сложными, а механизмы разрушения – все более многообразными. Например, давно известно, что свойства пород и режимы их разрушения очень чувствительны к среднему давлению σ_m , но только недавно стало понятным, что основным механизмом разрушения при любых (не очень маленьких) σ_m , является локализация деформации (constitutive instability), приводящая к образованию полос локализации деформации разных типов. Тип зависит от фактора дилатанции, который, в свою очередь, сильно зависит от σ_m . При больших σ_m , образуется чисто компакционные полосы, сравнительно недавно открытые полевыми исследованиями. Механизм их образования все еще остается предметом активного изучения (e.g., Chemenda, *JMPS*, 2009; Stefanov et al., *JMPS*, 2011). Совсем недавно, экспериментально были получены чисто дилатанционные полосы (антиподы компакционных полос) (Chemenda et al., *JGR*, 2011), которые быстро эволюционируют в поверхности нарушения сплошности, по всем характеристикам соответствующие самому распространенному типу трещин в верхней коре, joints. Прежде, они считались результатом Mode I cracknig. Дилатанционные полосы играют важную роль при гидроразрыве. Сдвиговые трещины, считавшиеся Mode II трещинами, согласно недавним экспериментальным исследованиям, образуются в результате развития сдвигово-дилатанционных полос. Учет новых представлений о трещинообразовании радикально меняет выводы о тектоно-механическом состоянии и эволюции коллекторов (Chemenda et al., *AAPG Bull.*, submitted).

Разломы в целом, и в осадочном чехле (пористой среде) в особенности, являются результатом развития и взаимодействия систем полос локализации. Даже хорошо сформированный (локализованный) разлом представляет собой более или менее широкую зону сложных неупругих нарушений (деформаций). В простейших случаях, эта зона с сильно уменьшенной (или вообще отсутствующей) пористостью, состоит из большого числа плотно расположенных квази-параллельных катакластических полос локализации, испытавших большую неупругую деформацию (damage). Такие структуры задокументированы в поле (Philit, Soliva, Ballas, Chemenda et al., *GSA Bull.*, submitted) и были получены на экспериментальных моделях (Huyen, Bouissou, Chemenda et al., *IJRMMS*, submitted). Для численного моделирования этих структур, определяющие уравнения должны правильно учитывать изменение свойств среды в процессе деформирования (разломообразования). Недавние детальные экспериментальные исследования и теоретический анализ их результатов, позволили сформулировать соответствующие механические модели и установить связь между эволюцией таких параметров, как коэффициент внутреннего трения и дилатанции в процессе деформирования (Mas, Chemenda, *IJRMMS*, 2015). Учет этих результатов в

численном моделировании позволил получить утолщающиеся разломы (Chemenda et al., *Tectonophys.* 2012) и, совсем недавно, воспроизвести мульти-полосную структуру разломов, типичных для пористых песчанников.

Современное состояние понимания (описания) неупругих свойств геосреды вместе с растущей производительностью вычислений, делают численное моделирование мощным предсказательным инструментом во многих приложениях, включая геомеханику коллекторов. В случаях сложного напряженного состояния, это описание является недостаточным, и требует учета зависимости свойств среды от условий нагружения, определяемых третьим инвариантом тензора напряжений. Это представляет перспективное направление современных геомеханических исследований (Chemenda, Mas, *JMPS*, 2016).

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЯ ПО ДАННЫМ АДСОРБЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

Назарова Л.А.¹, Назаров Л.А.¹, Вандамм М.², Перейра Ж.-М.³

¹ИГД СО РАН, г. Новосибирск; ²Universite Paris-Est, Marne-la-Vallee

Определение газодинамических параметров угольных пластов по результатам натуральных измерений дебита скважин, выбор оптимальных схем дегазации подготавливаемых к выемке участков угольной залежи, предварительная оценка сорбционной способности углей при закачке газообразных отходов производства в природные пласты для улучшения экологической обстановки – вот далеко не полный перечень задач, при решении которых необходимо знать механические свойства углепородных массивов. Использование для этих целей данных стандартных лабораторных экспериментов затруднительно вследствие блочно-иерархической структуры массива горных пород, когда, например, фильтрационные свойства блоков и межблочных нарушений (трещин) могут различаться на порядки. В настоящей работе предложен метод интерпретации данных адсорбционных испытаний образцов угля [1], позволяющий определить упругие модули и проницаемость их матрицы.

К цилиндрическому образцу (диаметр D , высота H), помещенному в герметичную камеру, прикладывались одинаковые осевое и радиальное напряжения, затем в камере создавалось постоянное давление газа (диоксид углерода), инициирующее процесс адсорбции. Измерялись относительное изменение высоты $U_z(t) = \Delta H(t)/H$ и диаметра $U_r(t) = \Delta D(t)/D$ образца. Оказалось, что со временем U_z и U_r достигают стационарных значений U_z^* и U_r^* , причем $U_r^* < U_z^*$, что свидетельствует об анизотропии деформационных свойств вещества (матрицы) образца.

С использованием уравнений состояния ортотропных сред, описывающих порупругое деформирование угля [2], создана геомеханическая модель эксперимента [1]. Для ее реализации разработан численно-аналитический метод, основанный на покоординатном осреднении определяющей 2D системы уравнений, который расщепляет последнюю на два одномерных обыкновенных дифференциальных уравнения, разрешимых в квадратурах. В рамках построенной модели адсорбционного деформирования образцов горных пород сформулирована коэффициентная обратная задача определения модулей Юнга E_z , E_r и проницаемости K матрицы. Численные эксперименты показали, что введенная целевая функция $\Psi(E_r, E_z, K)$ (среднее квадратичное отклонение расчетных и измеренных U_r , U_z) единственный минимум (E_r^m, E_z^m, K^m) , доставляющий решение обратной задачи. Сравнение найденных значений упругих модулей и проницаемости матрицы с лабораторными данными [1], показало, что величины E_r^m и E_z^m практически втрое больше, а K^m на три порядка меньше соответствующих характеристик для испытанного образца. Это объясняется высокой природной трещиноватостью последнего.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 15-55-15046) в рамках соглашения РФФИ-CNRF (Projet International de Cooperation Scientifique PICS06582).

Литература

1. Espinoza, D.N., Vandamme, M., Pereira, J.-M. et. al. Measurement and modeling of adsorptive–poromechanical properties of bituminous coal cores exposed to CO₂:

Adsorption, swelling strains, swelling stresses and impact on fracture permeability. *Int. J. of Coal Geology*. 2014. V. 134–135. P. 80–95.

2. Espinoza, D.N., Vandamme, M., Dangla, P., Pereira, J.-M., Vidal-Gilbert, S. A transvers isotroic model for microporous solids - application to coal matrix adsorption and swelling. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2013. V. 118. P. 6113–6123.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН И ИНИЦИАЦИЯ ТРЕЩИН ГРП В ПОРОДАХ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Стефанов Ю.П.^{1,2}, Бакеев Р.А.^{1,2}, Мясников А.В.³
¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск;
³Сколтех, г. Сколково
e-mail: yu_st@mail.ru, A.Myasnikov@skoltech.ru

Для разработки месторождений углеводородов в баженовской свиты применяется технология бурения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта. Бурение горизонтальной скважины и добыча углеводородов в условиях сложного естественного напряженно-деформированного состояния породы приводит к развитию упругопластической деформации и формированию зон разрушения в прискваженной зоне, а также к изменению порового давления и фильтрационных свойств в пористой среде. В связи с этим актуальным становится изучение характера развития неупругой деформации вокруг скважин, а также проблемы сохранения целостности ствола скважин.

Пластическое состояние среды возможно и в нетронутой среде с низкой сдвиговой прочностью, чему способствует неоднородность механических свойств и наличие пропластков с высоким содержанием глины и керогена. В процессе бурения и эксплуатации происходит развитие зон необратимой деформации, изменение их формы и размеров. Понимание структуры и закономерностей формирования таких нарушений важно для выбора оптимальных режимов эксплуатации, а также для обеспечения безопасности и устойчивости скважин. Правильно рассчитанные плотность и давление бурового раствора обеспечивает устойчивости ствола, а направленная инициация развития необратимых деформаций в ряде случаев позволяет повысить эффективность добычи.

В работе рассмотрены сценарии развития деформации и разрушения пород баженовской свиты в окрестности скважины в зависимости от начального напряженного состояния и свойств среды, а также ориентации ствола скважины относительно направлений главных осей напряжений. Получены оценки мест инициации и ориентации трещин гидроразрыва при наличии зон пластической деформации вокруг не обсаженной скважины. Изучение процессов осуществлялось путем численного моделирования в двух и трехмерной постановках.

О ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Митрофанов Г.М.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Современная геофизика хорошо усвоила существование проблемы единственности решения обратных задач. При этом могут быть использованы самые различные преобразования исходных данных, регуляризирующие наблюдаемое волновое поле. Но это не только не снижает уровень неединственности интерпретационного решения обратной задачи, а часто повышает его. Хотя с формальной (математической) позиции могут быть доказаны и единственность, и устойчивость решения задачи. Ярким примером служит обработка и интерпретация сейсмических данных в рамках горизонтально-слоистой модели среды. Кроме внутренней неединственности, присущей моделям сейсмических сред, при работе с реальными данными проявляется и еще одна проблема, связанная с отсутствием полного контроля источников и приемников колебаний. Она ухудшает ситуацию с получением единственного решения обратной задачи. Достаточно очевидным способом устранения общих проблем неединственности является привлечение дополнительной априорной информации, относящейся, как модельным построениям, так и к калибровке реальных источников и приемников. Но такой способ часто требует существенного увеличения финансирования работ, поэтому приводит к задачам оптимизации априорной информации. Понимая всю сложность указанных проблем, в настоящем докладе автор стремился только начать их обсуждение с вопросов коррекции формы сейсмического сигнала, которые являются актуальными уже более пятидесяти лет.

Соответствующие исследования инициировались изучением влияния изменений времен прихода и амплитуд сейсмических сигналов при их определении и корреляции в регистрируемом волновом поле. Особую роль они начали играть при использовании алгоритмов и программ выделения сигналов посредством процедур направленного суммирования, для которых критической является величина изменений времен суммируемых сигналов. В силу того, что выделяемые сигналы и их параметры служат основой для интерпретации сейсмических данных, вопросам коррекции временных статических поправок уделялось значительное внимание. Существенные результаты, полученные в области коррекции временных статических поправок, сыграли значительную роль в прогрессе и достижениях достигнутых при построении геометрических образов среды и решении обратных кинематических задач. Вероятно, меньшее влияние изменений амплитуд на качество выделения сигнальных составляющих при использовании процедур направленного суммирования, понизило актуальность проблемы коррекции динамических параметров. К этим параметрам относятся и широко используемые в практике геофизических исследований: энергия, амплитуда и спектр реального сейсмического сигнала. Возрастающий интерес к динамическим особенностям наблюдаемых волновых полей, определяющийся пониманием их важности для повышения точности характеристик изучаемых пород, должен повысить значимость исследований динамических параметров. Именно желание понять особенности изменений динамических параметров реальных сейсмических сигналов способствовало проведению настоящих исследований. В качестве объекта

здесь были выбраны импульсы, наблюдаемые в процессе проведения морских сейсмических работ. Их большая простота и контролируемость по сравнению наземными аналогами повышает достоверность получаемых результатов.

ПЕРКОЛЯЦИЯ И ПРОНИЦАЕМОСТЬ ТРЕЩИНОВАТЫХ СРЕДАХ И ПРОГНОЗ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНУ

Сибиряков Б.П.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Объёмная сила, увлекающая флюид из пласта в скважину, либо, наоборот, из скважины в пласт, есть градиент давления в жидкой фазе, притом, на больших расстояниях от скважины этот градиент равен нулю. Сила, препятствующая протеканию жидкости, есть сила трения вязких частиц друг относительно друга. Проблема в том, что природа сил трения обусловлена поверхностями пор и трещин, но не их объёмами. Иными словами, сила трения есть поверхностная сила, а не объёмная. В уравнения движения необходимо включить объёмный аналог силы трения, который есть просто произведение поверхностной силы трения на удельную поверхность пор и трещин. Таким образом, от модели сплошной среды приходится отказываться с самого начала. Если решена предварительная задача о разрыве давлений на границе скелет-флюид, то баланс упомянутых сил означает постоянную скорость течения флюида.

Более детальное рассмотрение этого вопроса приводит к простым интегралам уравнения движения и вычислению скорости истечения флюида. При этом роль проницаемости играет отношение куба пористости к квадрату удельной поверхности, что и даёт несколько странную размерность проницаемости в квадратных сантиметрах. Для некоторых пористых сред теоретические формулы для проницаемости хорошо согласуются с эмпирическими зависимостями без каких-либо неопределённых констант.

Закон Дарси может выполняться в отдельных случаях, но в большинстве случаев он не выполняется. Выполнение или отсутствие закона Дарси есть результат решения задачи, но никак не необходимый элемент постановки задачи истечения.

ИЗУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДОМ AVOA ИНВЕРСИИ PP-ОТРАЖЕНИЙ

*Нефедкина Т.В., Лыхин П.А.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Актуальность изучения анизотропии упругих свойств горных пород связана с необходимостью исследования трещиноватых сред, которые часто являются коллекторами нефти и газа. Система вертикальных азимутально-ориентированных трещин может быть представлена трансверсально-изотропной средой с горизонтальной осью симметрии (НТИ). В основе традиционного метода AVOA-анализа лежат линейризованные аппроксимации уравнения Рюгера [1] для плоскостного коэффициента отражения продольной волны на границе изотропного и анизотропного (НТИ) полупространств. В работе [2] было проведено исследование условий, при которых аппроксимации Рюгера являются правомерными. В ней было показано, что аппроксимационные формулы годятся для AVOA инверсии (с определением всех упругих параметров анизотропной среды) только в случае слабой анизотропии при перепаде упругих параметров на границе $\leq 10\%$. Азимут оси симметрии определяется достаточно точно и при большей контрастности отражающей границы. Для AVOA инверсии в анизотропных средах с контрастными границами в ИНГГ был разработан нелинейный оптимизационный алгоритм.

В нашем подходе решение обратной задачи осуществляется в два этапа: на первом этапе на малых удалениях от источника используется линейная (двухчленная) аппроксимация Рюгера и методом наименьших квадратов (МНК) определяется азимут оси симметрии φ_0 (или ортогональное к оси направление трещин); на втором этапе на полной базе наблюдений нелинейным оптимизационным методом рассчитываются упругие параметры V_p , V_s и ρ , а также параметры анизотропии Томсена $\varepsilon^{(v)}$, $\delta^{(v)}$ и γ для анизотропного слоя. Тестирование алгоритмов проводилось на модельных данных для целевого карбонатного комплекса Верхнечонского нефтяного месторождения в Восточной Сибири.

Модельными данными являлись теоретические коэффициенты отражения от кровли и подошвы анизотропного слоя, представленного трещиноватыми доломитами. Расчеты коэффициентов отражения Р-волн выполнены на основе теории лучевого метода в анизотропных средах. Для изучения помехоустойчивости алгоритмов AVOA инверсии на теоретические значения коэффициентов отражения накладывался случайный шум, имеющий нормальное распределение и составляющий 10% от среднего уровня коэффициента отражения на базе наблюдения. Нелинейная AVOA инверсия выполнена оптимизационным методом Нелдера-Мида.

В результате исследования новой методики AVOA инверсии, позволяющей изучать анизотропные свойства среды по отражениям от контрастных границ, были получены следующие результаты. Без случайных помех: скоростные параметры, плотность и все параметры анизотропии определяются практически точно. В случае 10% шума: ошибка определения азимута оси симметрии составляет 1-2°; ошибка определения скоростей и плотности не превышает 5%; параметры анизотропии Томсена, по которым может быть вычислена плотность трещин, определяются с удовлетворительной точностью.

Литература

1. Ruger A. Reflection Coefficients and Azimuthal AVO Analysis in Anisotropic Media: Society of Exploration Geophysics, 2001. 185 с.
2. Нефедкина Т.В., Лыхин П.А. Применимость линеаризованных аппроксимаций коэффициента отражения продольных волн для азимутального анализа амплитуд РР отражений в анизотропных средах // Технологии сейсморазведки. 2016. № 4. С. 21-32.

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ НЕОДНОРОДНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ МОВ

*Горелик Г.Д., Сысоев А.П.
СПГУ, г. Санкт-Петербург*

Алгоритмы обработки данных метода отраженных волн основываются на гиперболическом описании годографов отраженных волн вертикально однородной модели среды, полученных в предположении, что наблюдения выполнены на горизонтальной плоскости. Поэтому при обработке данных наземных сейсморазведочных работ требуется выполнить пересчет волнового поля с линии наблюдения на горизонтальную линию приведения (ЛП). Корректность выполнения этой процедуры определяет достоверность получаемых в процессе обработки кинематических параметров отраженных волн.

В задаче пересчета волнового поля необходимо установить соответствие между временами годографов отраженных волн, определенных от линии наблюдения и линии приведения. Задача описывается двухслойной моделью среды [1], где границы слоев определяются линией наблюдения, приведения и отражающей границей (рис.1). Здесь τ, v_1 – временная мощность и скорость верхней части разреза (ВЧР), t_0, v_0 – вертикальное время и скорость отраженной волны от ЛП, $t_0 + \tau, v_r$ – вертикальное время и скорость волны от линии наблюдения. Кинематические параметры, определяющие модель среды, можно объединить уравнением среднеквадратичной скорости Урупова-Дикса:

$$v_r^2(t_0 + \tau) = v_0^2 t_0 + v_1^2 \tau \quad (1)$$

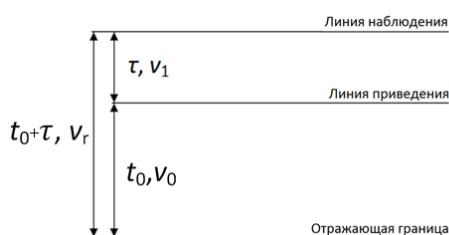


Рис.1. Модель среды

В приведенном уравнении соответствие времен годографов на линии наблюдения и приведения установлено через соответствие кинематических параметров.

При пересчете волнового поля статическими поправками предполагается, что сейсмические лучи в области ВЧР распространяются по вертикали. Это условие выполняется при малых удалениях источник-приемник, а в общем случае при большом перепаде скоростей на подошве ВЧР. Тогда $v_1^2 \tau \rightarrow 0$ и параметры годографов отражений от линии приведения и наблюдения связаны уравнением

$$v_r^2(t_0 + \tau) = v_0^2 t_0. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) определяют два типа асимптотики. Уравнение (1) точно определяет соотношение эффективных скоростей отраженных волн (v_r, v_0) при $v_1 \rightarrow v_0$, уравнение (2) получено при условии $v_1 \rightarrow 0$. В реальной ситуации этим асимптотикам удовлетворяют два типа неоднородности: зона малых скоростей и переменный рельеф поверхности, описывающей кровлю коренных отложений. Соответственно, способы решения задачи пересчета волнового поля должны определяться с учетом конкретной геологической ситуации.

Литература

1. Сысоев А.П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2011, 90 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЛАТАЦИИ В ОБЪЕМЕ СРЕДЫ ПО ЗАДАНЫМ СМЕЩЕНИЯМ НА ГРАНИЦАХ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНЫХ БЛУЖДАНИЙ

Хогоева Е.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Информация о распределении давлений в земной коре является критически важной при бурении скважин. Однако она также может быть использована и для поиска перспективных коллекторов. Так, наряду со структурными особенностями типа антиклинали, зоны пониженных давлений представляют собой потенциальный вторичный коллектор углеводородов.

Одной из причин понижения давления является боковое растяжение. В данной работе рассчитывается методом случайных блужданий [2] дилатация в объеме среды в предположении малости горизонтальных компонент напряжений.

Дилатация рассчитывалась для двухслойной среды с границей в виде антиклинали, и соответствующими смещениями на ней. На первом этапе заданные на границе смещения гармонически продолжены в объем среды. Пользуясь предположением линейной теории упругости, считаем, что напряжения пропорциональны деформациям. На втором этапе по имеющимся напряжениям с помощью уравнения Лихтенштейна [1] рассчитывается дилатация во всем пространстве.

В результате расчетов было получено распределение дилатации в среде с границей в виде антиклинали.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-05-04165-а.

Литература

1. Новацкий Теория упругости М.: Мир, 1975. 872 с.
2. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло М.: Физматлит, 1973. 312 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ СРЕДАХ – ПРОЯВЛЕНИЕ СВЯЗНОСТИ ТРЕЩИН В СЕЙСМИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

*Новиков М.А., Лисица В.В.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Распространение сейсмических волн в среде с системой трещин, заполненных высокопористым флюидонасыщенным материалом, приводит к возникновению потоков флюидов, известных как WIFF (wave-induced fluid flow) [0]. Выделяют два типа WIFF: между материалом трещин и вмещающей средой и между соединенными трещинами. Первый тип оказывает наибольшее влияние на сейсмический сигнал в низкочастотном диапазоне и характеризуется контрастностью транспортных свойств материала трещин и вмещающей породы, второй тип вызывается высокочастотными колебаниями и характеризуется геометрией трещин, их ориентацией и связностью. В настоящее время исследования WIFF проводятся либо на теоретическом уровне, либо с использованием результатов численных экспериментов в квазистатической постановке. В последнем случае не учитываются динамические эффекты, такие как рассеяние.

Для численного решения задачи распространения волны в пороупругой флюидонасыщенной среде, содержащей систему неоднородностей, построена и реализована явная условно-устойчивая конечно-разностная схема второго порядка по времени и пространству на разнесенной сетке, аппроксимирующая динамическую систему уравнений Био.

В ходе работы проведен ряд численных экспериментов в диапазоне частот от 250 Гц до 10 кГц. Исследовано влияние ориентации и связности трещин, а также проницаемости материала, заполняющего их, на поглощение сейсмической энергии, проходящей через систему трещин волны. По полученным волновым полям построены фазовая скорость продольной волны и ее затухание в зависимости от частоты. Проведено сравнение результатов с оценками, основанными на решении задачи в квазистатической постановке. Показано, что на относительно низких частотах полученное затухание, вызванное потоками флюидов между материалом трещин и вмещающей средой, сравнимо в обоих постановках. На высоких частотах основным фактором, определяющим интенсивность поглощения сейсмической энергии, является рассеяние, чего нельзя увидеть в результатах, полученных решением задачи в квазистатической постановке.

Работа поддержана грантами РФФИ № 16-05-00800. Расчеты проводились на кластере НВС-30К Сибирского суперкомпьютерного центра и на кластере «Ломоносов» МГУ.

Литература

1. Rubino J. G., Muller T. M., Guarracino L., Milani M., Holiger K. Seismoacoustic signatures of fracture connectivity // J. G. Rubino, T. M. Muller, L. Guarracino et al., Geophys. Res. Solid Earth. – 2014. – V. 119. – P. 2252-2271.

ГЛУБИННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОВЗ В СРЕДНЕ-СЫРДАРЬИНСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Шелехова О.Х., Ларина Т.Г.

ИГИ МЭ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

В 2015 - 2017 гг. на территории Южного Казахстана проводились комплексные сейсмические исследования МОВЗ-ОГТ вдоль региональных профилей с целью изучения глубинного строения геологической среды. Институт геофизических исследований в этих работах отвечал за реализацию метода обменных волн землетрясений. Точки наблюдения (сейсмические станции) были выставлены вдоль криволинейного профиля длиной 219 км с шагом 3 км. Выполнялась трехкомпонентная регистрация сейсмических сигналов в частотном диапазоне от 30 сек до 50 Гц. Обработка данных проводилась по классической методике – для удаленных землетрясений с импульсной формой первого вступления Р-волны определялось время запаздывания обменных фаз PS на горизонтальных компонентах. Глубина до точки обмена определялась с учетом сейсмического сноса по формуле Хасегава. Информация о скорости Р- и S-волн в вышележащих слоях, необходимая для расчетов МОВЗ, была получена по архивным данным. Результатом работ явилась структурная модель до глубины 50 км с выделением в ней обменобразующих границ на разных глубинных уровнях. Граница Мохо на изучаемом участке залегает на глубине порядка 42 км.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРСТОВОГО ПРОВАЛА И АНАЛИЗ СОПУТСТВУЮЩЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Стефанов Ю.П.^{1,2}, Бакеев Р.А.^{1,2}, Дучков А.А.¹, Мясников А.В.³

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

³Сколтех, г. Сколково

e-mail: bakeev@ispms.ru, yu_st@mail.ru

Чаще всего карстовые явления проявляются в виде медленных проседаний со скоростью до нескольких миллиметров в год, хотя нередко карстовые деформации имеют катастрофический характер – провалы. Важным является не только определение размеров и положения карстовых полостей, но и оценка несущей способности массивов карстующихся горных пород, расчет прочности во времени – насколько эксплуатационные свойства грунтов будут соответствовать заданным характеристикам в течение определенного времени.

В работе получены оценки характера разрушения и образования карстового провала в зависимости от свойств пород и рассмотрена возможность применения геофизических методов регистрации и анализа акустической эмиссии с целью мониторинга и прогноза состояния среды.

Задача о деформации осадочного чехла над растущей карстовой полостью решена на основе упругопластической модели Друккера-Прагера-Николаевского и уравнения накопления повреждений. Для моделирования развития карстовой деформации было проведено численное моделирование процесса роста полости на глубине. Заданная кинетика накопления повреждений позволяет описать медленные процессы деградации прочности среды под действием напряжений, величина которых мала для развития неупругих деформаций. Результаты моделирования показали, что параметры деградации прочности геосреды существенно влияют как на форму образующихся структур разрушений – размер блоков, угол наклона трещин и ширину карстового провала, так и на время обрушения слоя геосреды над карстовой полостью. Трещиноватая, насыщенная дефектами среда склонна к быстрому разрушению, в ней формируется узкий вертикальный провал, в более прочной на начальном этапе среде формируется широкий провал.

Проведен анализ акустической эмиссии, вызванной разрушением в среде. Рассмотрены стадии развития карста на основе распределения разрушения во времени. Наблюдается взаимосвязь между интенсивностью разрушения и амплитудой сейсмических колебаний.

ВЛИЯНИЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ВАСЮГАНСКОГО ГОРИЗОНТА НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА Ю1 ТРАЙГОРОДСКО-КОНДАКОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Кулькова С.М., Кульков А.С., Вологодина И.В.
ТГУ, г. Томск*

Фильтрационно-емкостные свойства песчаников формируются под влиянием многих факторов: вещественного и гранулометрического состава, структуры порового пространства, характера цементации и степени постседиментационных (эпигенетических) преобразований пород, фациальных условий формирования пород. Все эти факторы по-разному влияют на коллекторские свойства пород, одни улучшают эти свойства, другие, наоборот, ведут к уменьшению значений пористости и проницаемости.

Рассмотрены структура и морфология порового пространства, состав и структура, изучен характер изменения обломочной части песчаных пород юрского возраста васюганского горизонта, в пределах пласта Ю₁ Трайгородско-Кондаковского нефтяного месторождения (Томская область) в разрезе скважины 7Р.

В песчаниках пласта выделено два петротипа – кварцевые граувакки и мезомиктовые песчаники. Показано, что для песчаников характерно невысокое содержание полевых шпатов, которое может быть связано с процессами их растворения и глинизации. В песчаниках выявлены процессы интенсивной каолинитизации, что выражается как в развитии порового каолинитового цемента, так и в практически полном замещении обломочных зерен полевых шпатов каолинитом. Для рассмотренных пород характерно наличие нескольких зон карбонатизации и развитие гидрослюдистого, хлоритового, кварцевого регенерационного цемента. В песчаниках преобладают вторичные поры растворения и межкристаллитные поры малой размерности. Первичные седиментогенные поры практически не встречаются. Данные преобразования пород возникли преимущественно на поздней катагенетической стадии, что существенно повлияло на формирование порового пространства пород. Породы пласта отличаются низкими значениями проницаемости и средними значениями пористости.

Полученные результаты способствуют более полной и всесторонней интерпретации имеющихся данных, оптимальной оценки пород-коллекторов, что в свою очередь позволит правильно подбирать технологии разработки продуктивных отложений.

ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ПО РАЗЛОМУ В РАМКАХ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТИПА RATE-STATE

Рига В.Ю.¹, Турунтаев С.Б.^{1,2}, Остапчук А.А.²

¹ВНИИА, г. Москва; ²ИДГ РАН, г. Москва

Модель трения типа rate-and-state является одной из самых используемых при моделировании сейсмичности вызванной подвижками вдоль разломных структур. В работе предлагается 2-х параметрический закон трения, который позволяет описывать сложное хаотическое движение блоковых систем. В работе рассмотрена блочно-пружинная модель с двухпараметрическим законом трения, проведена ее верификация на основе лабораторных экспериментов, получены характерные значения параметров трения. Основываясь на полученных значениях параметров модели трения, авторами проведено исследование влияния закачки жидкости в пороупругой среде на подвижки на разломе. Выявлено влияние параметров закачки на интенсивность подвижек. Данная задача рассмотрена в связанной и несвязанной постановки. В расчетах реализованы различные режимы сдвигового деформирования – от динамически срывов до стабильного скольжения. Данные результаты получены в рамках непрерывной модели в предположении однородной упругой среды.

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Ребецкий Ю.Л.¹, Абузар Гараванд²

¹ИФЗ РАН, г. Москва; ²РГУ нефти и газа (НИУ), г. Москва

Рассматривается классическая проблема устойчивости стенок скважин, в упругой и упруго-пластической постановках с применением аналитических методов расчета напряжений. Установлено, что на характер решения для определения значений давления бурового раствора влияет реализуемый в породах геодинамический тип напряженного состояния. Выполнен анализ причин, когда стандартный подход определения величины давления бурового раствора для глубинных слоев не обеспечивает устойчивость стенок. Показано, что наличие в массивах трещиноватости различного генезиса приводит к возможности локального вывала в скважину. Предложено при построении алгоритма расчета использовать модель среды, допускающей наличие разноориентированных трещин и дефектов прочности, разного генезиса. Приведены примеры расчета устойчивости стенок скважины. Предложены критерии выделения не только участка стенок с трещинами сдвига, но и зоны отрывных нарушений на основе данных о виде тензора напряжений.

**МАЛЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И ПРОГНОЗ ДИЛАТАЦИИ (ДАВЛЕНИЯ) В
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОЛЬКО ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН**

*Сибиряков Б.П., Хогоева Е.Е.
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*

Традиционно в механике уравнения равновесия не принимают во внимание силу тяжести. Это связано с малостью веса образца по сравнению с приложенной на него нагрузкой. В геологических проблемах это обстоятельство имеет первостепенное значение. Кроме того, наличие силы тяжести порождает характерный линейный размер, который отсутствует в обычной механике. Этот размер есть отношение скорости сейсмических волн к ускорению свободного падения. Он составляет сотни километров, и с этой точки зрения многие геологические структуры являются достаточно малыми геологическими объектами.

Фундаментальные решения уравнений равновесия с учётом силы тяжести, т.е. интегралы Пуассона, достаточно просты для вычисления дилатации (и давления) так как не содержат ориентации вектора нормали к поверхности структуры, и достаточно просто преобразуются из объёмных интегралов в интегралы по поверхности подошвы структуры. Что касается общего решения, то оно (для малых объектов), может быть представлено как решение для несжимаемого тела, лишённого силы тяжести. Тем самым, довольно сложная проблема вычисления тензоров напряжений и деформаций распадается на две гораздо более простые задачи. Во-первых, простое вычисление кубатурных интегралов, вызванных структурой, а после этого решение довольно простых эллиптических задач с граничными условиями типа Дирихле и Неймана. При этом, прогноз дилатаций требует знания лишь скоростей продольных волн. Дальнейшие вычисления других элементов напряжённого состояния требуют также и скоростей поперечных волн. Но расчёты показывают, что поле дилатации (и давления) является гораздо более простым и надёжным, чем общее решение проблемы, так что последовательное определение элементов напряжённого состояния гораздо проще и надёжнее, чем общее решение задачи, изображение шестимерного пространства и затем извлечение из него простых следствий.

О ФОРМИРОВАНИИ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ШАРЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРИЛИВНЫХ СИЛ

*Кочнев В.А., Александровский Д.А.
ИВМ СО РАН, г. Красноярск*

Проблема обозначена давно в разных постановках И Ньютоном, Лапласом, Эйлером и другими учёными. Среди значимых исследований - работы Мельхиора [1], Ревуженко [2], Бутикова [3]. В них освещён широкий спектр результатов: математических моделей и интерпретации данных систем наблюдений уровней гравитационных волн, поверхности земной коры и океана. Наш интерес к этой теме обусловлен поиском природных механизмов, вызывающих движение жидкости как на поверхности, так и в ядре.

Следует заметить, что без учета гравитационного влияния внешних тел авторам различных моделей геодинамо не удавалось получить модели достаточно достоверной для того, чтобы стать общепринятой. Вот, что по этому поводу написал Моффат [4]: «... нам пока не известно, что в конечном счете является источником энергии для основных движений диска земного Динамо». Таким образом, поиск главного источника движения жидкости в ядре является главной проблемой, как для планет, так и для Солнца.

В работах Кочнева 2011-2016 гг. [5-6] приводятся результаты, указывающие на линейную связь расчетных приливных сил и интенсивности магнитного поля на планетах Солнечной системы, а также связь между приливными силами и некоторыми периодическими изменениями магнитного поля на Земле.

В докладе будут представлены результаты исследования роли гравитационных сил планет, действующих на вращающееся Солнце, и их взаимосвязь с интенсивностью магнитного поля на Солнце.

Литература

1. Мельхиор П. Земные приливы. // Москва, Мир, 1968, 482 с.
2. Ревуженко А.Ф. Приливные волны и направленный перенос масс Земли // Новосибирск: Наука, 2013, 204 с.
3. Бутиков Е.И. Физика океанских приливов в компьютерных моделях. // Санкт-Петербург, СПбГУ, 2007.
4. Г. Моффат. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. // Москва, Мир, 1980, 335 с.
5. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель генерации магнитного поля Земли и планет. // Международная конференция MSS-14 «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность». Москва: 2014.
6. Кочнев В. А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо. // Геология и геофизика. 2013. №4. С. 3-14.

ГЕОДИНАМИКА ГЛУБИННЫХ ПРОЦЕССОВ МАНТИИ И КОРЫ ЗЕМЛИ.

СИЛАНОВАЯ НЕФТЬ

Тимофеев Д.Н.

ООО фирма "Космическая Технология", г. Железногорск

e-mail: timofeev.dmitriyy@rambler.ru

На разных глубинах породы находятся в разных температурных условиях, при разных давлениях и разных элементных составах, что делает мир пород на поверхности другим по сравнению с миром на глубинах 30, 100 или 1000 км. Отличаются как неподвижные залегающие породы, так и подвижные массы. По мере поднятия к коре Земли подвижных пород происходит их химическое преобразование. На поверхности Земли элементы, находятся в виде химических соединений с минимальными внутренними энергиями (изобарными потенциалами) N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O , SiO_2 ... На границе с ядром Земли только с максимальными внутренними энергиями, например, NO , CN , C_2H_2 возможно Si_2H_2 . По мере поднятия, химические соединения трансформируются, проходя через ряд промежуточных соединений в сторону снижения изобарных потенциалов с выделением тепловой энергии, сначала в силановую нефть [1] и нитронфть [2], а далее, ближе к поверхности, в силикатные породы, углеводороды, воду россыпные включения и рудные скопления коры Земли. Азот, углерод и кислород в условиях высокого давления стабильны в виде окислов азота и нитросоединений, что подтверждается известными реакциями $N_2+2O_2 \rightarrow 2NO_2$, и $R-H+2NO_2 \rightarrow R-NO_2+HNO_2$. Поскольку в глубинах углерод в стабильном состоянии находится в виде углеводородов, кремний по аналогии, должен находиться в состоянии силанов. Это подтверждается и аналогичными термодинамическими свойствами силана и метана. Средний состав силановой нефти в массовых процентах: O_3 50.57, Si_nH_{2n+2} 34.28, AlH_3 8.07, FeH_3 4.31, (нитронфть - C_2H_2 , $R-NO_2$, CN , C_2N_2) 0.93, Cl_2O_7 0.67, HS 0.16, NO_2 0.08, соединения V , Ni , Mo , Pb , Ag , Zn , Au , Cr , Th , U , Mn , и т.д. 0,93. Существование силановой нефти объясняет преобладание кремния в составе пород коры Земли. Верхняя мантия содержит соединения лёгких элементов Na , K , Ca , Mg , например, Na_2O_2 , CaO , которые взаимодействуя с силановой нефтью образовали, силикатные породы (магмы, граниты, базальты, габбро, кимберлиты...), например, по реакции $7Si_3H_8+24O_2+Na_2O+2AlH_3 \rightarrow Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2+SiO_2+31H_2O$.

Содержащиеся в силановой нефти в растворённом виде элементы V , Ni , Mo , Au , Pb , Ag , Zn , Cr , Th , U , Mn ... при трансформации силанов в силикатные породы, концентрируются и могут преобразовываться в россыпи, жилы или рудные тела, а содержащая углерод фракция нитронфти, образует залежи углеводородов. Существование силановой нефти, запасы которой в астеносфере примерно 3×10^{20} тонн из неё нитронфти 3×10^{18} тонн, объясняет действие вулканов, образование коры Земли, воды океанов и атмосферы. Одним из доказательств наличия силановой нефти в глубинах Земли служат взрывы и оплавления бурового инструмента при глубинном бурении. На Кольской сверхглубокой скважины оплавление наблюдалось, начиная с глубины 10 км, глубже произошел взрыв <http://photochronograph.ru/2013/08/15/kolskaya-sverxglubokaya-skvazhina/>.

Поскольку силановая нефть неустойчива, способна самовозгораться и взрываться, добычу силановой нефти (и нитронфти) целесообразно проводить по технологиям, отработанным на производстве взрывчатых веществ. Можно

использовать принцип разбавления до безопасных концентраций, закачивая в пласт силановой нефти инертный растворитель, например, сероуглерод, выкачивая его с растворённой силановой нефтью и перерабатывая в полезные продукты. Для освоения силановой нефти предстоит проделать большой объём работ как геофизикам, в обнаружении оптимальных мест добычи, разработчикам месторождений, химикам, технологам и конструкторам по её переработке.

Это позволит получить неограниченный источник экологически чистого топлива, поскольку при сгорании силаны не образуют парниковых газов, избавить города от загрязнения атмосферы, от смога, упростит и удешевит получение металлов. Перспективными участками для добычи нитроневти и силановой нефти являются зоны повышенной сейсмичности и области вулканизма. В нашей стране это Камчатка, Курилы, Сахалин, Тува, Крым, Кавказ, Байкал, Новосибирские острова.

Литература

1. Тимофеев Д.Н. Силановая нефть и глобальные процессы трансформации Земли. Восьмые научные чтения Ю.П. Булашевича Геодинамика, глубинное строение, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. ИГ УрО РАН Екатеринбург 2015. С.316-320.
2. Тимофеев Д.Н. Землетрясения и вулканические проявления в свете законов химии и химической термодинамики, возможность их обезвреживания. Шестые научные чтения Ю.П. Булашевича Геодинамика, глубинное строение, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. ИГ УО РАН Екатеринбург 2011. с.339-341.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПЛАСТОВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ПО ДАННЫМ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Назарова Л.А.^{1,2}, Голиков Н.А.², Назаров Л.А.¹, Скулкин А.А.¹
¹ИГД РАН, г. Новосибирск; ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Термическое воздействие - общепринятый метод добычи тяжелых углеводородов, наряду с положительным (снижение вязкости флюидов), имеет и отрицательный эффект (уменьшение проницаемости пласта). Последнее обусловлено снижением упругих модулей пород с возрастанием температуры, что при постоянных напряжениях приводит к увеличению деформаций и сужению фильтрационных каналов. Для оценки вызванных тепловым воздействием изменений фильтрационно-емкостных характеристик коллекторов необходимо знать реологические свойства пород. В настоящей работе обоснован и с использованием данных лабораторных испытаний апробирован метод определения модуля Юнга и вязкости баженинов по данным термобарических испытаний.

Эксперименты проводились на цилиндрических образцах битуминизированного аргиллита (Баженовская свита Салымского месторождения), которые помещался в печь с регулируемой температурой. Постоянное вертикальное напряжение S создавалась грузом известной массы. Осуществлялся быстрый нагрев образца от нормальной T_0 до максимальной $T_m=150^\circ\text{C}$ температуры, которая поддерживалась постоянной в течение пяти суток. Регистрировалось изменение во времени высоты образца, по которой вычислялась деформация последнего $\varepsilon_m(t)$. Процесс деформирования описывался вязкоупругой моделью Фойгта [1]

$$E\varepsilon + \mu\dot{\varepsilon} = S, \quad (1)$$

с начальным условием $\varepsilon(0) = 0$, где E и μ - модуль Юнга и вязкость образца. Решение (1) имеет вид

$$\varepsilon(t) = S[1 - \exp(-Et/\mu)]/E. \quad (2)$$

Вводится целевая функция $\Psi(E, \mu)$ - среднее квадратичное отклонение измеренной ε_m и рассчитанной по (2) при некоторых E и μ деформаций. Численные эксперименты показали, что Ψ имеет единственный минимум, поэтому обратная задача определения модуля Юнга и вязкости по $\varepsilon_m(t)$ однозначно разрешима. Найденное значение $E=1.29$ МПа оказалось на три порядка ниже такового для пластовых условий (по данным [2]), что объясняется использованием акустических методов для определения свойств пород, а также сильной зависимостью свойств баженинов от содержания битума.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00573).

Литература

1. Бленд Д.Р. Теория линейной вязкоупругости. М.: Мир, 1965. 200 с.
2. Немова В.Д. Баженовская свита: строение, свойства и методики лабораторных исследований. SPE. Moscow section. 2012. 11.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛИТОНОПОДОБНЫХ МЕДЛЕННЫХ ВОЛН ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЧНЫХ СРЕДАХ

Макаров П.В.^{1,2}, Перышкин А.Ю.²

¹ТГУ, г. Томск; ²ИФПМ СО РАН, г. Томск

Современные исследования [1] показали, что в модельных образцах горных пород, также как в металлах, зарождаются и распространяются медленные деформационные фронты, имеющие автоволновую природу и движущиеся со скоростями на 6-7 порядков ниже скоростей звука. Это говорит о сходной природе наблюдаемых явлений многомасштабной, кооперативной пространственно-временной локализации неупругой деформации в пластичных металлах и миграции сейсмической активности в геосредах.

Рядом исследователей [2, 3] рассматриваются математические модели и выдвигаются гипотезы, что медленные деформационные волны в земной коре имеют солитоноподобную природу. В таких работах часто рассматривается классическое уравнение Син-Гордона, которое имеет солитонное решение. Так как реальные свойства медленных деформационных фронтов, распространяющихся в Земной коре, в том числе их соответствие понятию солитона, нам не известны, трактовка медленных деформационных волн в прочных средах как солитонов базируется только на рассмотрении возможных механизмов генерации медленных волновых возмущений. Такими механизмами могут являться трансляционные и ротационные движения доменов в разломных зонах.

В работе численно исследованы возмущения НДС в модельном прочном материале с параметрами алюминия при его нагружении растяжением. В модели учтено упрочнение, которое оказывает большое влияние на характер моделируемых деформационных фронтов.

Математическая модель генерации и распространения деформационных фронтов включает уравнения МДТТ и кинетические уравнения, задающие скорости генерации неупругих деформаций. Эти уравнения являются уравнениями смешанного типа и их решения содержат как обычные волны напряжений, распространяющиеся со скоростью звука, так и медленные автоволновые возмущения, которые проявляют свойства, присущие солитонам. Параметрическое исследование механических параметров модели показало, что наиболее сильное влияние на динамику моделируемых деформационных фронтов оказывает баланс параметров, ответственных за релаксацию напряжений и упрочнения в среде. В частности, чем сильнее оказалась релаксация упругих напряжений, тем с меньшей скоростью распространяется деформационный фронт. Подобные расчёты выполнены также для солитоноподобных процессов в хрупких образцах при их сжатии.

Полученные результаты показали, что формирующиеся в нелинейной среде солитоноподобные возмущения достаточно устойчивы, могут стационаривать и формировать области локализации деформации, т. е. решение полной системы уравнений МДТТ даёт результат, по характеру близкий к решениям уравнения Син-Гордона.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований РАН на 2013-2020 гг.

Литература

1. Зуев Л.Б., Баранникова С.А., Надежкин М.В., Горбатенко В.В. Локализация

- деформации и возможность прогнозирования разрушения горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2014. - №1. - с. 49-56.
2. Кузьмин Ю.О. Деформационные автоволны в разломных зонах // Физика Земли. 2012. - №1. - с. 3-19.
3. Михайлов Д.Н., Николаевский В.Н. Тектонические волны ротационного типа с излучением сейсмических сигналов // Физика Земли. 2000. - №11. с. 3-10.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ИЗЪЯТИИ КЕРНА

Романов А.С.^{1,2}, Стефанов Ю.П.^{2,3}, Мясников А.В.⁴

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

⁴Сколтех, г. Сколково

e-mail: alesandro_pato22@mail.ru, yu_st@mail.ru

Основные данные о физико-механических свойствах пород коллекторов получают на основе лабораторных исследований кернового материала. Извлечение породы является технологически сложной и дорогостоящей операцией, к тому же не всегда успешной. В общем случае процент выноса керна зависит от множества факторов, которые в разной степени влияют на структурную целостность полученных образцов породы.

Нарушения в керне начинают формироваться в процессе механического взаимодействия бурильной головки с породой и в результате изменения напряженного состояния при отделении от пласта. При подъеме на поверхность происходит разгрузка и остывание керна. Неравномерное распределению температуры также может вызвать образование трещин разного масштаба. Рост микротрещин в сочетании с разгрузкой создает условия для развития процесса десорбции газа. При выделении газа в керне образуются пустоты, которые способствуют дальнейшему растрескиванию породы. Повышение трещиноватости породы приводит к еще большему проявлению десорбции газа, процесс обретает лавинообразный характер. Перечисленные явления могут существенно повлиять на механические свойства полученных образцов, которые в итоге могут сильно отличаться от свойств породы в естественных условиях залегания. Отсюда вытекает необходимость тщательного исследования процессов взятия керна.

В данной работе проведены расчеты НДС в керне в процессе его изъятия. Получены оценки влияние температуры на напряженное состояние керна. Для имитации данного процесса при численном моделировании осуществлялось постепенное, по мере выбуривания, изменение напряжённое состояние вокруг керна пока он не будет полностью отделен от пласта. На следующем этапе смоделирован процесс разгрузки образцов путем постепенного уменьшения значения давления на границах. Расчеты показали, что характер формирования нарушений в керне определяется начальным напряженным состоянием породы и механических характеристик горного массива.

Численное моделирование осуществлялось при помощи явной конечно-разностной схемы решения системы уравнений механики сплошных сред. В качестве определяющих соотношений использована модифицированная модель Друкера-Прагера-Николаевского.

ДЕФОРМАЦИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ В ПРОЦЕССЕ ДЕСТРУКЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Голиков Н.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В процессе бурения в горном массиве окрестности ствола скважины возникает зона депрессии. Размеры зоны депрессии, достигающие сотен метров [1], определяются геомеханическими свойствами пород, слагающих пласт и зависят от степени релаксации неоднородного напряжения горных пород. в зоне депрессии повышается эффективное давление на образец, что может приводить к вертикальной деформации массива. Коллекторы нетрадиционного типа, к которым относятся нефтесодержащие породы баженовской свиты, образованы из карбонатно-кремнисто-глинистого материала и содержат большое количество органического вещества (ОВ) $\text{Corg} > 10\%$. В условиях высокой температуры и неоднородного напряжения с повышением эффективного давления и сохранением пластовой температуры в баженитах происходит деструкция части ОВ [3]. Потеря части ОВ в породе приводит к освобождению части порового пространства и появлению эффективной пористости. Появление дополнительной пористости повышает сжимаемость породы и, следовательно, увеличивает общую деформацию породы. Для учета влияния вышеуказанных эффектов необходимы экспериментальные оценки деформационных характеристик и изменений ФЕС. Эксперименты проводились на образцах баженовской свиты Салымского месторождения Западной Сибири.

Методика и техника эксперимента. Цель эксперимента - измерение деформации образца под действием статической нагрузки и температуры.

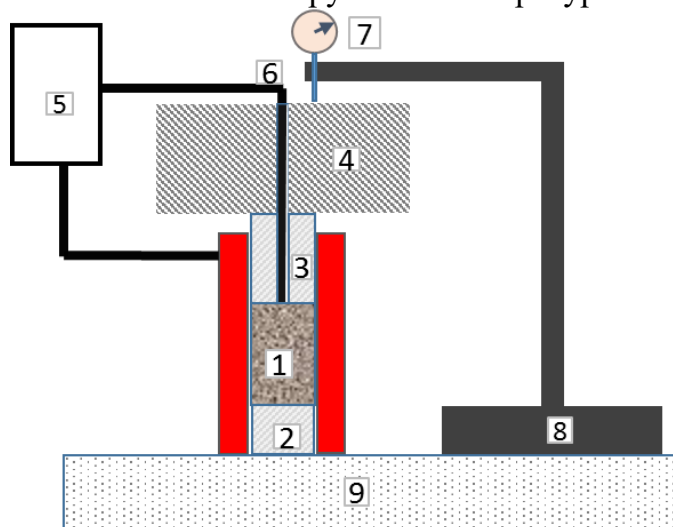


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1-образец, 2,3-нижний и верхний пуансон, 4- груз, 5,6-регулятор температуры и термодатчик, 7,8- индикатор перемещений (ИЧ-10) на штативе.

Цилиндрический образец породы высотой L и диаметром D (табл. 1) устанавливался на нижний пуансон и помещался в трубочатую печь, подключенную к блоку регулировки температуры. Осевая нагрузка на образец создавалась грузом массой 23 кг через верхний пуансон.

Таблица 1. Геометрические размеры исследуемых образцов образцов

№ образца	L , мм	D , мм
1211-83`	38.5	28.5

1212-83`	35.8	28.5
----------	------	------

В грузе и в верхнем пуансоне было просверлено отверстие для термопары, которая контактировала с поверхностью образца. Температура при экспериментах поддерживалась на задаваемом уровне (70,100,150°C), согласно плану эксперимента и контролировался блоком стабилизации с точностью 0.5°C. Деформация всей системы «нижний пуансон-образец-верхний пуансон» измерялась индикатором часового типа ИЧ-10 с точностью 0.01 мм. Вся измерительная установка размещена на теплоизолирующем основании (газобетон СИБИТ). Предварительно проводилась калибровка системы с помощью алюминиевого эталона одинакового размера.

Эксперимент проводился до стабилизации показаний индикатора при различных температурных режимах. Результаты эксперимента приведены на рис.2-4.

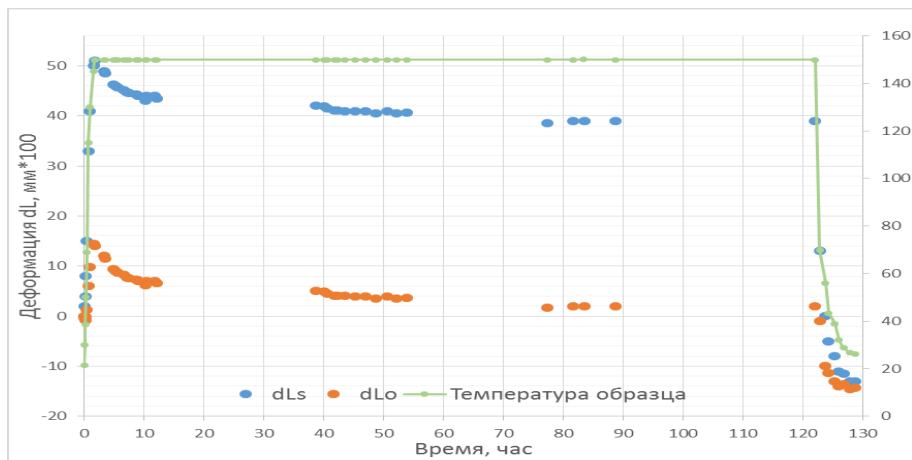


Рис. 2. Зависимость деформации от времени в процессе эксперимента: dLs - деформации измерительной системы, dLo – деформация образца. Образец №1211-83`.

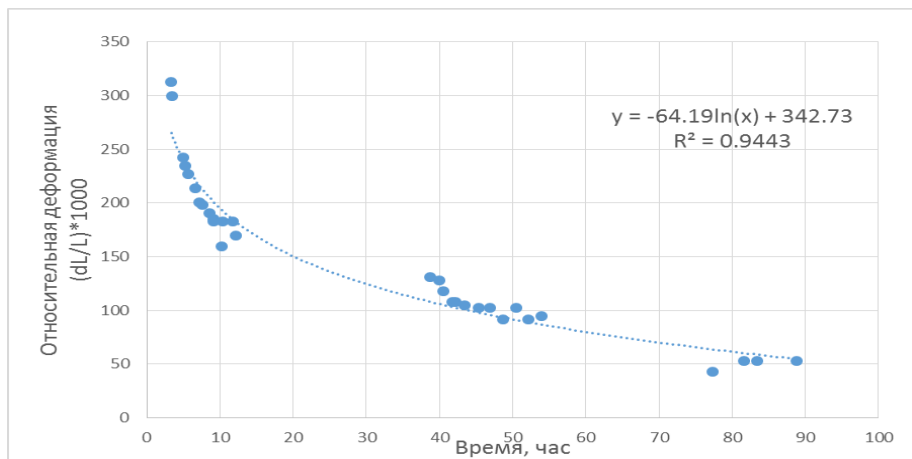


Рис. 3. Зависимость относительной деформации от времени. Образец №1211-83`.

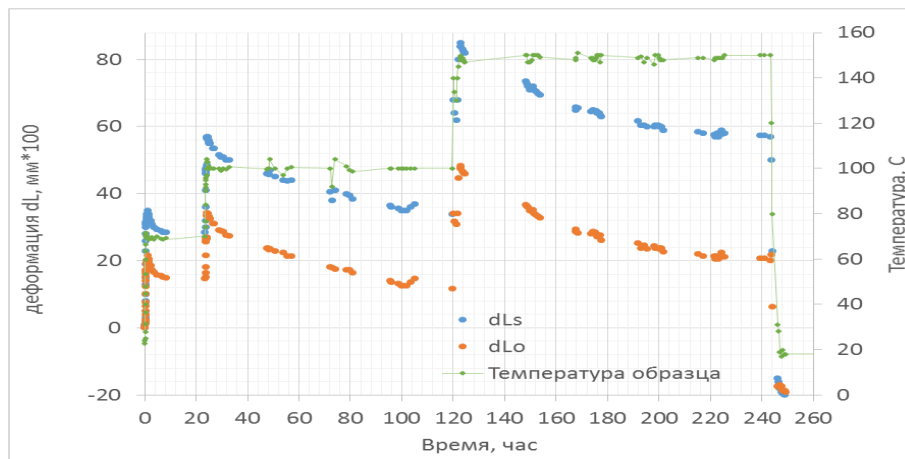


Рис. 4. Зависимость деформации от времени в процессе эксперимента: dLs - деформации измерительной системы, dLo – деформация образца. Показаны три цикла нагрева и остывания образца (температура на вспомогательной оси). Образец №1212-83`.

Наблюдаемые полные деформации измерительной системы с образцом пересчитываются в относительные деформации образца, с учетом деформации установки, связанной с температурным расширением её элементов.

Наблюдается удлинение как системы, так и образца, при нагревании, в следствии температурного расширения. В последствии, при стабилизации температуры, наблюдаем постепенное сжимание образца, экспоненциально снижающееся к постоянной величине деформации, характерной для заданной температуры и вида образца.

Произведённые расчёты пористости и плотности образцов по измеренным массам (табл.2) показывают появление пористости в образцах после завершения экспериментов.

Таблица 2

№ образца	Плотность (до эксперимента), г/см ³	Плотность (после эксперимента), г/см ³	Минеральная плотность (после эксперимента), г/см ³	Пористость (после эксперимента), %
1211-83`	2,23	2,18	2,36	7,5
1212-83`	2,17	2,10	2,22	5,2

Выводы

В результате экспериментов показано, что при сохранении пластовой температуры 70-150°C в условия депрессии происходит неупругая деформация пород баженовской свиты. Кроме происходит деструкция органического вещества породы, что приводит к появлению открытой пористости и, соответственно, к дополнительной деформации породы в окрестностях скважины при бурении.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00573.

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород) : учебник для вузов. – М. : ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2004. – 368 с.
2. Назарова Л. А., Назаров Л. А. Эволюция напряжений и проницаемости трещиновато-пористого породного массива в окрестности добычной скважины.

//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН. 2016. – №3. – С. 11–19.

3. Юсупова И.Ф., Абукова Л.А., Абрамова О.П. Потери концентрированного органического вещества пород при их погружении как фактор геодинамической дестабилизации //ДАН. М: Наука, 2007. – Т. 414, №1. – С. 74–77.

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ЭВОЛЮЦИИ ЛИТОСФЕРЫ ТИБЕТА И ОРОГЕНОВ ВЫСОКОЙ АЗИИ

*Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С., Маринин А.В.
ИФЗ РАН, г. Москва*

Модель предполагает начало процесса эволюции литосферы Тибета и орогенов Высокой Азии связывать с моментом погружения океанской литосферы Индийской плиты (субдукция) под континентальную плиту Азии. Это процесс начался 65-70 млн. лет назад. Поскольку океаническая литосфера содержит большие объемы воды, то низы континентальной литосферы постепенно ею насыщаясь, дренировали воду и в верхнюю подкоровую часть. Подвод в литосферу воды приводит к тому, что увлажняющиеся породы начиная с глубин 35-40 км будут выплавлять гранит, а с глубин 60 км – базальты. Результатом выплавления гранитов и базальтов в подкоровой литосфере Тибета ее объем увеличивается (на 2%) при практическом сохранении массы, что приводит к небольшому, около 1 км, поднятию. На этой стадии мощность коры Тибета практически неизменна, т.к. миграция расплава из мантии в кору только начиналась. В этот период поверхность Тибета остается достаточно плоской.

Второй этап эволюции (начался 30-35 млн. лет назад) связан с началом отхода океанской литосферы от подошвы Евразийской литосферы и ее опусканием в верхнюю мантию при одновременном продвижении дальше на север. Вероятной причиной отрыва океанской литосферы от континентальной является ее достижение подошвы литосферы Таримской плиты, которая, являясь кратоном, имеет большую толщину. На этом этапе начинается постепенное увеличение мощности коры Тибета за счет расплава из подкоровой литосферы. При этом изменение объема вещества литосферы уже почти не происходит и поверхность Тибета сохраняет свои высоты. Из-за снижения вязкости в астеносфере начинает формироваться термогравитационная конвекция, которая приводит к постепенному прогреву литосферы Тибета и ускорению миграции расплавленных гранитов и базальтов вверх, а тяжелых пород – в низы литосферы. В коре Тибета формируется складчатость, проявляются вулканические процессы, а низах литосферы локализуется слой тяжелых мантийных пород. Рельеф Тибета в этот период представляет собой глыбово-блочную горную область, подобную Алтаю.

Следующий этап эволюции (вероятно 10-15 млн. лет назад) связан с разрушением непрерывности океанической литосферы на начальном участке пододвигания, который может быть вызван замедлением движения Индийской плиты (возможно, это начало столкновения континентальной литосферы Индийской плиты и Евразии) и более интенсивным погружением ее слэба. На этой стадии в низах литосферы формируется слой тяжелых и высоковязких пород, что приводит к снижению влияния на кору конвекции в астеносфере.

Новая стадия эволюции литосферы Тибета связана с началом формирования в ней тяжелой капли мантийных пород и ее отрывом. Можно полагать, что с началом этого процесса (5-6 млн. лет назад) возникает вертикальное «всплытие» литосферы Тибета. С этого момента времени скорости всплытия постепенно возрастают, что приводит к формированию высокого плато Тибета.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПИПЛАТФОРМЕННЫХ ОРОГЕНОВ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕНУДАЦИОННО-АККУМУЛЯЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРУЮЩЕЕСЯ НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Мяжков Д.С., Ребецкий Ю.Л.

ИФЗ РАН, г. Москва

На данный момент не существует единой теории формирования эпиплатформенных орогенов Центральной Азии, согласованной как с современными представлениями о геологическом строении региона, так и с тектонофизическими и геофизическими данными. В частности – по результатам тектонофизических реконструкций [1, 2] для Алтая и Тянь-Шаня – наблюдается определённая закономерность распределения геодинамических типов напряжённого состояния: для межгорных впадин наблюдается преимущественно обстановка латерального растяжения или сдвига, а для хребтов – латерального сжатия или сдвига. Данная закономерность не может быть объяснена с позиций классической плейт-тектоники непосредственно, что оставляет открытым вопрос формирования данных структур.

В данной работе представлены результаты аналитического моделирования формирования НДС эпиплатформенных орогенов, рассматриваются две основные модели: в первой – мелкомасштабная термогравитационная астеносферная конвекция как фактор горообразования, во второй – классический плейт-тектонический механизм, связанный с латеральным сжатием литосферы (в результате давления со стороны Индийской плиты). В моделях применяются тела с ньютоновской вязкой и максвелловской упруго-вязкой реологией, сами модели двумерны и латерально периодичны. Расчетная модель литосферы двухслойная или трехслойная, в ней влияние изостазии обусловлено скачком вязкости на подошве коры. Учет влияние формирующегося рельефа кровли и подошвы коры произведен по Ляву (вертикальная нагрузка, разгрузка).

Результаты моделирования показали, что НДС, полученное в первой модели, значительно более соответствует природным данным, чем таковое для плейт-тектонической модели. Более того, для второй модели не была получена даже удовлетворительная кинематика эволюции деформации литосферы.

Важным фактором, влияющим на формирующееся НДС горных массивов, является воздействие экзогенных [3] (аккумуляционно-денудационных) процессов. В работе представлены две различные модели учёта данных процессов, одна из которых реализована с использованием численного (МКР) алгоритма расчёта. Рассматриваются проблемы учета влияния процессов эрозии и денудации в постановке математической задачи, произведён количественный анализ структуры влияния при различных параметрах как экзогенных процессов, так и основных моделей. Показана роль учёта влияния упругой сжимаемости (приближенная максвелловская реология). Наиболее близкое к природному НДС получено в случае одновременного учёта влияния как упругости, так и экзогенных процессов.

Литература

1. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саян // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 2. С. 271-291.

2. Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С. Тектоническое поле современных напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5, вып. 1. С. 257-290.
3. Ahnert F. Functional relationship between denudation relief and uplift in mid-latitude drainage basins // Amer. J. Sci. 1970. Vol. 268. P. 243-263

МЕТОД ПОДБОРА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ И АКТУАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ СОЛЯНОЙ ТЕКТониКИ

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

Высокая эффективность разработанных в нашей лаборатории программ моделирования соляного тектогенеза позволяет использовать метод подбора для решения обратной эволюционной задачи – восстановления истории формирования конкретных объектов соляной тектоники. Принципиальная возможность и единственность реконструкции истории формирования солянокупольных структур, как развития неустойчивости Рэлея-Тейлора, описываемой уравнением Стокса, для случая, когда актуальное состояние системы полностью известно, показана в работах Наймарка, Исмаил-Заде, Цепелева, Короткого. Реальные задачи, при неполноте и неточности данных, можно решать путем расчета различных вариантов эволюции, с начальными условиями и параметрами, варьируемыми в рамках имеющихся данных о геологическом строении исследуемого участка, и подбора такого варианта, который дает актуальное положение геологических границ, совпадающее с данными бурения, там, где они есть, и с данными сейсморазведки там, где они надежны. Поскольку при этом на каждый момент времени, в том числе – актуальный, вычисляется положение границ всюду в исследуемом объеме, то таким образом одновременно решается важная практическая задача определения структуры исследуемых объектов соляной тектоники там, где она не устанавливается обычными методами – на крыльях диапиров и в подсолевом комплексе.

В качестве примера успешного применения наших программ для указанных целей, можно привести результат подбора эволюции одной из структур соляной тектоники на Александровском своде в северном Прикаспии – рис.1.

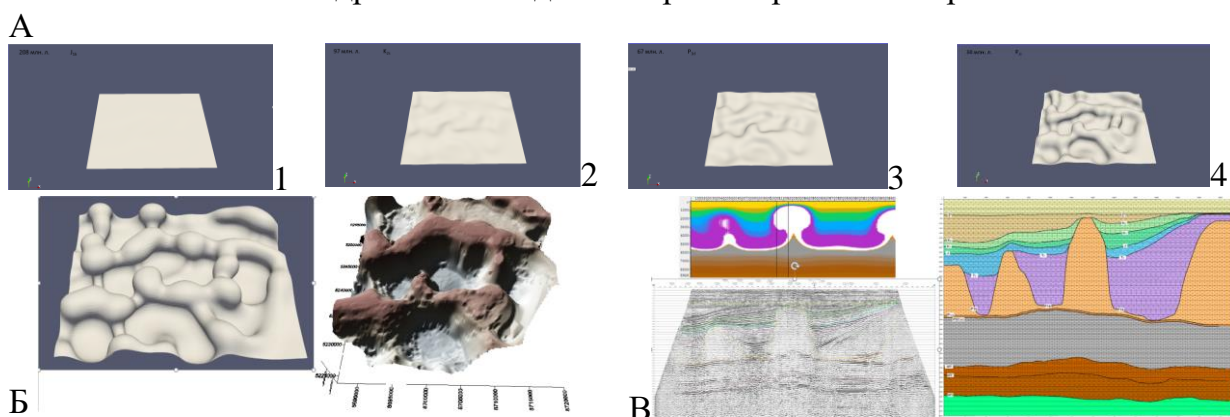


Рис.1. А) Рассчитанные стадии эволюции кровли кунгурской соленосной толщи: 1 – на момент 208 млн лет назад (J_{1h}); 2 – на момент 97 млн лет назад (K_{2s}); 3 – 67 млн

лет назад (Р (палеоген) _{1d}); 4 – 34 млн лет назад (Р (палеоген) _{3r}). Б) Итоговое состояние поверхности соли в модели (слева), в сопоставлении с моделью этой поверхности, построенной по данным сейсморазведки (справа). В) Сопоставление разреза рассчитанной модели (слева вверху) с сейсмическим разрезом (слева внизу) и его существующей интерпретацией (справа).

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАДВИГОВЫХ СТРУКТУР

Татаурова А.А.¹, Стефанов Ю.П.^{1,2}

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

e-mail: anttat2@gmail.com, yu_st@mail.ru

Складчато-надвиговые пояса распространены по всему миру, и их исследование имеет важное значение с точки зрения, как фундаментальной, так и прикладной науки. Изучение параметров, отвечающих за развитие деформационных структур, может дать новую информацию об этапах развития поясов, об их реологических свойствах, а также о том, какие участки наиболее перспективны для поиска полезных ископаемых. Ответы на поставленные задачи можно получить с помощью геомеханического моделирования, которое широко применяется в настоящее время.

В работе основное внимание уделяется формированию надвиговых структур, образующихся в результате скольжения осадочных пород складчато-надвигового пояса вдоль detachment с падением, направленным в сторону хитерланда. В роли detachment выступает поверхность фундамента. Деформирование среды осуществляется под действием равномерного смещения боковой границы, а также гравитационных сил. Передняя граница со стороны форланда жестко закреплена, либо на ней задается напряжение соответствующие тому, которое образовалось под действием собственного веса среды до начала горизонтального смещения ее задней границы.

Исследование проводилось в упругопластической постановке с использованием явной конечно-разностной схемы. Для описания поведения среды решалась система уравнений динамики с использованием модифицированной модели Друкерра-Прагера-Николаевского. Такой подход позволил выделить полосы локализованной пластической деформации, которые интерпретировались как разломные зоны.

Результаты расчетов показали, что сдвиговая прочность, зависящая от внутреннего трения, когезии и дилатансии оказывает влияние на угол наклона полос локализации пластических деформаций, а также на глубину их проникновения. Величина трения между складчато-надвиговым поясом и фундаментом влияет на количество наиболее интенсивных зон локализации деформации, так при увеличении трения уменьшается количество полос.

Геометрические параметры: масштаб клина (толщина и протяженность) и угол наклона detachment, также оказывают воздействие на развитие структур. Первый параметр влияет на количество наиболее интенсивных зон локализации сдвиговых деформации. Кроме того, толщина деформируемого осадочного слоя вместе с его прочностными свойствами определяет возможность проникновения полос локализации до основания слоя и их отражения с формированием сопряженных полос, или образованием листрических структур, не достигающих фундамента. Второй параметр отвечает за диапазон распространения надвиговых структур вдоль профиля. Уменьшение угла наклона приводит к более сильной локализации в области надвига и к значительному утолщению этой области.

НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ СЖАТИИ ХРУПКОГО МАТЕРИАЛА С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРОВОЙ СТРУКТУРОЙ

*Кульков С.Н.
ТГУ, г. Томск*

В работе изучено поведение при сжатии хрупкого пористого тела (керамика Al_2O_3) с объёмом порового пространства от 30 до 60% с иерархической поровой структурой трёх видов: “крупной” пористости размером 80-100 мкм, “мелкой” пористости, размером около 15 мкм и промежуточной межблочной пористости, включающей протяженные 110 - 120 мкм поровые каналы, образованные в результате зонального обособления. Показано, что полученная иерархическая поровая структура обуславливает формирование иерархической деформационной структуры в объеме материала и приводит к понижению масштаба процессов разрушения от макроскопического, в случае унимодальной пористости, до микромасштабного разрушения, сравнимого с размерами сформировавшихся при спекании блоков.

Таким образом, полученная иерархическая поровая структура оказывает существенное влияние на характер повреждения материала при сжатии, обуславливая переход от хрупкого разрушения к квазипластичному, вследствие формирования многочисленных очагов разрушения, а формирование иерархической деформационной структуры в объеме приводит к эффекту понижения масштаба процессов разрушения от макроскопического, в случае унимодальной поровой структуры, до мезомасштабного разрушения, сравнимого с размерами, сформировавшихся при спекании блоков.

БЛОКИ И РАЗЛОМЫ КАК ВАЖНЕЙШИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН ГОРНОГО АЛТАЯ (ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ)

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

Для исследования межгорных впадин Горного Алтая используется комплекс электромагнитных методов, в который входят зондирование становлением электромагнитного поля (ЗС), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электротомография (ЭТ). Комплекс используется для решения двух глобальных задач: построения геоэлектрических моделей и мониторинга электрофизических характеристик горных пород. Особенности строения, сведения об имеющихся разломных зонах, их простирании, ширине, наклоне сместителя, важны для выбора мест размещения пунктов регулярных наблюдений и далее для полноценного анализа полученных данных. Для получения глубинных характеристик разломов можно использовать разработанную авторами методику с привлечением разноглубинных методов геоэлектрики. Например, для западного замыкания Чуйской впадины, долины р. Чаган по данным ВЭЗ построены геоэлектрические модели осадочной толщи и верхней части фундамента. По этим данным выделено три блока с разной мощностью осадков: приподнятый блок на северо-востоке долины с общей мощностью осадочных пород до 120 м, центральный, в пределах которого глубины до высокоомного основания достигают 300 м и также блок на юго-западе с мощностью до 200 м. Блоки предположительно разделены разломными структурами. Измерения электротомографии были выполнены позже с целью получения более детальных характеристик, выявленных по геолого-геофизическим данным разломных зон, и результаты интерпретации подтвердили наличие разломов, их продолжение в четвертичные отложения.

С учетом всего объема полевых данных ЗС, полученных в 2007-2016 гг. впервые построена трехмерная модель поверхности фундамента центральной и южной части Курайской депрессии. Мощность осадочного выполнения центральной части впадины составляет 300-500 м. Вдоль основания Северо-Чуйского хребта протягивается Ештыкельский прогиб северо-западной ориентировки. Его существенно блоковое строение подтверждает южную разломную границу впадины с предгорной ступенью Северо-Чуйского хребта. Наиболее погруженная часть Ештыкельского прогиба с мощностью осадков более 600 м выделена южнее Салгандуйского поднятия. Глубины до фундамента в восточном предгорном прогибе достигают 800 и более м. Площадная съемка методом электротомографии выполнена с целью подтверждения разломного нарушения между центральной и юной частями впадины, хорошо выраженного в рельефе. В результате трехмерной инверсии ЭТ данных (программный пакет ERTLab) построена геоэлектрическая модель с высокоомной верхней частью (УЭС 800-1000 Ом·м) и хорошо выраженной наклонной проводящей зоной с понижением УЭС до 200 Ом·м, которая интерпретируется как разломная структура. В целом по данным ЭТ, полученным в межгорных впадинах, сделан вывод о существовании разных интервалах понижения УЭС верхней части разломных зон от 70-100 до 400-500 Ом·м в зависимости от её активности и наличия многолетнемерзлых отложений. Результаты геоэлектрики в комплексе с геологическими данными дают возможность более детально обосновать историю и кинематику формирования Курайской депрессии.

**ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ И ВЕЩЕСТВЕННЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ГРУНТОВ ПО КОМПЛЕКСУ СЕЙСМОПЛОТНОСТНЫХ И
ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Мельник Е.А., Оленченко В.В., Татаурова А.А., Елисеев А.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: melnikea@ipgg.sbras.ru, olenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Среди основных направлений развития инженерной геофизики в последние годы можно назвать заметное сближение методов и подходов интегрированной обработки комплекса геологических и геофизических данных [1, 2, 6, 7]. Вместе с тем нерешенной остается обсуждаемая на протяжении многих лет ключевая проблема интерпретации геофизических данных, согласование геологических и геофизических моделей. Наиболее отчетливо она проявляется при интерпретации данных сейсмоки, когда геологические наблюдения на обнаженных участках консолидированных грунтов (в том числе и скальных) показывают разнообразный вещественный состав и сложную тектоническую структуру, резко контрастирующую с пологим залеганием сейсмических границ и изолиний скорости [4, 5]. Объяснить эти особенности можно, используя не только абсолютные значения скоростей продольных и поперечных волн и плотности грунтов, но также их относительные изменения с глубиной. Для этого целесообразно использовать такой комплексный параметр как коэффициент петрофизической неоднородности η , связывающий этот параметр с изменениями модуля сжатия и плотности с давлением и соответственно с глубиной [3].

Показана возможность использования коэффициента η для изучения структуры и вещественного состава консолидированных грунтов с использованием данных о скоростях продольных и поперечных волн, полученных методом малоглубинной сейсмоки, и данных о плотности пород по лабораторным исследованиям образцов керна на участке размещения электродепо «Волочаевское» Дзержинской линии Новосибирского метрополитена.

Для выбранного участка установлено, что коэффициент петрофизической неоднородности в среднем изменяется от 45 до первых единиц. Вместе с тем, на фоне значений коэффициента η близких к единице наблюдаются значительные локальные положительные и отрицательные аномалии. При удалении трендовой компоненты трещиноватости пород, распределение петрофизических аномалий заметно упрощается и оставшиеся наиболее контрастные отрицательные аномалии η которые могут указывать на возможность выделения зон с обводненными грунтами. Отрицательные значения коэффициента петрофизической неоднородности имеют место при отрицательном изменении плотности и скорости с глубиной, однако сама природа таких значений коэффициента η пока не ясна.

Сопоставляя полученные петрофизические модели с геоэлектрическими разрезами видно, что зоны с пониженными значениями УЭС хорошо коррелируются с участками пониженных значений коэффициента петрофизической неоднородности, что связано с областями обводнения и подтверждается данными бурения. Эта особенность актуальна при проведении работ в условиях плотной застройки с большим количеством газо-и водопроводных коммуникаций, где необходимо верифицировать низкоомные геоэлектрические аномалии, что возможно сделать с помощью коэффициента петрофизической неоднородности.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-45-540528 р_а и Министерством образования, науки и инновационной политики Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-45-540528.

Литература

1. Беляшов А.В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 3. – С. 64–75.
2. Беляшов А.В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Техногенно-измененные приповерхностные породы на участке Семипалатинского испытательного полигона: характеристика по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 106–110.
3. Буллен К.Е. Введение в теоретическую сейсмологию. – М.: Мир, 1966. – 371 с.
4. Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р. Петрофизическая интерпретация сейсмоплотностных данных (на примере Муйской впадины) // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 4. – С. 84–91.
5. Суворов В.Д., Мельник Е.А. О петрофизической неоднородности земной коры и верхов мантии в двух районах Сибири по сейсмогравитационным данным и измерениям на образцах горных пород // Физическая мезомеханика. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 101–108.
6. Ganerod G.V. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // Bulletin of Engineering and the Environment. – 2006. – Vol. 65. – P. 231–243.
7. Nemeth B., Clowes R., Hajnal Z. Lithospheric structure of the Trans-Hudson Orogen from seismic refraction - wide-angle reflection studies // Canadian Journal of Earth Sciences. – 2005. – Vol. 42, N 4. – P. 435–456.

СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ КОРЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ ПО СЕЙСМОГРАВИТАЦ

ИОННЫМ ДАННЫМ (ПРОФИЛЬ 1-СБ)

Суворов В.Д.¹, Мельник Е.А.¹, Павлов Е.В.¹, Сальников А.С.²

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; СНИИГГиМС, г. Новосибирск

e-mail: suvorovvd@ipgg.sbras.ru, melnieka@ipgg.sbras.ru, seispy@sniiggims.ru

Рассматриваются результаты обработки и интерпретации данных КМПВ совместно с гравиметрией, полученные вдоль опорного профиля 1-СБ (г. Среднеаргунск – п. Усть-Каренга) (рис. 1) [2, 3, 5]. Новизна исследований заключается в применении метода КМПВ для изучения разломно-складчатых структур, верхней коры, тогда как ранее он традиционно использовался в условиях полого залегающих слоев в платформенных условиях [1, 4]. Новые возможности метода первых вступлений совместно с закритическими отражениями определяются технологией решения прямых кинематических задач сейсмоки в двумерных слоисто неоднородных средах. Объект изучения, вследствие высокой геологической изученности, является эталонным для оценки эффективности применения метода совместно с гравитационными наблюдениями.

Показана высокая корреляция между сейсмическими и приповерхностными геологическими характеристиками верхней коры, свидетельствующая о принципиальной возможности применения метода для решения задачи структурно-тектонического районирования верхней коры. Выделяющиеся тектонические блоки разделяются полого наклонными разломными зонами шириной до 7-10 км и различающимися скоростными и структурными неоднородностями, прослеженными на глубину 4-6 км.

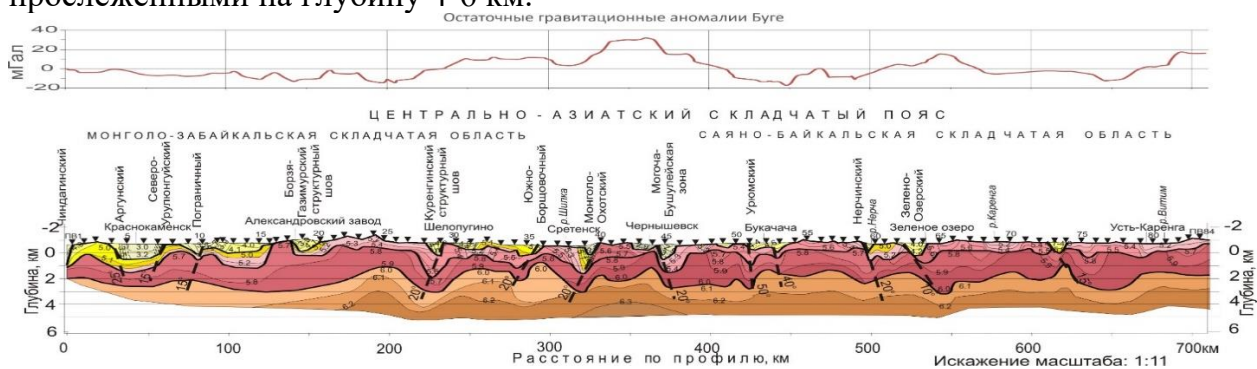


Рис. 1. Сейсмический разрез верхней коры и график остаточных изостатических гравитационных аномалий Буге. Тонкие линии - изолинии скорости, толстые - границы со скачком скорости, наклонные штриховые линии - осевые линии зон разломов с углами падения в градусах, треугольники - положение пунктов возбуждения с номерами. Названия зон разломов даны по геологическим данным (М-б 1:2500000, листы N-50, М-50, цифровой каталог государственных геологических карт РФ, интернет-ресурс http://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/).

Расширение возможностей интерпретации сейсмических данных можно реализовать через комплексирование с гравитационным полем, обеспечивающим получение обоснованных сведений о распределении плотности. Иллюстрируется ряд трудностей с этим связанных и, в частности, известная невозможность обоснованной обработки и интерпретации гравитационных аномалий без

априорной информации. Предложен способ интегральной интерпретации сейсмических и гравитационных данных, путем приведения их к единой размерности сейсмогравитационного и сейсмического ускорений, согласованных в рамках сейсмоплотностной модели.

Выделенные по сейсмическим данным структурно-тектонические блоки уверенно коррелируются с минерагеническими зонами, определяющими спецификацию месторождений твердых полезных ископаемых.

Литература

1. Беляшов А.В, Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. – 2013. – №3. – С. 64-75.
2. Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д., Винокуров И.Ю., Эринчек Ю.М., Сержантов Р.Б., Татаринцов В.Ю. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D картографирования территории РФ и ее континентального шельфа // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 67. – С. 43-48.
3. Сержантов Р.Б., Кашубин С.Н., Эринчек Ю.М., Татаринцов В.Ю., Мильштейн Е.Д. Глубинное геолого-геофизическое изучение недр России: Современное состояние и основные задачи // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 53. – С. 26-31.
4. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Мишенькина З.Р., Сальников А.С. Скоростная модель глубинного строения Чульманской впадины по данным первых вступлений // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 2. – С. 109-117.
5. Эринчек Ю.М., Липилин А.В., Сержантов Р.Б., Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин // Геофизические методы исследования земной коры: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева : сб. материалов, Новосибирск, 8–14 декабря 2014 г. – Новосибирск : Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 282-288.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЙСМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ.

*Кочнев В.А., Поляков В.С.
ИВМ СО РАН, г. Красноярск*

В доклад будут представлены результаты поиска оптимальных путей обработки и интерпретации комплекса сейсмических и детальных гравиметрических 2D наблюдений, проводимых в районах с неоднородной ВЧР. Этой теме посвящены многие исследования авторов. Последние из них [1,2].

В докладе планируется представить следующие особенности исследования, построенного на анализе экспериментальной и производственной обработки нескольких профилей Чулайской площади (Иркутская область):

- Особенность сейсмических данных, получаемых в Восточной Сибири.
- Особенность сейсмогравиметрической технологии.
- Критерии оценок достоверности и объективности.
- Детальность выделения целевых горизонтов. Возможность выделить тектонические разломы, солевые штоки.
- Согласованность с данными бурения или других геофизических методов.
- Технологичность метода обработки.
- Показ и сравнение результатов на нескольких профилях.

Выводы

В районах со сложным строением ВЧР проведение сейсмических исследований должно сопровождаться детальными гравиметрическими наблюдениями. Правильная совместная обработка данных комплекса наблюдений позволит повысить достоверность сейсмических разрезов и карт, необходимых для успешного проведения поисковых работ на нефть и газ. Реализация такого комплекса будет экономически выгодной. Первые шаги должны быть направлены на переобработку уже имеющихся данных, обработка которых проведена без применения современной технологии.

Литература

1. Кочнев В.А., Вальчак В.И., Гоз И.В., Поляков В.С. Проблемы сейсморазведки в Восточной Сибири и предлагаемые пути их решения. Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Труды конференции том 2, с. 82-87.
2. Кочнев В.А., Вальчак В.И., Бархатов И.Д., Гоз И.В., Поляков В.С. О новых результатах исследования «сейсмогравитационной» технологии, полученных при обработке сейсмических данных, зарегистрированных в Восточной Сибири. XVI Всероссийский семинар: Геодинамика, геомеханика и геофизика, посвященный 80-летию академика С.В. Гольдина.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕГРАДЫ

Сибиряков Е.Б.¹, Сибиряков Н.Е.²

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ²НГУ, г. Новосибирск

e-mail: sibiryakoveb@ipgg.sbras.ru, kolyasibir@yandex.ru

В данной работе численно исследовалась эффективность взрывного возбуждения поперечной упругой волны с использованием барьера в ближней зоне. Давление на стенки вычислялось с помощью итерационного метода решения уравнения Лапласа. Перемещение, в дальней зоне (в упругой среде), находилось с помощью модифицированного метода граничных элементов в достаточно широком диапазоне частот. Расчёт давлений на стенки показал слабое изменение максимальной разности давлений на противоположные стенки при увеличении количества зарядов. При этом наибольшее отношение давлений на противоположные стенки достигалась в случае одного заряда, помещённого между барьером и ближайшей стенкой ямы. Результаты вычислений вектора перемещений на некоторой глубине в полубесконечной среде показывают преобладание сдвиговой компоненты вектора перемещений в некотором диапазоне частот. Можно сделать вывод о перспективности использования барьеров для возбуждения поперечных волн в обводнённых грунтах.

В частности, авторы пришли к выводу, что:

1. Комбинированный способ моделирования источника, заключающийся в использовании решения уравнения Лапласа со смешанными граничными условиями в ближней зоне, и модифицированный МГЭ в дальней, представляется авторам перспективным.
2. Использовать барьеры для возбуждения SH волн в обводнённых средах для достижения максимально возможной разницы давлений на противоположных стенках, возможно.
3. Наибольшее отношение средних давлений на противоположные стенки достигается при подрыве одного заряда, помещённого между барьером и ближайшей стенкой ямы.
4. С ростом частоты подобная схема нагружения будет приводить на глубине к более сложным, мультиполюсным сдвигам.
5. На параметры излучаемых поперечных волн можно влиять как с помощью массивной преграды, так и размеров ямы.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАССИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ: ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Колесников Ю.И.^{1,2}, Федин К.В.^{1,3}

¹*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;* ²*СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск;*

³*НГУ, г. Новосибирск*

В последние десятилетия все больше внимания уделяется сейсмическим шумам как источнику информации о строении геологической среды, ее напряженно-деформированном состоянии, эволюции во времени и пространстве и т.д. Этим проблемам посвящены многочисленные публикации в научных журналах, доклады на конференциях, рабочие совещания, что говорит о несомненной актуальности исследований в данном направлении.

Метод стоячих волн в его пассивной модификации первоначально был разработан для обследования зданий и инженерных сооружений [Еманов и др., 2002]. В основе этого метода лежит идея выделения из шумового поля когерентных и подавления некогерентных его составляющих. Эффективность такой операции достигается применением специально разработанного программно-алгоритмического обеспечения на основе фильтров Винера. Экспериментальным обоснованием этого метода в приложении к задачам инженерной сейсмологии могут служить результаты проведенного авторами физического и компьютерного моделирования стоячих волн, возбуждаемых микросейсами в линейных объектах – балках и трубопроводах.

В дальнейшем развитие физических основ пассивного метода стоячих волн было продолжено в приложении к исследованию резонансных свойств верхней части разреза, выявлению и оконтуриванию пустот в приповерхностном слое, неоднородностей в линейных объектах (целиках горных выработок, стеновых конструкциях и т.д.). Особенностью проведения пассивных сейсмических наблюдений на таких объектах является невозможность располагать систему наблюдений вдоль профиля стоячей волны, то есть вдоль линии, на которой наблюдаются узлы и пучности стоячих волн. Как правило, точки наблюдений при исследовании таких объектов расположены на свободной поверхности, на которой в стоячих волнах всегда возникают пучности колебаний. Так как в разных точках наблюдений, за исключением простейшего случая однородного слоя постоянной мощности, частоты возбуждаемых микросейсами стоячих волн отличаются, то и связанные со стоячими волнами колебания в них когерентными, как правило, не являются. Таким образом, для данного класса объектов применение упомянутых выше фильтров Винера не эффективно, что подтверждено и результатами физического моделирования.

В данной работе на результатах физического моделирования и натуральных экспериментов показано, что альтернативным методом выделения стоячих волн из поля микросейсм может служить суммирование амплитудных спектров большого числа микросейсмических записей. Критерием для идентификации стоячих волн является регулярность резонансных пиков, появляющихся в результате накопления амплитудных спектров шумовых записей. Информативными параметрами, по которым можно судить о наличии неоднородностей в среде, ее резонансных свойствах и т.д. являются как частоты, так и амплитуды стоячих волн. На практике из этих двух параметров предпочтительнее использовать частоты, так как они

менее зависимы от характеристик источника (в данном случае микросейсмического поля), и на точность их определения намного меньше влияют параметры используемой аппаратуры, в частности ее амплитудно-частотные характеристики.

Литература

1. Еманов А. Ф., Селезнев В. С., Бах А. А. и др. Пересчет стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. — 2002. — Т. 43. — № 2.