

О СТРУКТУРЕ И СТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВЫСОКОБАРНОГО БЛЫБСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Камзолкин В.А., Видяпин Ю.П., Латышев А.В., ИФЗ РАН

Рассмотрены особенности структуры и структурная история блыбского высокобарного комплекса Передового хребта Б. Кавказа. Основные черты структуры Блыбского метаморфического комплекса (БМК) формировались в рамках субдукционно-эксгумационного цикла и совместных деформаций Блыбского и Урупского комплексов (УК), последовавших за их тектоническим совмещением. Исходя из имеющихся оценок параметров пикового метаморфизма для БМК, соответствующих температурному промежутку 630-700°C при давлениях 8-18 кбар, породы комплекса испытали погружение до уровня низов коры. Возрастные рамки субдукционно-эксгумационного процесса определяются, с одной стороны, полученными оценками возраста протолитов и метаморфизма и, с другой стороны, наличием в перекрывающих карбоновых молассах (верхний визе) обломков размытых пород БМК. Таким образом, предполагается продолжительность субдукционно-эксгумационного цикла соответствующая турне-нижнему визе.

Исходя из анализа основных структурных форм и распределения ориентировок плоскостных текстурных элементов в пределах опорных разрезов БМК, была составлена принципиальная схема структурной эволюции комплекса, включающая этапы: 1) накопление протолитов в среднем- верхнем девоне; 2) погружение протолитов до уровня низов коры и метаморфизм в условиях высоких давлений и умеренных температур; 3) эксгумация пород комплекса, сопровождавшаяся формированием системы разрывов и зон повышенной деформированности и бластомилонитизации, на фоне наложения ретроградного метаморфизма; 4) зеленосланцевый метаморфизм, совместный для пород БМК и УК; 5-6) два этапа, связанные с совместной деформацией БМК и УК, выразившейся в образовании двух систем крупных открытых складок северо-западного и северо-восточного простирания.

Для других, сравнительно меньших, выступов кристаллического основания зоны Передового хребта (Бескесский и Сахрайский выступы), не представляется возможным детально реконструировать историю структурно-метаморфической эволюции.

В целом рассмотрение структурных особенностей и структурной эволюции БМК позволяет сделать два основных вывода:

- 1) структура основного массива пород комплекса – Блыбского выступа, описывается не купольной, блоково-чешуйчатой моделью;
- 2) основным механизмом выведения толщ БМК из глубинных в верхние горизонты земной коры (эксгумация) являлось выдвижение по системе чешуйчатых надвигов.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Андреева Н.В., асп. ИФЗ РАН

zmv@ifz.ru

В данной работе были использованы материалы, полученные по результатам полевых работ, проходивших летом 2012 и 2013 года в составе геологического отряда ИФЗ РАН на территории Большого Кавказа (начальник отряда - А.В. Горбатилов).

Методом микросейсмического зондирования были пройдены два профиля, пересекающие Кавказ в двух различных по структуре и тектоническому положению районах – через северо-западную и центральную его части. В сочетании с геологическими и геоморфологическими исследованиями эти профили дают возможность наиболее полного изучения территории Большого Кавказа.

Сопоставление вышеуказанных разрезов с геологией и геоморфологией района показало, что разломы, напряженная складчатость, вулканизм и различные тектонические структуры имеют свое отражение на глубине. Кроме того, на профиле, проходящем через центральную часть Кавказа в районе Осетии, отчетливо выделяется крупное низкоскоростное тело. Данное тело имеет клинообразную форму и расположено под главным поднятием Кавказа. Оно начинается на глубине 10...12 км, оконтуриваясь в верхней части разреза более высокоскоростной подушкой, и тянется до глубин 50...60 км, плавно сужаясь к низу. Данная низкоскоростная неоднородность достаточно круто задирается в районе Главного Кавказского разлома и выходит на поверхность ближе к Гебско-Лагодехскому разлому. К этому месту приурочен молодой вулканизм района, напряженная складчатость и молодые интрузии.

На Северо-Западном профиле, проходящем в Туапсинском районе, такого тела не наблюдается. Хотя в районе осевой зоны тоже есть участок пониженных скоростей, но он менее контрастен. Наиболее низкие скорости этого профиля приурочены к зоне предкавказского прогиба. Кроме того, отчетливо выделяются зоны Ахтырского и Пшехско-Адлерского разломов.

Таким образом, можно сделать вывод, что под главным поднятием Кавказа существует низкоскоростное тело, похожее на корни гор.

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ДАЕК ГУДЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Федюкин И.В., Шаццлло А.В., ИФЗ РАН
shatsillo@gmail.com

Гуджирский интрузивный комплекс широко распространен на территории западного Забайкалья и представлен дайковыми роями основного и кислого состава, а также штоками гранитов, прорывающими метаморфические образования протерозоя и позднепалеозойские граниты Ангаро-Витимского батолита. Основной ареал распространения комплекса расположен в долинах рек Витим, Калакан, Туколама, Олгонда и охватывает площадь около 5000 км². В данном районе расположено несколько грабенов, выполненных эффузивными аналогами гуджирского комплекса (хилокская и др. свиты) и перекрытыми континентальными осадочными толщами гусиноозерской серии, охватывающей стратиграфический интервал от верхней юры до апта. Возраст гуджирского комплекса и его эффузивных аналогов является дискуссионным, т.к. по положению в разрезе он должен быть не моложе поздней юры (т.к. перекрывается гусиноозерской серией), в тоже время существующие геохронологические определения (Ar-Ar метод, [Ступак, Травин, 2004]) попадают в диапазон 120-100 млн. лет, что соответствует концу раннего мела (апт и альб).

В долине реки Витим (между устьями р. Каренга и р. Калар) нами было изучено 32 дайки гуджирского комплекса, часть коллекции прошла полный цикл палеомагнитных лабораторных исследований. Большая часть образцов несет интерпретируемый палеомагнитный сигнал. Анализ диаграмм Зийдervельда показывает, что помимо высокотемпературных «конечных» компонент (далее не рассматриваются) в средне-высокотемпературном спектре выделяется «промежуточная» компонента намагниченности прямой полярности. Данную компоненту намагниченности мы рассматриваем как вторичную (метахронную). Близкое направление было получено нами ранее по пермь-триасовым вулканитам южной Бурятии. Рассчитанный полюс (географическая система координат) совпадает с полюсами для середины мела, полученными по ЮЗ и СВ окраинам Сибирской платформы [Метелкин и др., 2007; Павлов и др., 2004]. Учитывая эти данные, можно говорить о меловом послескладчатом перемагничивании гуджирского комплекса. В качестве нижней возрастной границы перемагничивания может рассматриваться минимальный возраст гусиноозерской серии (апт), с которой эффузивные аналоги гуджирского комплекса совместно деформированы. В пользу мелового возраста метахронной компоненты свидетельствует тотальное проявление намагниченности прямой полярности, что может соответствовать суперхрону прямой полярности Джалал (124-84 млн. лет). Вероятно, существующие Ar-Ar определения по породам гуджирского комплекса [Ступак, Травин, 2004] не отражают время внедрения интрузий, а фиксируют пик последующего термального события, приведшего, в том числе, к перемагничиванию пород. Вероятно, это событие можно связать с финальной стадией закрытия Монголо-Охотского океана приведшего к консолидации Северной Евразии с Сино-Корейскими кратонными блоками.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. В изученном регионе постмеловые тектонические процессы (в первую очередь связанные с формированием байкальского рифта) не привели к существенным блоковым подвижкам (локальным наклоном и разворотам блоков).

2. Положение рассчитанного полюса и его сходимость с близковозрастными полюсами Сибири [Метелкин и др., 2007; Павлов и др., 2004] и Восточно-Европейской платформы для интервала 110-100 млн. лет [Besse, Courtillot, 2002] указывают на полную консолидацию северной Евразии в это время.

3. Во время формирования метакронной намагниченности, которое мы оцениваем серединой мела, изученный регион располагался между 55 и 60-й широтой северного полушария, т.е. располагался немного севернее своего современного положения.

Список литературы:

1. Метелкин Д.В., Казанский А.Ю., Брагин В.Ю., Цельмович В.А., Лавренчук А.В., Кунгурцев Л.В. Палеомагнетизм позднемеловых интрузий Минусинского прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 2. С. 238–253.
2. Павлов В.Э., Галле И., Шаццло А.В., Водовозов В.Ю. Палеомагнетизм нижнего кембрия долины нижнего течения р. Лена – новые ограничения на кривую кажущейся миграции полюса Сибирской платформы и аномальное поведение геомагнитного поля в начале фанерозоя. 2004 // Физика Земли. № 2. С. 28–49.
3. Ступак Ф.М., Травин А.В. Возраст позднемезозойских вулканогенных пород Северного Забайкалья (по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования) // Геология и геофизика, 2004, Т. 45, № 2. С. 280–284.
4. Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field in the last 200 millions years // J. Geoph. Res. 2002. V. 107. № B11.

ПОЛЕ СОВРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОРЫ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ И СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ

Саввичев П.А., Овчаренко О.О., МГУ, ИФЗ РАН

Реконструкция современных напряжений в коре Западной Европы и Средиземноморья выполнена на основе каталога механизмов очагов землетрясений Европейского Средиземноморского Сейсмологического Центра (ЕССЦ) с использованием метода катакластического анализа разрывных смещений [Ребецкий, 2007]. Реконструкция выполнялась для двух диапазонов $1.8 \leq M_b \leq 5.0$ (858 событий) и $4 \leq M_b \leq 6.5$ (690 событий).

Результаты реконструкции напряжений позволили выявить ряд особенностей поля напряжений, которые характеризуют современную стадию деформирования коры. Было установлено, что для коры в окрестности Эгейской впадины наблюдается радиально-концентрический тип ориентации главных осей напряжений, связанный с субдукцией Африканской плиты. Для обширных областей коры Анатолии имеют место режимы горизонтального растяжения, отвечающие ориентации крупных грабенов. В тоже время в коре южного участка Рейнского грабена в настоящий период времени существует режим горизонтального сдвига, при этом ось напряжений максимального горизонтального сжатия ориентирована субортогонально простиранию грабена.

Для коры восточной части Альп и расположенной к югу долины имеет место сочленение двух антиподных геодинамических режимов. В коре хребтов имеет место тип напряженного состояния горизонтального сжатия, а в коре долины - горизонтального растяжения. Подобное сочетание геодинамических типов напряженного состояния ранее отмечалось и для горных орогенов Центральной Азии [Rebetsky et al., 2012]

НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ПО МАГНИТОВАРИАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Орехова Д.А., асп. ЦГЭМИ ИФЗ РАН
ordaal@gmail.com

Северный Ледовитый океан имеет сложное геологическое строение, особенностью которого является распространенность на части акватории при типично океанических глубинах литосферы по типу близкой к континентальной. В данной работе проведено трехмерное численное моделирование геоэлектрического разреза центральной части океана по магнитовариационным данным, полученным на дрейфующих станциях “Северный полюс”, с целью определения границ распространения континентальной литосферы.

Обработка и интерпретация данных были выполнены на основе новой теории комплексных магнитных индукционных векторов (МИВ). Установлено, что для интерпретации МИВ необходимо использовать более сложный источник первичного поля, нежели традиционная плоская волна. Расчеты показали, что распределение такого параметра МИВ как большая полуось зависит в основном от геометрии источника, а малых – от геоэлектрического разреза. Поэтому была реализована следующая идея - параметры эквивалентного источника магнитных вариаций были определены на основе естественного распределения больших полуосей. В качестве такого источника была выбрана пара вертикальных магнитных диполей, расположение которых относительно области интерпретации было определено с помощью нейросетевого метода. Параметры геоэлектрического разреза были определены с помощью интерпретации распределения малых полуосей на основе вычислительных моделей, включающих эквивалентный источник вариаций.

В результате была получена модель геоэлектрического разреза океана для области регионального масштаба, имеющая следующие особенности строения:

- поверхность проводящего основания плавно понижается от оси хребта Гаккеля в сторону хребта Ломоносова;
- имеется резкий подъем проводящего основания под восточным склоном хребта Менделеева-Альфа на границе с Канадской котловиной;
- континентальный тип литосферы под котловинами Макарова и Подводников;
- континентальный тип литосферы под большей частью хребта Менделеева-Альфа, на границе с Канадской котловиной, резко переходящий в океанический.

2D+ ИНВЕРСИЯ НА ПРОФИЛЕ ЖИЗДРА НА МАССИВЕ МТ/МВ ЗОНДИРОВАНИЙ KIROVOGRAD

Варенцов И.М., Лозовский И.Н., асп. ЦГЭМИ ИФЗ РАН

Проект KIROVOGRAD представляет собой первый в России масштабный массив синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований. Целью исследований является изучение геоэлектрической структуры литосферы и прослеживание коровых аномалий электропроводности, ассоциированных с древними платформенными шовными зонами и областями современной активизации. С 2006 по 2014г. с применением передовых методов и технологий было выполнено более 10 профилей и 200 синхронных зондирований. Таким образом, обеспечено достаточно равномерное покрытие обширной территории (49-55°с.ш., 31-37°в.д.) со сгущением наблюдений в пределах ярких аномальных структур (рис. 1).

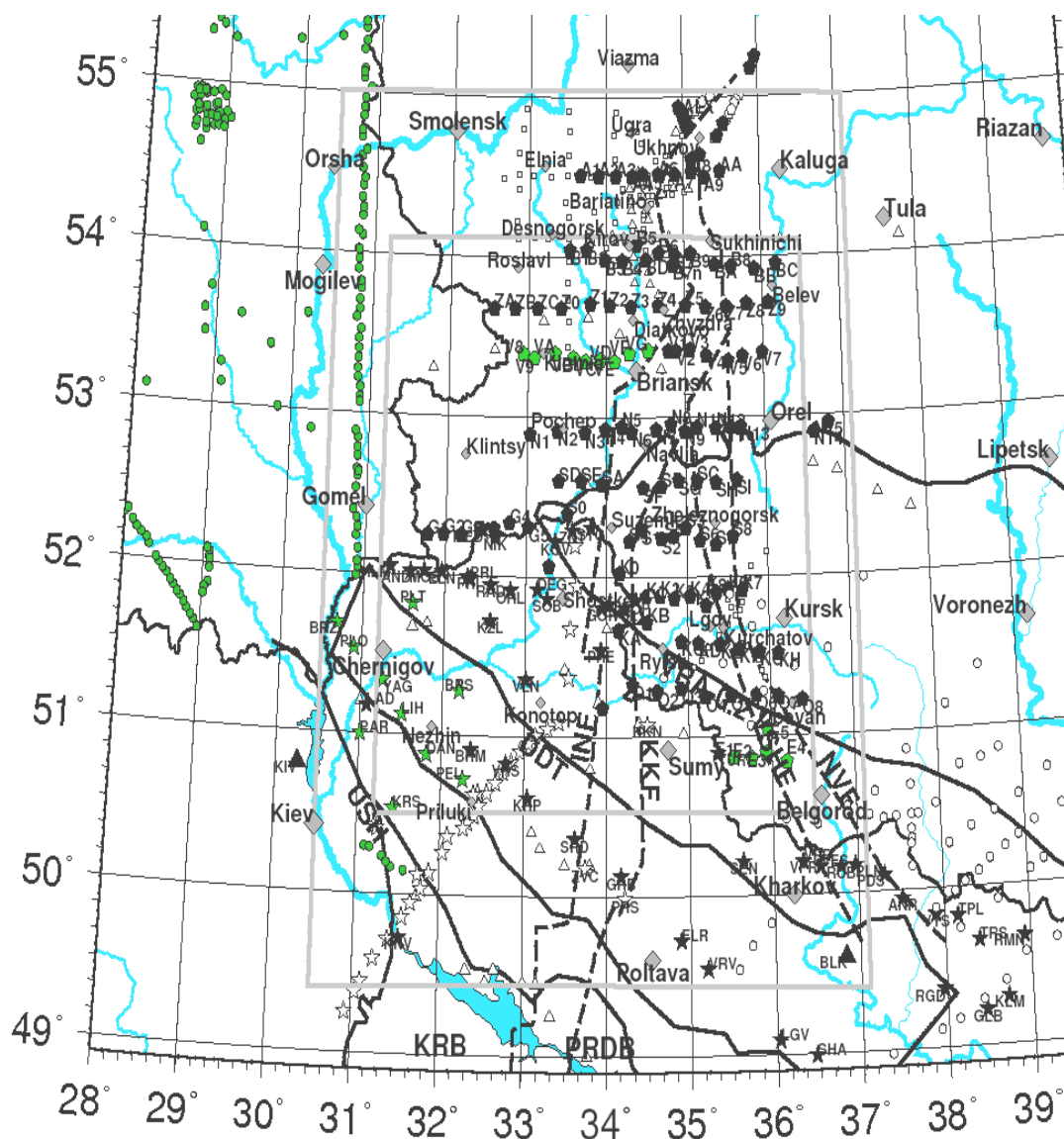


Рис. 1. - Карта фактического материала массива KIROVOGRAD, зеленым показаны зондирования, выполненные или внесенные в базу данных проекта в 2013 г..

Профиль ЖИЗДРА, проходящий севернее Брянска по 53.7°с.ш., представляется наиболее благоприятным для проведения интерпретации полученных МТ/МВ данных средствами 2D инверсии в силу их минимальной искаженности 3D эффектами. Для его интерпретации использовалась методика совместной 2D+ инверсии МТ/МВ данных, позволяющая анализировать сводный 8-компонентный ансамбль данных двух мод импеданса, типпера и горизонтального МВ отклика с учетом имеющихся 3D искажений [Варенцов, 2002, 2011; Варенцов и др., 2012].

Использована схема параметризации модели с коррелированными изменениями сопротивлений ячеек инверсии [Варенцов, 2002]. 2D структура модели подбиралась до глубины 100 км, соответствующей глубинности зондирований. Инвертируемый 8-компонентный ансамбль данных в 13 пунктах зондирования включал две моды импеданса (ЕР и НР, в каждой моде - кажущееся сопротивление и фазу), типпер (Re и Im) и горизонтальный МВ отклик.

Итоговая модель 2D+ инверсии показана на рис. 2. Наблюдается надежная сходимость итераций инверсии при отчетливой устойчивости основных геоэлектрических структур на заключительном этапе итерационного процесса. Нормы достигнутых абсолютных невязок для псевдоразрезов инвертируемых и модельных компонент данных составляют, соответственно, 0.036, 0.073 и 0.057 для амплитуды горизонтального МВ отклика и Re, Im частей типпера, 9.6°, 4.3° и 3.7° - для импедансных фаз (ЕР и НР) и фазы горизонтального МВ отклика.

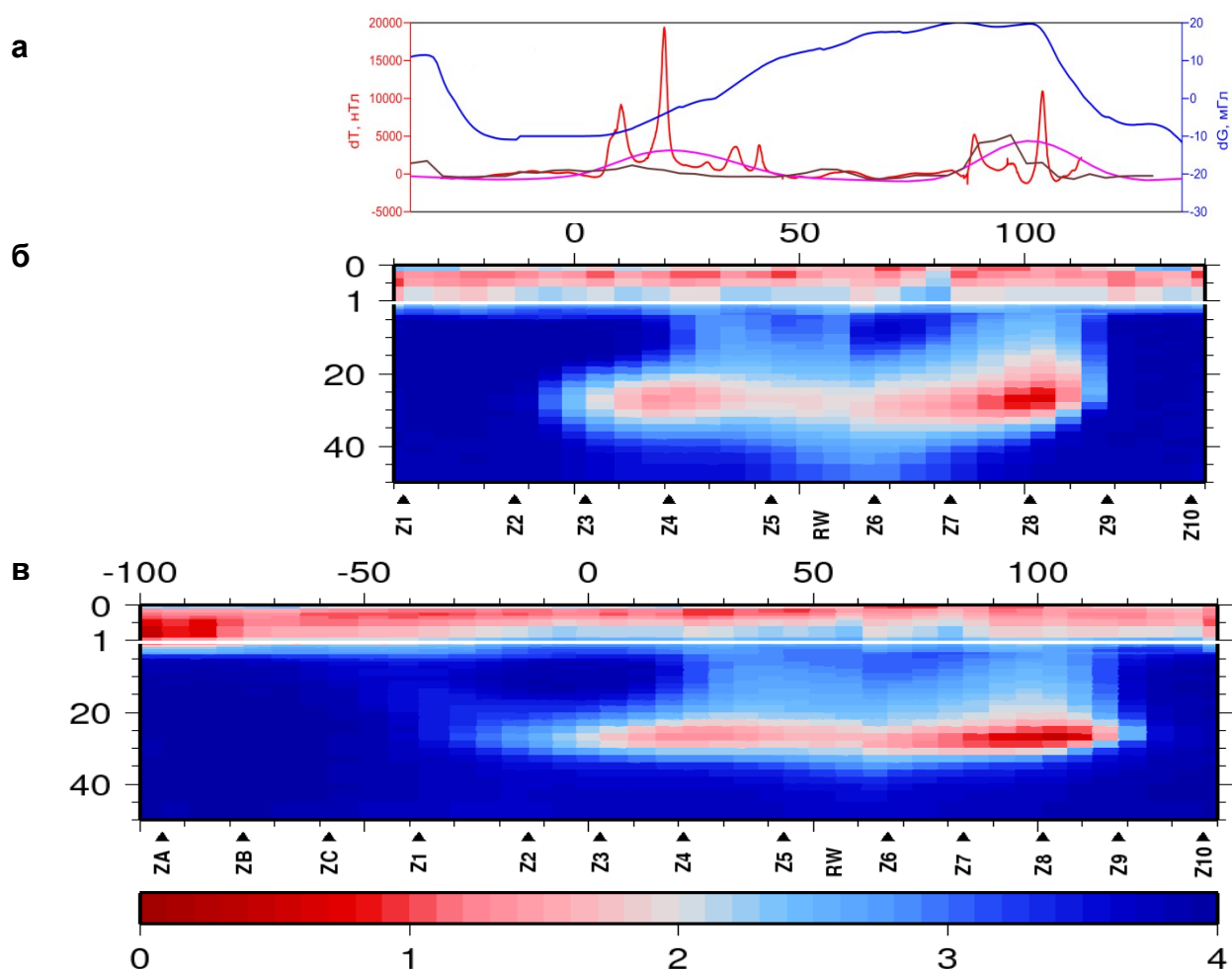


Рис. 2. - Геоэлектрические модели (Омм, lg-шкала) вдоль профиля ЖИЗДРА по результатам совместной 8-компонентной 2D+ инверсии МТ/МВ данных (**б** – предшествующая модель [Варенцов и др., 2012], **в** – новая модель по расширенному на запад массиву зондирований) и профильные графики потенциальных полей (**а**, синий – аномалия Буге, другие цвета – магнитные аномалии разного масштаба [Абрамова и др., 2012]); начало горизонтальных координат (в км) – на меридиане 34°в.д., запад – слева, восток – справа.

В представленной модели доминирует субгоризонтальный коровый проводник шириной ~120 км с глубиной верхней кромки ~20 км и продольной проводимостью, достигающей 1500-2000 См. Его мощность составляет ~10 км, что несколько меньше данной мощности в предшествующей модели (рис. 2б). Данная аномалия электропроводности хорошо коррелируется с положительной аномалией Буге (рис. 2а). Выше нее просматриваются две менее контрастные вертикальные проводящие зоны с сопротивлением 100-300 Ом, приуроченные к глубинным разломным зонам, проявляющимся в положительных магнитных аномалиях разного масштаба (рис. 2а) [Варенцов и др., 2012, 2013; Алексанова и др., 2013; Абрамова и др., 2012]. Приповерхностные проводящие осадки (с суммарной продольной проводимостью до 50 См) выделяются на глубине менее 500 м с трендом увеличения мощности и проводимости в западном направлении (к Оршанской впадине). Ниже сопротивление вмещающей среды выходит на уровень, превышающий $3 \cdot 10^3$ Ом.

Список литературы:

1. Варенцов Ив.М., Ковачикова С., Куликов В.А. и др. Синхронные МТ и МВ зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 90-107
2. Алексанова Е.Д., Варенцов Ив.М., Куликов В.А. и др. Глубинные аномалии электропроводности в северной части Воронежской антеклизы // Геофизика. 2013. №2. С. 32-38
3. Варенцов Ив.М., Гордиенко В.В., Гордиенко И.В. и др. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы). Киев: Логос. 2013. 118 с
4. Варенцов Ив.М., Алексанова Е.Д., Баглаенко Н.В. и др. Массив синхронных МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD: первые модели 2D инверсии // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 1. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 188-194
5. Абрамова Д.Ю., Абрамова Л.М., Варенцов Ив.М. и др. Корреляция аномалий постоянного магнитного поля и коровых геоэлектрических структур на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 62-69
6. Варенцов Ив.М. Общий подход к решению обратных задач магнитотеллурики в кусочно-непрерывных средах // Физика Земли. 2002. № 11. С. 11-33
7. Варенцов Ив.М. Прагматическая 2D инверсия синхронных ансамблей МТ/МВ откликов // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 2. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 17-21

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ КУРЛО-КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ

Сдельникова И.А., асп. ИФЗ РАН
irune4ka@list.ru

Геодезический мониторинг поверхностных деформаций вместе с сейсмическим мониторингом в совокупности представляют собой наиболее перспективный подход к пониманию закономерностей развития глубинных геодинамических процессов в тектонически активных регионах. Имеющиеся многолетние спутниковые геодезические данные (GPS) в районе Курило-Камчатской зоны субдукции позволили оценить в общих чертах пространственное распределение деформаций, осреднённое за весь период наблюдений (1997-2008 гг).

В данной работе сделана попытка проследить вариации этого распределения во времени за более короткие периоды (3-6 месяцев) с целью сопоставить их, в дальнейшем, с развитием сейсмического процесса. В качестве исходных данных используются временные ряды смещений спутниковых геодезических пунктов GPS. Основная проблема при анализе короткопериодических (до 1 года) вариаций в таких рядах состоит в устранении короткопериодических инструментальных шумов, обусловленных особенностями самой системы измерений GPS.

Целью данной работы является выработка оптимальной методики фильтрации таких шумов. Один из возможных подходов состоит в анализе разностных относительных смещений измерительных пунктов для взаимного исключения общих помех в уравнениях наблюдений. Обоснованность такого подхода следует из предположений об общих факторах помех, прежде всего сезонных (с периодом 1 год), присутствующих в анализируемых рядах исходных смещений измерительных пунктов, которые расположены на сравнительно небольшом взаимном удалении. Необходимость детализации по времени результатов геодезического мониторинга в районе Курильских островов и на Камчатке обусловлена, прежде всего, периодичностью, с которой происходят заметные сейсмические события в данном регионе.

НАБЛЮДЕНИЯ МЕТОДОМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ СКОВОРОДИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2011 ГОДА

Николаев Л.Д., Быкова В.В., Калинина А.В., Вакарчук Р.Н., Аммосов С.М.

14 октября 2011 г. около 15 км к северо-западу от г. Сковородино произошло землетрясение с $M_w=6.0$. Это землетрясение вызвало большой интерес среди специалистов. Магнитуда Сковородинского землетрясения наибольшая в сейсмической истории региона. В результате эпицентральных наблюдений, проведенных сетью сейсмических станций ИФЗ РАН в октябре-декабре 2011 г., удалось не только зарегистрировать главный толчок Сковородинского землетрясения и определить с высокой точностью положение его гипоцентра, но и получить достаточно полное представление об афтершоковой активности в очаговой зоне. Было зарегистрировано более 1300 событий. На основании анализа более 10000 записей были сделаны следующие выводы:

1. Сковородинское землетрясение 2011 г. – выдающееся событие региона, превосходящее магнитуды известных здесь ранее землетрясений на 2...2.5 единицы.

2. Наличие двух выраженных скоплений эпицентров на западе и востоке облака афтершоков, различающиеся а) графиком повторяемости, б) уровнем и временным ходом выделившейся энергии и в) глубиной гипоцентров, свидетельствует о сложном строении очага. Обобщенно можно представить очаг как сдвиговую подвижку по субвертикальной плоскости близширотного простирания размером 17 км × 17 км, средняя величина подвижки составляет 63 см, что как минимум на 30% превосходит величины, характерные для землетрясений с $M=6.0$.

3. Афтершоковая последовательность аномальна – в ней отсутствуют достаточно сильные сейсмические события ($M \geq 3.5$). Это согласуется с аномально большой подвижкой в очаге и большой магнитудой главного толчка по отношению к зарегистрированным здесь ранее сейсмическим событиям.

В ходе экспедиционных работ в июле 2013 г. были проведены наблюдения методом микросейсмического зондирования очаговой зоны Сковородинского землетрясения с целью обнаружения 3D неоднородностей геологической среды и уточнения ее строения.

В предлагаемой методике для обнаружения неоднородностей геологической среды используются пространственные свойства спектральных характеристик микросейсмического сигнала, регистрируемого одной или несколькими станциями по профилям в пределах выбранной площади. При спектральном анализе случайная составляющая микросейсм компенсируется путем усреднения спектров сигналов по значительному интервалу времени. Для корректной интерпретации полученных данных время регистрации микросейсм в каждой точке наблюдения было не меньше интервала стационарности сигнала в наблюдаемом диапазоне частот. Всего наблюдения были проведены в 21 точке по трем профилям (примерно соответствующим восточному и западному скоплениям афтершоков и направлению простирания очаговой плоскости).

Кроме того, для снятия влияния глобальных и локальных источников микросейсм одна из станций (базовая) была установлена на постоянную регистрацию. В результате нормировки полученных спектров мощности по соответствующим спектрам базовой станции были построены карты распределения относительных амплитуд микросейсм для изучаемого диапазона частот, характеризующие контрастность скоростных характеристик среды. Привязка результатов наблюдений по глубине $N(f)$ проводилась с учетом соотношения: $N(f) \approx 0,5 \times \lambda(f)$ (где $\lambda(f)$ — длина волны), т.е. до глубин ~15 км, учитывая частотные характеристики используемой аппаратуры.

В результате выявлены характеристические черты исследуемой области на разных глубинах. Детальный анализ полученных результатов продолжается.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ОТ ДЕТАЛЬНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Фаттахов Е.А., Кузьмин Ю.О., ИФЗ РАН

В настоящее время, на рубеже веков и тысячелетий, происходит радикальный пересмотр взглядов на роль геодинамического фактора при оценке экологического, социально-экономического и страхового риска экологически опасных и особо ответственных объектов.

Проведенные в последние годы исследования убедительно доказывают, что наиболее опасными для человека и среды его обитания являются *современные* (происходящие в настоящее время) деформационные процессы протекающие в зонах разломов.

Одним из самых основных методов измерения вертикальной компоненты разломных зон было и остается в настоящее время геометрическое нивелирование. Однако, следует учитывать, что при проведении дискретных (повторных) геодезических наблюдений принципиально важный вопрос заключается в установлении оптимальной пространственно-временной детальности измерений. Как правило, большая пространственная детальность наблюдений характерна для относительно коротких наблюдательных сетей, и наоборот. При этом для нивелирных наблюдений, из-за необходимости пешей передачи отметок между реперами, существует ограниченность по длительности между повторными измерениями. Именно поэтому значительные по пространственному охвату нивелирные наблюдения имеют редкую частоту опроса и малую густоту наблюдательных пунктов.

В этой связи становится очевидна необходимость проводить наблюдения, тщательно соблюдая принцип соответствия между динамическими свойствами объекта и пространственно-временной детальностью измерений. Иными словами, нельзя редкими пространственно-временными сетями производить измерения локальных, быстротекущих процессов.

В качестве примера использованы данные пространственно-временных изменений вертикальных движений земной поверхности по различным станциям (секциям) нивелирного профиля в Камчатском сейсмоактивном регионе. Измерения проводились 2 раза в неделю, в течении двух с половиной лет. Густота заложения пунктов наблюдений составляет 50 метров [*Kuzmin and Churikov, 1998; Кузьмин, 1999*]. Анализ данных пространственно-временных измерений позволил определить оптимальные соотношения частоты опроса и расстояния между реперами для детального анализа разломных зон.

Список литературы

1. *Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: АЭН, 1999.- 220 с.
2. *Кузьмин Д.К., Кузьмин Ю.О., Фаттахов Е.А.* Моделирование современных геодинамических процессов в разломных зонах // «Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса». Материалы всероссийской конференции. Москва, 25-29 ноября 2013 г. М.: ООО«ТиРу», 2013. – С. 90-99.
3. *Kuzmin Yu. O., Churikov V.A.* Relation between deformation and seismicity in the active fault zone of Kamchatka, Russia // *Geophysical Journal International*, 1998. v.133, pp.607-614.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАД АКВАТОРИЕЙ ТИХОГО ОКЕАНА И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЬЮ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Макушин А.В., асп. ИФЗ РАН
malexeum@yandex.ru

В докладе описаны методические особенности гравиметрической съемки с борта самолета лаборатории АН-26БРЛ. Работы проводились сотрудниками ИФЗ РАН осенью 2013 года над резкоаномальными зонами Тихого океана и геотектоническими структурами Камчатского полуострова в районе Кроноцкого и Камчатского заливов в рамках выполнения контракта Министерства обороны РФ.

В докладе будут затронуты вопросы создания гравиметрического комплекса, проверки моделей аномалий гравитационного поля и построения гравиметрического каталога на площади 200 тыс.кв.км. Также будут перечислены возможности повышения точности и эффективности аэрогравиметрической съемки для высокоградиентных зон и территорий со сложным рельефом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ НА ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОСТАМЕНТА ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО ПУНКТА ПЕРВОГО КЛАССА

Дробышев М.Н., асп. ИФЗ РАН

В докладе рассмотрены результаты эксперимента по наблюдению за угловым и вертикальным перемещением постаumenta гравиметрического пункта первого класса в геофизической обсерватории «Запольское».

Дана оценка угловых перемещений по данным наклономеров и электролитических уровней. Суточные изменения наклона составляют 1 угловую секунду, а сезонные около 15 угловых секунд. Выполнен анализ зависимости показаний приборов от изменения температуры.

Вертикальное перемещение оценивалось в диапазоне от 15 секунд до 3 суток с помощью гравиметрических наблюдений. Для исключения погрешностей гравиметрических наблюдений была создана математическая модель гравиметра и выполнена оценка ее адекватности. Математическая модель гравиметра позволила вычислить поправку, компенсирующую влияние сейсмических событий. Влияние шума уменьшилось на 60-70%. В результате после введения поправок, учитывающих не только сейсмические события, но и влияние давления. Был получен гравиметрический ряд, позволивший вычислить уточненные значения дельта-фактора и, в конечном счете, оценить вертикальное перемещение постаumenta под влиянием приливного эффекта, достигающего 9 см.

Перемещения в диапазоне 0,01...15 секунд оценивались по данным сейсмостанции и составили порядка $1 \cdot 10^{-7}$ м.

Особенностью GPS-наблюдений является то, что для оценки перемещения точки земной поверхности метод измерений с базовыми станциями оказался неприемлемым. В связи с этим возникла необходимость создания алгоритмов и программного обеспечения, учитывающего ионосферную и тропосферную поправку, а так же ошибки положения и времени спутников. В докладе приводится обзор существующих технологий.

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ ГЛОНАСС- И GPS- ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Крупенникова И.С., Гусева Т.В., ИФЗ РАН
irika_81@mail.ru, guseva@ifz.ru*

Несмотря на то, что при изучении современных движений земной коры на геодинимических полигонах с использованием ГНСС-измерений, регистрация спутниковых сигналов ГЛОНАСС ведется наряду с сигналами GPS, в обработку до сих пор включаются только последние. Это объясняется несопоставимостью получаемых значений геодезических параметров. Какова же реальная ситуация на сегодняшний день? В настоящее время накоплен большой объем качественных повторных спутниковых измерений с использованием GPS+ГЛОНАСС приёмников на локальных геодинимических сетях АЭС и ГАЭС. В предлагаемом исследовании ставится задача оценить реальную точность ГНСС-измерений и сравнить результаты измерений GPS и ГЛОНАСС.

В качестве объекта исследования выбраны данные ГНСС измерений на пунктах геодинимической сети Загорской гидроаккумулирующей станции. На пересеченной местности площадью $6 \times 6,5$ км² создана сеть из 34 пунктов, основательно закрепленных в грунте и на инженерных сооружениях, обеспечивающих в основном принудительное центрирование принимающих антенн.

Высокоточные измерения ГНСС методом [дифференциального позиционирования](#) в статическом режиме выполняются два раза в год с использованием 10-12 комплектов двухчастотных приемников фирм Javad и Topcon с одновременной регистрацией сигналов GPS (30 спутников) и ГЛОНАСС (24 спутника) с [интервалом регистрации](#) 30 с при превышении спутников над горизонтом больше 10°. Программа наблюдений предусматривает различную длительность непрерывной регистрации данных: от 6 часов до нескольких суток.

Обработка «сырых» данных выполняется компьютерной программой Bernese 5.0. В блок анализа данных включены геоцентрические координаты (X, Y, Z) и геодезические координаты (широта, долгота и высота), полученные по результатам двух циклов измерений в ноябре 2012 г. и ноябре 2013 г. В качестве опорных использованы станции международной геодинимической сети IGS: MDVJ, SVTL, ZECK, KHAR. Выполненное исследование показывает, что использование программы обработки прецизионных измерений GPS и ГЛОНАСС на геодинимических сетях позволяет на современном этапе развития спутниковой геодезии исследовать сопоставимость точности координат с применением разных навигационных систем. В результате получена зависимость погрешности координат GPS и ГЛОНАСС от длительности измерений спутниковых сигналов. Эту зависимость, представленную в виде степенной функции, можно предложить в качестве критерия выбора режима наблюдений при проведении спутникового мониторинга на геодезических сетях ответственных инженерных объектов (АЭС, ГЭС, ГАЭС и др.) при геодинимических исследованиях. Различия координат, определенных по одновременным измерениям GPS и ГЛОНАСС, лежат преимущественно в пределах ± 10 мм, при максимальных отклонениях равных 30 мм. Значения, превышающие эти пределы, обычно связаны с неблагоприятными условиями наблюдений. Возможно, выявленные различия координат двух систем вызваны недостаточным качеством измерения времени на спутниках ГЛОНАСС и будут уменьшаться с повышением точности часов.

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИЛИВНОГО ОТКЛИКА СРЕДЫ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ И НЕАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ

Молоденский М.С., ИФЗ РАН
[*molodenskiy@mail.ru*](mailto:molodenskiy@mail.ru)

Предложен новый метод определения временных изменений приливного отклика среды в сейсмоактивных областях, позволяющий повысить чувствительность и разрешение во времени стандартных методов скользящего анализа более, чем на порядок. Приведены результаты сравнительного анализа временных изменений приливного отклика среды в спокойной сейсмической обстановке (по данным наблюдений на ст. Талгар, Казахстан) и в пространственно-временных окрестностях девятибалльного землетрясения в Японии 11.03.2011. Показано, что наблюдаемые изменения приливного отклика в Японии значительно превосходят те же изменения в Талгаре. Это свидетельствует о том, что изменения тектонических напряжений перед катастрофическими землетрясениями могут быть обнаружены по временным изменениям приливного отклика.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЛИВНЫХ ЭФФЕКТОВ В ТВЕРДОЙ ЗЕМЛЕ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

А.А. Спесивцев, аспирант МГУТuK (МИИГАuK)
spesivtsev.a.a@gmail.com

В настоящее время, в связи с развитием техник и технологий космической геодезии, появляются новые возможности изучения геодинамических явлений геодезическими методами.

Эффективным методом изучения геодинамических процессов является спутниковый метод, основанный на наблюдении спутников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В настоящей работе выполнены определения изменения вертикальной компоненты положения постоянно действующей ГНСС-станции, обусловленные приливными эффектами. Выполнение абсолютных определений положения пункта производилось с использованием современной технологии обработки спутниковых измерений - Precise Point Positioning (PPP).

Проведен спектральный анализ временных рядов изменения высоты пункта и получены числовые значения периодов приливных волн выявленных в результате анализа измерений. Показано, что спутниковые наблюдения, демонстрируя хорошее временное разрешение и плотное географическое покрытие Земли, могут использоваться для более детального изучения приливных явлений.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОЦЕНКИ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

П.Н. Дмитриев, В.И. Голубев, ИФЗ РАН

Одним из перспективных подходов к определению смещений земной поверхности, вызванных разнообразными физическими процессами (землетрясения, оползни, просадки на разрабатываемых месторождениях, смещение или таяние ледников), является использование спутниковой радарной интерферометрии. Процедура оценки полей смещений включает в себя совместную обработку пары или серии спутниковых снимков области интереса, сделанных в последовательные моменты времени.

Необходимо отметить, что процедура обработки спутниковых снимков многостадийная и математически сложная процедура, включающая пространственную и временную фильтрацию, развёртку фазы и введение поправок за различные факторы: неточность знания орбиты, изменение состояния атмосферы, ошибки цифровой модели рельефа и т.д. Одной из особенностей процесса обработки является наличие множества различных параметров (размеры анализируемого участка, положение области отсчёта, характеристики пространственных и временных фильтров, номера отбракованных в силу потери когерентности снимков). В случае плохой когерентности или слабого отражения спутникового сигнала от природных отражающих площадок, выбор значений параметров может заметно повлиять на получаемые оценки полей смещений. Рассмотрим в качестве примера пакет StaMPS, предназначенный для обработки серий радарных спутниковых снимков методами устойчивых отражателей. В зависимости от количества снимков и размера анализируемой области время одного полного цикла работы пакета StaMPS может занимать часы, и даже дни. Авторами доклада был предложен подход к проведению многовариантного счёта в полуавтоматическом режиме с последующей оценкой качества результата. Метод реализован в программе OIL_SAR, являющейся дополнением к пакету StaMPS. Кроме того, расщепление задачи в пространстве параметров позволяет выполнить обработку в параллельном режиме на вычислительном кластере, тем самым, обеспечивая приемлемое время работы.

Описываемая методика многовариантного счёта была применена для обработки серии снимков территории Ромашкинского нефтяного месторождения, которое находится в республике Татарстан. Длительный непрерывный процесс откачки углеводородов и закачки вытесняющего флюида приводит к движениям земной поверхности и техногенной индуцированной сейсмичности. В середине 80х годов в области Ромашкинского месторождения был начат сейсмологический мониторинг, а в 1991 были созданы профили повторных нивелировок. Измерения на региональных профилях были выполнены в 1992 – 1993 и на протяжении 2001 – 2006 гг. Измерения на локальных профилях были проведены в 1992, 1993, 1995, 1996, и 1998 – 2006 годах.

В данной работе проведено сравнение смещений поверхности, оцененных с использованием программы OIL_SAR, с данными наземных измерений, показавшее их совпадение с достаточной степенью точности. Для этого использованы снимки с 278D трека спутника ENVISAT за период 2004 – 2009 гг. для окрестности г. Альметьевска, предоставленные Европейским космическим агентством ESA в рамках проекта C1P 9664.

УСТРОЙСТВО ПУНКТА РЕГИСТРАЦИИ GNSS НАБЛЮДЕНИЙ В ИФЗ РАН

Передерин Ф.В., ИФЗ РАН

Представлено описание наземного пункта регистрации сигналов глобальных навигационных систем (GNSS), размещенного в здании Института физики Земли РАН. В качестве регистратора используется приёмник JAVAD ALPHA, оснащенного антенной JAVAD G3T-L. Антенна установлена на крыше здания Института. Регистратор и портативный компьютер, предназначенный для сбора данных и для управления приёмником, размещены в телекоммуникационном ящике, находящемся в здании Института. Полученные данные передаются в центр хранения и обработки данных, также размещенных в ИФЗ РАН. Для регистрации, передачи и хранения GNSS-сообщений используется оригинальное программное обеспечение, разработанное ранее [Бургучев]. Доступ к компьютеру регистратора возможен как с консоли, так и по локальной вычислительной сети ИФЗ РАН. Для мониторинга работы пункта разработан удобный веб-интерфейс. При размещении такого рода пунктов в местах без доступа к широкополосным каналам связи, за сетевыми экранами и/или NAT-серверами, доступ к пункту может осуществляться с использованием технологии частных виртуальных сетей [Алешин, 2014a].

Планируется, что пункт регистрации будет использоваться для новых разработок, как базовая станция при проведении геодезических работ в московском регионе, а также для передачи данных для работающего сервиса мониторинга ионосферы [Алешин, 2014b], функционирующего под эгидой Росгидромета [Аллатов,].

Список литературы:

1. Бургучев С.С., Организация сбора данных систем спутникового позиционирования в сети стационарных приемных пунктов. // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2012. №12, с. 28-35
2. Алешин И.М., Васильев А.Е., Холодков К.И., Передерин Ф.В. Использование технологий виртуальных частных сетей для организации оперативных систем геофизических наблюдений // Сейсмические приборы. 2014 (а). Т. 50, № 1.
3. Алешин И.М., Аллатов В.В., Васильев А.Е., Бургучев С.С., Холодков К.И., Будников П.А., Молодцов Д.А., Корягин В.Н., Передерин Ф.В. Оперативная служба мониторинга ионосферы по данным станций глобальных навигационных спутниковых систем. // Геомагнетизм и аэрономия, 2014 (b). Т. 54. № 4. с. 1–8
4. Аллатов В.В., Куницын В.Е., Лапишин В.Б., Романов А.А., Тасенко С.В. Опыт создания Росгидрометом сети радиотомографии для исследования и мониторинга ионосферы // Гелиогеофизические исследования. 2012. №2. с. 60-71

РАСПОЗНАВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ В ОКРЕСТНОСТИ ЭПИЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОБЕ (ЯПОНИЯ) С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Ожередов В.А., ИФЗ РАН

ojymail@mail.ru

Установлена взаимосвязь между возрастанием средней магнитуды сейсмических возмущений на временных интервалах порядка нескольких дней и поведением сейсмической активности за период длиной примерно месяц, предшествующий данному интервалу. В качестве географической точки, где анализировалась сейсмическая активность, была взята 150-километровая окрестность эпицентра разрушительного землетрясения Кобе (Япония) 17 января 1995 г. Использовался каталог землетрясений за период с 1985 по 1998 гг. Для установления оптимального критерия возмущенности интервала и конфигурации предиктивных переменных потребовалось применить метод интеллектуального перебора (генетический алгоритм) со специально разработанной методикой древовидной рандомизации эволюционных операторов. Время работы оптимизационного алгоритма (т.е. в конечном счете актуальность конечного решения, ибо если решение ищется слишком долго, надобность в нем отпадает) – это произведение двух параметров: 1) времени вычисления целевой функции от одного значения аргумента и 2) числа вызовов целевой функции.

Аргументом являлась совокупность длины dt предикторных интервалов для дискретизации динамики сейсмоактивности, предшествующей возмущению, количества этих интервалов Q , длины адапторного интервала dT , на котором актуальна сейсмическая тревога, и двумерный вектор количества нейронов распознающей сети $[m1, m2]$, а значением целевой функции – сумма кроссвалидационных вероятностей ложной тревоги и пропуска цели. Итого имеем 5-мерную оптимизационную задачу с очень большими временными затратами на единичный вызов функции. Поэтому была актуальна проблема построения такого генетического алгоритма, который бы позволил получить близкое к минимуму решение за сильно ограниченное число вызовов функции. Генетика оптимизировалась на неполной сейсмической базе данных и затем применялась к полной.

Конечная задача распознавания предшествующей возмущениям предикторов производилась с помощью разработанной автором нейросети NATLA, принцип работы которой основан на ЕМ-аппроксимации плотности распределения прецедентов.

Вывод: кроссвалидационная кривая вероятностей ложной тревоги и пропуска цели, полученная после применения итоговой нейросети, убедительно доказывает связь между возрастанием средней магнитуды сейсмических возмущений на временных интервалах порядка нескольких дней и поведением сейсмической активности за предшествующий период.



МЕТОДЫ ДИСКРЕТНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Зелинский Н.Р., асп. ИФЗ РАН

В работе представлены результаты исследований автора, направленных на решение важной научной и практической задачи развития методов нечеткой логики в исследовании геомагнитных и сейсмических данных. А именно:

1. На основе методов дискретного математического анализа (ДМА) предложен единый подход конструирования алгоритмов, для решения ряда прикладных геофизических задач, а именно, в математической постановке – интерполяции, выделении аномалий, сглаживания временных рядов и т.д.. В рамках предложенного подхода на базе определений ДМА (гравитационная невязка гладкости, выпрямления, нечеткие грани) разработаны и реализованы программные алгоритмы предварительного анализа и интерпретации различной геофизической информации: например, наземных и спутниковых геомагнитных наблюдений, а также данных наземной малоглубинной сейсморазведки.

2. Разработан и программно реализован алгоритм выделения аномалий с использованием таких понятий ДМА, как "выпрямления" и "нечеткие грани". Алгоритм успешно опробован в задаче "quick look" – автоматического выделения фрагментов одно-, двух- и трехкомпонентных регистраций вариаций геомагнитного поля для последующего анализа геомагнитных пульсаций различных диапазонов частот от 1 до 30 мГц (Pc3, Pi2, Pc5). Так, с помощью выпрямления "обобщенная дисперсия собственных значений матрицы ковариации", характеризующей интегральное временное приращение суммарной горизонтальной амплитуды волны в данной точке в выбранный интервал времени проведен анализ данных 1-секундных геомагнитных наблюдений на сети обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ, что позволило обнаружить не известные ранее особенности глобального распределения и поляризации геомагнитных пульсаций Pi2 ($f=8-20$ мГц) во время разного типа магнитосферных суббурь.

3. На основе "гравитационного сглаживания" предложен и программно реализован метод интерполяции пропусков на временных рядах данных геофизических наблюдений. Алгоритм успешно опробован на наземных и спутниковых геомагнитных данных. Было проведено сравнение с классической линейной интерполяцией и интерполяцией кубическими сплайнами.

4. Теоретически обоснована с использованием лучевого моделирования и применена для выделения разломов на шахте "Липовцы-2" Приморского края и шахте "Комсомольская" Кемеровской области методика выделения малоамплитудных дизъюнктивных дислокаций по данным наземной малоглубинной сейсморазведки. В рамках методики было проведено обобщение алгоритма "гравитационного сглаживания" временных рядов на двумерные карты сейсмических атрибутов. Полученные результаты сравнивались с результатами другого популярного инструмента – самоорганизующихся нейронных сетей Кохоннена. Были сделаны положительные выводы о перспективе применимости разработанной методики.

Общий итог работы состоит в том, что для исследования данных различной геофизической природы были разработаны и адаптированы алгоритмы на едином математическом базисе, при этом были успешно решены и поставленные геофизические задачи.

МЕТОД СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ 1-СЕКУНДНЫХ СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНЫХ ОБСЕРВАТОРСКИХ МАГНИТНЫХ ДАННЫХ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ АППРОКСИМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Сидоров Р.В., Гетманов В.Г., ГЦ РАН

r.sidorov@gcras.ru

В условиях текущего перехода магнитных обсерваторий к стандарту 1-секундной дискретизации наблюдений геомагнитного поля (ГМП) задачи фильтрации секундных магнитных наблюдений с учётом их особенностей представляются актуальными в изучении геомагнитных пульсаций различных видов. Особенно это касается пульсаций, период которых составляет от нескольких секунд до 1-1,5 минут (Pc3, Pc4, Pi2). Амплитуды пульсаций ГМП имеют величины от долей до единиц (десятков) нТл и в ряде случаев могут оказаться соизмеримыми с погрешностями наблюдений магнитометров. Очевидно, для задач анализа пульсационных колебаний ГМП необходимо обеспечение снижения погрешностей в наблюдениях. Традиционные методы фильтрации геомагнитных наблюдений вполне могут быть применены для раздельной фильтрации, однако величины погрешностей при раздельной фильтрации компонент ГМП будут заведомо больше величин погрешностей, которые потенциально могут быть достигнуты при реализации совместной фильтрации компонент с учётом их взаимосвязанности.

Предлагаемый метод обработки 1-секундных наблюдений ГМП включает в себя два последовательных этапа: 1) цифровую скользящую нелинейную фильтрацию, реализующую совместную обработку взаимосвязанных компонент ГМП; 2) цифровую скользящую линейную фильтрацию, производящую взвешенное суммирование полученных моделей. Вначале на локальном интервале записи дискретным наблюдениям компонент вектора напряжённости ставятся в соответствие локальные аппроксимационные модельные функции. Нахождение их оптимальных параметров реализуется путем минимизации функционала невязки методом прямого оптимизационного поиска. Скользящая нелинейная фильтрация наблюдений производится для исходного интервала на последовательности локальных интервалов с заданным сдвигом. Ее результатом являются скользящие локальные модели, служащие входной информацией для второго этапа – скользящей линейной фильтрации, осуществляющей взвешенное суммирование локальных моделей. В результате получаются функции оценок компонент вектора полной напряженности ГМП. Анализ результатов обработки 1-секундных наблюдений магнитных обсерваторий сети ВСМТ показал, что предложенная обработка снижает среднеквадратическое значение флуктуаций на 50-70%.

Предложенный метод фильтрации может использоваться для уточнения в выделении низкоамплитудных геомагнитных пульсаций на данных с магнитных обсерваторий, а также для изучения возмущений на данных спутниковой миссии Swarm.

ВЫЯВЛЕНИЕ СЛАБОИНТЕНСИВНЫХ АНОМАЛИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА S-АППРОКСИМАЦИЙ

Раевский Д.Н., асп. ИФЗ РАН
nofirma2010@mail.ru

Основным геофизическим методом, применяемым при поиске и разведке полезных ископаемых различного рода, является сейсморазведка. Но, несмотря на огромные успехи в разработке различных методов, оснащение современной аппаратурой и высокоэффективным обрабатывающим программным обеспечением, в некоторых случаях успешность прогноза залежей только по материалам этого метода остается недостаточно высокой, особенно в случае сложнопостроенных ловушек.

Прогресс в геофизических исследованиях сложнопостроенных залежей может быть достигнут только применением комплекса методов, имеющих различную физическую основу и достоверно отражающих присутствие поискового объекта - залежи углеводородов в виде специфического изменения физических полей.

В настоящее время высокочувствительные приборы позволяют определять очень слабые аномалии магнитных и гравитационных полей, что играет важную роль при поиске месторождений нефти и газа. Как известно, аномальное поле, создаваемое нефтегазовыми залежами, зависит как от физических свойств самой залежи, так и от особенностей строения пород коллектора. Так, при малых размерах геологического объекта, создаваемое аномальное гравитационное поле может быть порядка 10^{-2} мГл. Учитывая возникающие аппаратурно-методические помехи и плотностную неоднородность в коре, наблюдаемое аномальное гравитационное поле может быть сильно искажено, и без должной обработки не дать необходимой адекватной информации.

Если поле осложнено достаточно большим числом аномалий различной породы и размеры залежи малы по сравнению с исследуемой площадью, то полученные результаты могут быть неверными. Поэтому для проверки качества решения на основе метода S-аппроксимаций, был предложен следующий способ: данные следует обрабатывать как минимум дважды:

- 1) с учетом известной предполагаемой глубины залегания.

- 2) многослойным методом, располагая достаточно большое (≥ 10) количество носителей простого и двойного слоев.

Если при построении линейных трансформант поля (аналитические продолжения поля, вычисление высших производных и т.д.) наблюдаемые картины не сильно отличаются друг от друга (погрешность менее 90%), то полученные результаты можно считать достоверными. В противном же случае, выгоднее использовать многослойный метод, так как лучше учитывается специфика расположения геологических объектов, и более эффективно выявляются особенности самой задачи.

Предложенный метод проверки качества решения был апробирован на ряде модельных примеров, и были сделаны следующие выводы:

- 1) использование многослойного метода при интерпретации слабоинтенсивных полей дает результаты лучше, чем при использовании небольшого количества носителей;
- 2) многослойный метод позволяет точнее определить источники аномалий.

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОИСКА ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ В КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА АПОСТЕРИОРНОЙ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Холодков К. И., асп. ИФЗ РАН

keir@ifz.ru

Применение вероятностного метода с использованием понятия апостериорной функции распределения [Cary et al., 1988; Keilis-Borok and Yanovskaya, 1968] при решении задачи определения параметров анизотропии коры и верхней мантии по данным телесейсмических наблюдений [Алёшин, 2012] показало как свою эффективность, так и требовательность к вычислительным ресурсам.

Метод решения основан на использовании апостериорной функции распределения (АПФР) вероятности. В работе [Алёшин, 2012] моделирование рассматривается как реализация некоторого случайного процесса, и вероятность того, что параметры модели, адекватно описывающие наблюдаемую систему, имеют некоторое фиксированное значение, определяется АПФР. Таким образом, задача сводится к вычислению этой функции. Вычисления выполняются табулированием АПФР на регулярной решётке (аналогично [Алёшин, 2009]). Точное решение задач с большим числом параметров требует значительного объёма вычислительных ресурсов, который превышает доступные обычно персональному компьютеру многократно. Ввиду независимости вычислений АПФР в каждой точке данная задача идеально подходит для распределённых вычислительных систем.

Работа описывает опыт создания и развёртывания веб-приложения и грид-инфраструктуры для решения описанной выше задачи и других задач того же класса, слабосвязанных и требующих большого количества вычислительных ресурсов. В работе представлен обзор технологии и механизма платформы интеграции геофизических приложений с распределёнными вычислительными системами. Представленная платформа предоставляет удобный доступ к развёрнутым в ней геофизическим приложениям при помощи веб-браузера. Интеграция новых приложений облегчается за счёт предоставляемого стандартного универсального интерфейса взаимодействия платформы и новым приложением.

Для организации распределённой вычислительной системы применено ПО Gridway, экземпляр которого взаимодействует с несколькими виртуализированными вычислительными кластерами. В одном из первых вариантов распределённой вычислительной системы было развёрнуто по Globus Toolkit, но по ряду параметров, в т.ч. сложности внутренней организации, был сделан выбор ПО Gridway. Виртуализация вычислительных кластеров предоставляет новые возможности при утилизации вычислительных ресурсов иными задачами, чем при использовании традиционных схем работы кластерного ПО. При этом падение производительности незначительно и в масштабах объёма вычислений практически незаметно.

Результат вычислений представлен в удобном для анализа высокоуровневом виде, который хранится в базе данных (в исполнении MariaDB). Приложение предоставляет инструменты визуализации АПФР в виде двумерных срезов всех комбинаций параметров модели при фиксировании в значениях максимума АПФР параметров, отличных от исследуемых.

Список литературы

1. Cary P.W., Chapman C.H. Automatic 1-D waveform inversion of marine seismic refraction data // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1988. V. 93. P.527–546.

2. *Keilis-Borok, V.J., Yanovskaya T.B.* Inverse problems in seismology (structural review) // *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1967. V. 13. P.223–234.
3. *Алёшин И.М.* Статистический метод оценки качества модели, полученной в результате инверсии геофизических данных // *Геофизические исследования*, 2012. Т. 13, номер 4.
4. *Алёшин И.М., Мишин Д.Ю., Жижин М.Н., Корягин В.Н., Медведев Д.П., Новиков А.М., Перегудов Д.В.* Применение распределенных вычислительных систем при определении параметров сейсмической анизотропии коры и верхней мантии // *Геофизические исследования*. 2009. Т. 10, № 4. С.34–47.

ПРОГРАММА ОПЕРАТИВНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГНСС-РЕГИСТРАТОРА

Бургучев С.С., асп. ИФЗ РАН

Представлено описание системы сбора и хранения данных глобальных навигационных систем (ГНСС), разработанной с использованием реляционной системы управления базами данных (СУБД) в сочетании с программными средствами для ввода, вывода данных, и дальнейшей их обработки [Бургучев, 2012].

В основе полученной системы лежит идея автоматического анализа сложно структурированного формата данных ГНСС-сообщений JAVAD GREIS. Автоматический анализ позволяет формализовать данные для хранения их в реляционной СУБД путем автоматического преобразования исходного описания ГНСС-сообщений в описание структуры (схему) базы данных и исходный код обобщенной библиотеки для взаимодействия с СУБД на языке C++.

Созданная путем автоматической генерации библиотека для взаимодействия с СУБД предоставляет программный интерфейс, максимально упрощающий доступ к данным. Библиотека лежит в основе программной службы для непрерывного ввода данных в систему на станциях регистрации [Алёшин, 2014], а так же служит ядром для ряда утилит по выводу данных из системы.

Для расширения возможностей созданного программного обеспечения, в частности, для возможности непосредственного управления регистратором и оперативным мониторингом процесса регистрации, структура базы данных описанной системы была расширена. При этом база данных используется как канал удаленного управления службами регистрации.

В качестве примера использования создано веб-приложение, позволяющее осуществлять удаленной управление подключенными станциями регистрации и отображающее их статус в режиме реального времени. В разработанном программном решении приложение-клиент, осуществляющее удаленный мониторинг станции, записывает (декларирует) команды управления службой в очередь сообщений (системную таблицу) базы данных. Служба регистрации, в свою очередь, осуществляет выполнение команд с определенной задержкой (в период простоя), оповещая о своем статусе путем обновления данных в журнале сообщений, так же представленном в виде набора системных таблиц.

Список литературы

1. Бургучев С.С. Организация сбора данных систем спутникового позиционирования в сети стационарных приемных пунктов // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2012. № 12. С. 28-36
2. Алёшин И.М., Алпатов В.В., Васильев А.Е., Бургучев С.С., Холодков К.И., Будников П.А., Молодцов Д.А., Корягин В.Н., Передерин Ф.В. Оперативная трехмерная реконструкция ионосферы по данным ГНСС-станций // Геомагнетизм и аэрономия. 2014 - т.54 - №4 (в печати)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РЕЛЬЕФА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ЦМР

Тужиков М.Е., ИФЗ РАН
tuzhikov@ifz.ru

Лазерное сканирование в комплексе с цифровой съёмкой даёт трехмерную информацию об объектах с их спектральными характеристиками. Получаемая информация высокоточна (от 1 см до 5 см) в глобальных системах координат, плотность измерений до 1000 000 точек на 1 м²., отличается высокой производительностью (до 10 000 га в день). Система обеспечивает формирование базы данных для последующего моделирования инженерно-геологических процессов.

В последнее время наряду с использованием традиционных методов анализа и интерпретации данных в практике сейсмического районирования широко используются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Комплексирование данных лазерного сканирования, GPS-измерений, аэрофотосъемки и данных инерциальной системы координат позволяет получить: массив точек отражений лазерного луча (классифицированный на точки отражений от земли, растительности, объектов и т.п.) в заданной системе координат с плотностью 12-25 точек на 1 м²; цифровую модель рельефа (ЦМР) (матрица высот с шагом сетки 0.25 – 0,5 м).

Таким образом, можно получить трехмерную картину распределения геологических неоднородностей исследуемого региона, что особенно важно при работах по УИС

В работе [Исследования параметров рельефа... Алешин, Малышев] изучено влияние неоднородности рельефа на амплитуду упругих волн на основе исследования сейсмических волновых полей методом конечных элементов в программной среде Triangle. Установлено, что соотношения длины волны к вертикальным размерам неоднородности $\lambda/h = 0.5$ эти изменения не превышают 1.5, или при переводе в шкалу интенсивности не более 0.6 балла.

Дальнейшее исследования влияний рельефа на сейсмическую интенсивность представляется возможным на основе изучения эффекта в трехмерной ЦМР по данным лазерного сканирования.

Высокоточные отображения рельефа позволяют также произвести профилирование с целью определения количественных неотектонических показателей (величина эрозионного вреза, амплитуда смещения по разломам и др.).

Методический анализ помех при геоэлектрических измерениях с использованием локальных измерителей тока

Казначеев П.А. (м.н.с. лаб. 306), p_a_k@mail.ru
стендовый доклад

Локальный измеритель тока (ЛИТ) - прибор, позволяющий бесконтактным способом измерять электрический ток (плотность тока) в геологической среде. Возможное применение ЛИТ - например, активный геоэлектрический мониторинг процессов подготовки провалов грунта [1]. Конструктивно ЛИТ представляет собой параллелепипед из диэлектрического материала, внутри которого находятся изолированные от внешней среды бесконтактный датчик тока и электронная схема обработки сигнала с него. В широкой стороне параллелепипеда сделано сквозное отверстие (измерительное окно ЛИТ), которое охвачено датчиком тока. Непосредственно датчик тока измеряет ток, протекающий через измерительное окно. Чтобы использовать ЛИТ, необходимо погрузить его в среду - закопать в землю, измерительное окно при этом заполняется землей.

В настоящей работе проведен методический анализ помех при использовании ЛИТ для геоэлектрических измерений. Под помехами подразумеваются любые факторы, которые влияют на процесс определения искомой величины - плотности тока в среде. Помехи можно разделить на два типа: помехи, обусловленные геологической средой и распределением электрического поля в ней, и электрические помехи (помехи при обработке электрического сигнала в электронной схеме после датчика тока).

Первый тип помех можно, в свою очередь, разделить на две группы: помехи, связанные с нарушением геологической среды и/или нарушением распределения электрического поля из-за установки ЛИТ, и помехи, обусловленные исходной неоднородностью геологической среды вне зоны установки ЛИТ. Можно привести следующий пример помех первой группы. Очевидно, что ЛИТ при установке искажает существующее в среде электрическое поле, даже если принять, что среда при этом не нарушается [2]. Пример помех второй группы - это приповерхностные неоднородности, существенно искажающие результаты измерений при традиционной электроразведке. Кроме того, помехи первого типа могут быть также динамическими - например, из-за влияния метеофакторов.

Второй тип помех - это электрические помехи при обработке электрического сигнала в ЛИТ. Эти помехи тоже можно разделить на две группы - внутренние (шумы электронных компонентов в ЛИТ, нестабильность их параметров) и сторонние (промышленные помехи).

Как показывает опыт, для определения влияния помех очень важно исследовать ЛИТ в комплексе средств того метода, для которого планируется его применение. От этого и от задач, для решения которых применяется ЛИТ, зависит также ответ на вопрос, что считать помехой, а что - полезным сигналом.

Список литературы

1. Геоэлектрические исследования процессов подготовки провалов грунта / Е.Н. Волкова, П.А. Казначеев, А.Н. Камшилин, В.В. Попов // Геофизические исследования. - 2013. - Т. 14, № 3. - С. 64-79.
2. Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Попов В.В. Измерение локальной плотности тока в земной коре // Вестник МЭИ. - 2011. - № 5. - С. 57-63.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В УСЛОВИЯХ МЕЛКОГО МОРЯ, ПОКРЫТОГО ЛЬДОМ

Преснов Д.А., асп. ИФЗ РАН
presnov@physics.msu.ru

В последнее время исследование процессов распространения упругих волн в условиях мелкого моря, покрытого льдом, представляет интерес в связи с ростом внимания к двум практическим вопросам: оценка толщины ледника из-за опасности таяния льдов Арктики и оценка параметров дна для поиска месторождений углеводородов на шельфе.

Задача о распространении сейсмоакустических волн в таких условиях решается в рамках математической модели слоистой среды: однородное изотропное упругое полупространство – однородный жидкий слой – однородный изотропный упругий слой. Данная система моделирует Землю – морское дно и море, покрытое ледовой поверхностью. С использованием аппарата теории упругости получено дисперсионное уравнение удобное для анализа и численного моделирования, на основе которого сделан вывод о существовании пяти различных волн: изгибная волна ледового слоя, волна рэлеевского типа в дне, нормальные волны ледяного слоя как волновода, гидроакустические моды, “квазипродольная” волна. Показано, что основное влияние на изгибную волну оказывают параметры льда, в то время как на поверхностную волну рэлеевского типа – характеристики дна. С учетом цилиндрической симметрии задачи, получены выражения для волновых полей в виде интегралов Фурье – Бесселя, при действии на поверхность упругого слоя распределенного источника.

Аналитические выражения сравниваются с результатами натурального эксперимента, проведенного в конце 2013 года на оз. Умбозеро (Кольский по-в). Исследуется возможность определения параметров сред на основании пространственно-временного анализа принимаемых данных в низкочастотном диапазоне.

Список литературы

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. - 343 с.
2. *Собищев А.Л., Разин А.В.* Геоакустика слоистых сред. М.: ИФЗ РАН, 2012. - 210 с.
3. *Marsan D., Weiss J., Larose E., Metaxian J.-P.* Sea-ice thickness measurement based on the dispersion of ice swell // J. Acoust. Soc. Am. 2011. V. 131. N. 1. P. 80–91.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕВЯЗОК ПИКОВЫХ УСКОРЕНИЙ

Павленко В.А., асп. ИФЗ РАН

Вероятностный анализ сейсмической опасности позволяет определить вероятную величину интенсивности колебаний для различных периодов повторяемости. Центральную роль в расчётах занимает следующее уравнение:

$$\lambda(\text{PGA} > x) = \sum_{i=1}^{n_s} \lambda(m_i \geq m_{\min}) \int_0^{r_{\max}} \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} P_i(\text{PGA} > x | m, r) f_{R_i}(r) f_{M_i}(m) dt dr dm,$$

где $\lambda(m_i \geq m_{\min})$ – частота сейсмических событий с магнитудой не меньше $m_{\min}$ в i -ой очаговой зоне, $P_i(\text{PGA} > x | m, r)$ – вероятность того, что пиковое ускорение на площадке гипотетических инженерных сооружений превысит значение x при землетрясении с магнитудой m на расстоянии r , $f_{R_i}(r)$ и $f_{M_i}(m)$ – плотности распределения эпицентрального расстояния и магнитуды для i -ой очаговой зоны, соответственно. Эта вероятность вычисляется по формуле:

$$P(\text{PGA} > x | m, r) = \int_x^\infty f_\varepsilon(t) dt$$

где $\varepsilon = \log(\text{PGA}_{\text{obs}}/\text{PGA}_{\text{pre}})$ – случайная величина характеризующая разность между наблюдением и теоретическим значением пикового ускорения, рассчитанным с помощью принятой модели затухания (невязка). В современной формулировке методики считается, что эта случайная величина распределена по нормальному закону с нулевым средним и дисперсией σ .

Однако это предположение не исследовано досконально. Более того, существуют основания полагать, что в некоторых случаях это предположение не выполняется.

Для исследования распределения невязок пикового ускорения использованы записи Японской сети сейсмографов kik-net. Для моделирования теоретических значений пиковых ускорений использованы модели Atkinson & Boore (2003), Kanno (2006), Zhao (2006), разработанные для описания сейсмичности в зонах субдукции. Методика исследования основана на построении квантиль-квантильных графиков, применении критерия согласия Колмогорова-Смирнова и информационного критерия Акаике. Для всех трёх моделей наблюдается неплохое согласие теоретических и фактических значений пиковых ускорений.

Для всех трёх моделей квантиль-квантильные графики сильно отклоняются от линейной зависимости в области квантилей высокого уровня. Это означает что правый хвост распределения невязок, представляющий наибольший интерес, плохо аппроксимируется нормальным распределением. Результаты применения критериев Колмогорова-Смирнова и Акаике для всех трёх моделей показывают, что наилучшее приближение эмпирических данных даёт обобщённое распределение экстремальных значений.

ИСТОРИЯ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ АКТИВИЗАЦИЙ И СЕЙСМОТЕКТОНИКА ОЧАГА РАЧИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

А.С. Ларьков, асп. ИФЗ РАН
Las119@yandex.ru

Результаты изучения следов древних сейсмических катастроф в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения 1991 г. Очаг землетрясения заслуживает внимания, поскольку отразил основную тенденцию геологического развития региона – надвигание южного склона Большого Кавказа на фундамент Закавказского срединного массива. Выяснилось, что в том же очаге, в голоцене произошли две крупномасштабные сейсмические активизации. Приблизительная продолжительность среднеголоценовой активизации - 2300 лет (произошла 5000-7300 лет назад). Позднеголоценовая активизация, охватывающая и Рачинское землетрясение 1991 г., продолжается около 1600 лет.

Неожиданным обстоятельством стало отсутствие датировок в интервале примерно 9500-24000 лет назад. Отсутствие этих датировок могло быть связано как с изменением климата и отсутствием палеопочв, так и с затормаживанием сейсмического процесса. Полученные результаты также позволили выполнить сейсмотектоническую сегментацию рассматриваемого отрезка южного склона Большого Кавказа.

Список литературы:

1. Белоусов Т.П. Рачинское землетрясение 1991 года и его проявление в рельефе Большого Кавказа. М.: Светоч Плюс, 2009. 208 с.
2. Гамкрелидзе П.Д., Гамкрелидзе И.П. Тектонические покровы Южного склона Большого Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1977. 81 с.
3. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Ларьков А.С. Особенности сейсмотектоники и древние землетрясения Южной Осетии (часть 1). // Вестник Владикавказского научного центра РАН, 2011, Т.11, №3, с. 55-68
4. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Альпийская и новейшая тектоника района Рачинского землетрясения // Физика Земли, 1993, № 3. с. 3-11.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУВИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 26.02.2012 MW=6.7.

Вакарчук Р.Н., ИФЗ РАН

В конце декабря 2011 и конце февраля 2012 гг. произошли два сильных землетрясения в восточной части республики Тува. Эпицентры располагались на территории Саянских гор. За время инструментальных наблюдений в данной очаговой области магнитуды землетрясений не превышали 5. Для событий характерен высокомагнитудный и интенсивно затухающий афтершоковый процесс.

По данным *USGS* магнитуда землетрясения 27 декабря 2011 года, определённая по сейсмическому моменту составила 6.6. Механизм очага – сдвиговый. По результатам полевых работ сейсмотектонического отряда ИФЗ РАН был закартирован разрыв протяжённостью чуть более 1.5 км. Ориентировка разрыва позволила уточнить активную плоскость в решении для механизма очага. Окончательно разрыв имеет север-северо-западное простирание и правосдвиговую кинематику.

В ходе изучения очаговой области, выполненного Сейсмотектоническим отрядом ИФЗ РАН было установлено, что для землетрясения 26 февраля 2012 года (Mw=6.7) протяжённость выхода очага на поверхность достигает 4 км. Кинематика разрыва свзбросо-сдиговая. Некоторые сегменты прослеженного разрыва имеют простирание отличное от простирания нодальных плоскостей механизма очага данного события. Данное отклонение позволяет предположить несколько более сложную модель развития процесса вспарывания в очаге, например, представить очаг землетрясения совокупностью нескольких субочагов разнесённых в пространстве и времени.

Для нахождения механизма очага используется пакет программ MT5. Для этого на вход программы подаются записи на станциях удалённых на расстоянии от 30 до 90 градусов (телесеismicкие расстояния). Далее последовательным итеративным сравнением расчётных сейсмограмм с наблюдаемыми осуществляется процесс инверсии объёмных волн – продольных и поперечных. В результате инверсии имеем пару нодальных плоскостей (две тройки углов простирания падения и подвижки), сейсмический момент и зависимость скорости реализации сейсмического момента в очаге от времени.

Окончательно сложная модель очага представляет собой совокупность трёх субочагов магнитуды по сейсмическому моменту первого: - 6.4, второго: – 6.1 и третьего: 6.3. Второй субочаг удалён от первого на расстояние около 5 км в запад-северо-западном направлении, третий – на расстояние около 2.5 км на север.

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ТРИГГЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ФЛЮИДА В РАЙОНЕ ВОДОХРАНИЛИЩ КОЙНА И ВАРНА (ИНДИЯ)

Потанина М.Г., Смирнов В.Б., МГУ.

Проведен сравнительный анализ динамики наведенного сейсмического режима в районе водохранилищ Койна и Варна (Индия) и периодического изменения уровня воды в этих водохранилищах за период с 1961 по 2013 год. Предыдущие работы установили, что землетрясения в этом регионе являются индуцированными, прежде всего, первоначальным «быстрым» заполнением водохранилища Койна [Gupta, 1992; Гунта и Растоги, 1979; Смирнов и др., 2013], а при «медленном» заполнении водохранилища Варна в течение почти 10 лет наблюдалось только 2 землетрясения $M=4.1$.

Периодическое изменение уровня воды вызывает периодический отклик напряженно-деформированной среды – повторяющиеся, «мелькающие» землетрясения в двух зонах, расположенных между водохранилищами. Обнаружено, что после пары сильных событий $M > 5$ в 2000 г закономерность очередности нарушается [Смирнов и др., 2013]. Данная картина поведения соответствует смоделированному в лабораторном эксперименте отклику акустической эмиссии на повторяющуюся нагрузку [Ponomarev et al., 2010].

Обнаружено, что в период с 2006 по 2012 гг возобновляется периодический весенне-осенний характер сейсмичности, смещаясь к зимним месяцам.

Список литературы

1. Gupta H.K. Reservoir-induced earthquakes. Elsevier. 1992. 364 p.
2. Гунта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979. 251 с.
3. Смирнов В.Б., Chadha R.K., Пономарев А.В., Srinagesh D. Прогностические аномалии наведенной сейсмичности в области водохранилищ Койна–Варна, западная Индия. Физика Земли. 2013. № 2. с. 1–16.
4. Ponomarev A., Lockner D., Stroganova S., Stanchits S., Smirnov V. Oscillating Load-Induced Acoustic Emission in Laboratory Experiment // V. de Rubeis et al. (eds.), Synchronization and Triggering: from Fracture to Earthquake Processes, Geoplanet: Earth and Planetary Sciences 1, DOI 10.1007/978-3-642-12300-9_9, # Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. P. 165-178.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ СВОЙСТВ ТРЕХСЛОЙНОЙ СРЕДЫ (ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ПРИМЕНЕНИЕ)

Жостков. Р.А., асп. ИФЗ РАН

Граничные волны в слоистом полупространстве могут быть разделены на две категории: поверхностные и распространяющиеся в волноводах. При этом могут возникать ситуации, например, в модели лед–вода–морское дно, когда поверхностные волны распространяются вдоль границ внутренних слоев. Исследование процессов распространения разных типов поверхностных волн в слоистой геофизической среде представляет большой интерес в связи с развитием ряда методов изучения внутреннего строения Земли. Граничные волны в слоистом полупространстве исследовались многими авторами и различными методами, однако, до сих пор остаются аспекты, требующие внимательного рассмотрения. К таким проблемам можно отнести как исследование различных нестандартных слоистых систем, так и адаптацию полученных результатов для использования на практике.

В работе рассмотрена задача о распространении граничных волн в модели среды, представляющей собой два слоя на упругом полупространстве. Проанализировано влияние параметров внутреннего слоя на дисперсию поверхностной волны. На основе полученных результатов предложен алгоритм дополнительной обработки результатов метода микросейсмического зондирования. Исследован частный случай, моделирующий систему лед–вода–дно, и приведены результаты натурных экспериментов на льду Ладожского озера и оз. Умбозера (г. Аппатиты).

Список литературы:

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. 343 с.
2. *Haskell N.A.* The dispersion of surface waves on multilayered media // Bull. Seism. Soc. Amer. 1953. V. 43. P. 17-34.
3. *Собисевич А.Л., Разин А.В.* Геоакустика слоистых сред. М.: ИФЗ РАН. 2012. 210 с.
4. *Жэн Б.-С., Лу Л.-Ю.* Нормальные волны в упругом слоистом полупространстве // Акустический журнал. 2003. Т. 49. №4. С. 501-513.
5. *Marsan D., Weiss J., Larose E., Metaxian J.-P.* Sea-ice thickness measurement based on the dispersion of ice swell // J. Acoust. Soc. Am. 2011. V. 131. N. 1. P. 80–91.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУСЛОЙНОЙ ВЯЗКОЙ СРЕДЫ В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМАМ ГЕОДИНАМИКИ

Мягков Д.С., студ. МГУ

Данная работа посвящена получению аналитического решения краевой тектонофизической задачи. Аналитическое моделирование является одним из классических инструментов исследования в естественнонаучных задачах. Опираясь лишь на сравнительно простыми моделями, оно, однако, позволяет, в отличие от численного моделирования, во всей полноте проследить зависимость полученного решения от возможных значений параметров модели и непосредственно анализировать математическую структуру решения.

В рамках данной работы исследовались физические поля компонент вектора скоростей смещений и тензора напряжений, создаваемых в рассматриваемой модели заданным возмущением поля скоростей смещений на границе модели. Использовалась двумерная горизонтально-слоистая (двуслойная) модель. В качестве реологического тела для каждого из слоёв использовалась несжимаемая однородная ньютоновская жидкость. Задача решалась в линейном приближении, основываясь на уравнении Навье-Стокса (уравнение движения) и уравнении неразрывности. В качестве возмущения рассматривалось статическое пространственное гармоническое моноколебание горизонтальной компоненты вектора скорости смещения, задаваемой на подошве нижнего слоя модели.

Использовалась следующая методика получения решения: первоначально ищется статическое решение для рассматриваемой модели, все границы модели считались плоскими. Дополнительно были получены два вспомогательных решения, аналогичных предыдущему, но с подаваемым возмущением на кровле нижнего и верхнего слоя соответственно, в виде моноколебания вертикального нормального напряжения (тип и структура моноколебаний аналогичны предыдущему). Пользуясь принципом суперпозиции силовых полей в линейном приближении и зависимостью амплитуды рассматриваемых возмущений от вертикальной координаты границ их локализации, были получены, опираясь на три полученных ранее решения для поля скоростей смещений, временные зависимости положения границ модели (в нулевой момент времени границы считались плоскими). Далее, опираясь на полученные зависимости, были получены соответствующие решения для всех исследуемых физических полей, учитывающие, таким образом, процесс формирования рельефа на границах модели.

Рассматриваемая задача ориентирована на приложение в области геодинамики. Заданное возмущение соответствует действию мелкомасштабных конвективных токов подлитосферной части мантии, два слоя модели соответствуют литосферной мантии и земной коре. Решение рассчитано для характерных соотношений средних значений вязкости и плотности между мантийной частью литосферы и земной корой. Полученные для модели результаты позволяют, в рамках рассматриваемого приближения, количественно анализировать напряжённо-деформированное состояние литосферы, возникающее под действием мантийной конвекции, представляющее непосредственный интерес для соответствующих разделов геологии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КОРЕ ВПАДИН И ПОДНЯТИЙ

Овчаренко О.О., ИФЗ РАН, студ. МГУ

Результаты тектонофизической реконструкции поля современных напряжений для земной коры Западной Европы и Средиземноморья, выполненной методом катакластического анализа механизмов очагов землетрясений, позволили выявить ряд важных геодинамических закономерностей. В настоящем докладе мы будем акцентировать внимание на сочетании в коре восточных Альп и ближайшего окружения двух антиподных геодинамических режимов: горизонтального сжатия и растяжения [Овчаренко и др., 2013]. Подобное сочетание также было получено для коры внутриконтинентальных орогенов Алтае-Саян и Северного Тянь-Шаня [Rebetsky et al., 2012; Ребецкий и др. 2013]. Анализ новых данных о строении и геофизических полях внутриконтинентальных орогенов [Рыбин, 2011] показывает, что значения скоростей сейсмических волн, электропроводности, плотности пород в коре гонных поднятий и межгорных впадин отличаются от средних их значений в разную сторону. В частности, в коре поднятий имеет место понижение плотности пород, а в коре впадин – повышение.

В настоящей работе на основе методов аналитического моделирования напряжений и деформаций сделана попытка объяснения формирования разных режимов напряженного состояния в коре горных поднятий и впадин за счет существования в коре процессов, определяющих разуплотнение и уплотнение пород. С этой целью решалась задача о вязком течении слоя постоянной мощности, имеющего латеральные вариации плотности, распределенные по закону гармонической функции. Краевыми условиями на подошве слоя являлись нулевые скорости перемещений (подошва остается плоской), а на поверхности – нулевые напряжения. Наличие латеральной вариации плотности приводит к появлению в слое восходящих течений на участке, где имело место разуплотнение пород, и к нисходящим – там, где породы были уплотнены относительно средних значений. В настоящей работе не рассматривались процессы, обеспечивающие формирование латеральных вариаций плотности. Считалось, что эти процессы постоянно действуют, сохраняя эти латеральные вариации.

Поскольку задача решалась в Эйлеровых представлениях (рассчитываются скорости и напряжения в точке пространства, а не в точках среды), то нулевые напряжения на кровле слоя обеспечивались в приближении Лява, т.е. задавались вертикальные напряжения, равные весу формирующегося рельефа (сжатие для поднятий, растяжение для впадин), касательные напряжения на всех стадиях процесса полагались здесь нулевыми. В такой постановке для определения амплитуды рельефа кровли слоя можно получить обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка (дифференцирование по времени), параметрами которого являются средняя плотность пород и ее вариации, вязкость, мощность коры и др. На основе этого уравнения получена кривая эволюции амплитуды рельефа кровли и построены выражения для скорости течения и напряжений во всем объеме слоя. Построены распределения в вертикальном сечении слоя скорости течения, осей главных напряжений максимального сжатия, максимального касательного напряжения и всестороннего давления. Результаты выполненных исследований показали, что в коре формируется сложный тип напряженного состояния, антиподный в области поднятия и впадин. Антиподен также тип напряженного состояния в верхней и нижней части коры. Схожесть результатов аналитических расчетов с результатами тектонофизической реконструкции напряжений наблюдается только в нижней части коры. В верхней части коры подобного соответствия не наблюдается. Дальнейшее развитие работ видится в учете поверхностных процессов денудации и осадконакопления, а также в учете упругой сжимаемости горных пород [Ребецкий, 2011], определяющей появление дополнительных напряжений горизонтального сжатия в областях поднятий.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ СДВИГА

Лермонтова А.С., ИФЗ РАН

asyal@pochta.ru

В теории очага землетрясений существует проблема определения возможного дальнего (удаленного) влияния области очага землетрясения на физические поля земной коры на больших расстояниях. Существуют данные, показывающие, что изменения напряжений в области подготовки очага землетрясения, затухая по мере удаления от очага, способны на больших расстояниях несколько изменить напряженное состояние среды. С другой стороны, теоретические решения задач теории упругости о нахождении напряжённого состояния в окрестности трещины говорят о том, что в чисто упругой среде влияние активной трещины распространяется относительно недалеко. В то же время многие природные разломы, изучение которых представляет практический интерес, находятся на больших глубинах, где среда находится за пределом катакластической текучести.

В связи с этим возникает проблема вычисления напряжённого состояния в окрестности трещины в ситуации, когда ещё до активизации трещины среда находилась в пластическом состоянии. Насколько нам известно, до сих пор в вопросах теории трещин предполагалось, что среда является упругой, и в результате активизации в пластическое состояние могут переходить только небольшие области вблизи кончиков трещин. Для определения границ этих областей существуют методы разной точности. В нашем случае всё наоборот: изначально пластичен весь массив, а после активизации трещины в результате перераспределения напряжений некоторые области вдоль бортов трещины могут перейти в упругое состояние. Задача пока не доведена до полного решения, однако его удаётся найти в некоторых областях в окрестности трещины, а в некоторых других областях – оценить.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИТОСФЕРЫ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА И ЕЕ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

А.В. Дубовская, ИФЗ РАН

Геомеханическая модель земной коры Каспийского региона создана для области $37.0^{\circ}\text{N} - 47.5^{\circ}\text{N}$ и $46.0^{\circ}\text{E} - 56.0^{\circ}\text{E}$ и представляет собой параллелепипед с характерными размерами 870 км на 1200 км по горизонтали и 180 км по вертикали, разделенный по глубине на несколько слоев внутренними геологическими границами [Глумов и др., 2004]. Границами слоев являются: горный рельеф и батиметрия, а также характерные внутренние границы – кровля консолидированной коры, поверхность Мохоровичича.

Кроме того, получена верхняя граница астеносферы на основании данных о тепловом потоке в Каспийском регионе с учетом внутренней структуры коры и тепловых свойств образующих пород. Введение в модель слоя, моделирующего астеносферу, позволило ввести в модель вязкость и получить поля температур, что в свою очередь позволяет решить задачу о температурных напряжениях в литосфере.

Напряженно-деформированное состояние земной коры складывается под действием многих факторов. В расчете учтены основные - это некомпенсированный вес горного рельефа, горизонтальные и вертикальные тектонические движения, вариации плотности, неравномерный нагрев.

Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии земной коры важно учитывать ее разломноблоковое строение. При введении в модель разломов мы исходим из того, что зона влияния разломов не ограничивается пространством разрывного нарушения, а распространяется и дальше по всем трем измерениям в некоторой его окрестности. Для расчета плотности распределения разломов (поврежденности среды) были использованы данные о региональных разломах в Каспийском регионе.

В результате создания трехмерной модели земной коры Каспийского региона получены новые данные о распределении температур, деформаций и напряжений.

Выполнено сравнение полученных результатов с данными Мировой карты напряжений [Heidbach et al., 2008]. Отмечена неплохая степень согласованности результатов, как по ориентациям осей главных напряжений, так и по типу тектонического режима.

Установлено, что максимальные касательные напряжения и энергонасыщенность земной коры коррелируют с распределением сейсмичности в регионе [Лобковский и др., 2013], а градиенты температур, объемные деформации осадочной толщи и энергонасыщенность земной коры коррелируют с известными в регионе скоплениями углеводородов [Гарагаи и Дубовская, 2013]. Показано, что результаты геомеханического моделирования могут быть использованы для сейсмического и нефтегазового районирования.

Список литературы

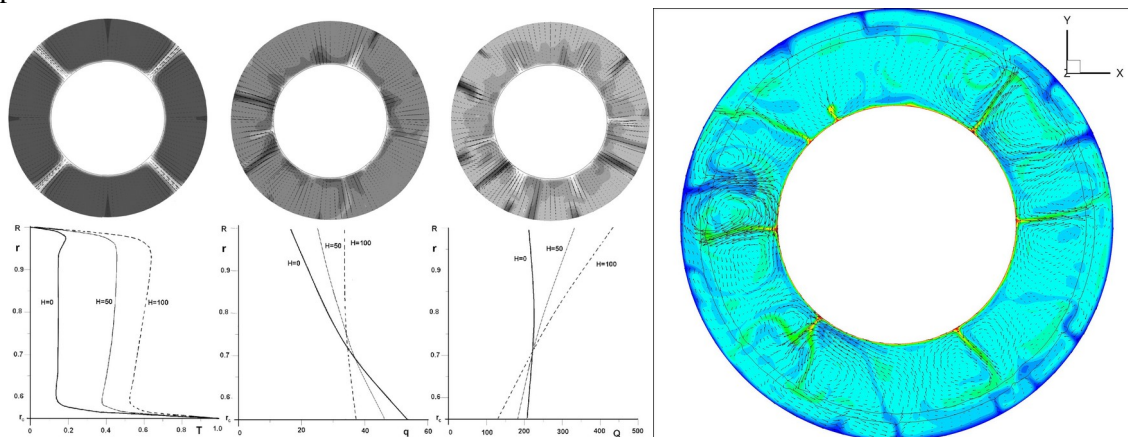
1. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. - М.: Недра - Бизнесцентр, 2004.
2. Heidbach O., Tingay M., Barth A., Reinecker J., Kurfeß D. and Müller B., The World Stress Map database release 2008 doi:10.1594/GFZ.WSM.Rel2008, 2008.(//available online at www.world-stress-map.org)
3. Лобковский Л.И., Гарагаи И.А., Дубовская А.В. Связь напряженно деформированного состояния земной коры Восточного Прикаспия с зонами возникновения очагов землетрясений. // Доклады Академии наук. - 2013. - Т. 449, № 4, С. 458-462;
4. Гарагаи И.А., Дубовская А.В. Использование геомеханической модели Каспийского региона для оценки нефтегазоносности.// Труды МФТИ, 2013, Том 5, № 4, с. 145-150.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗЕМЛИ И СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НА СФЕРЕ, СФЕРИЧЕСКОМ КОЛЬЦЕ И ДВУМЕРНОЙ ОБЛАСТИ

Евсеев А.Н., Евсеев М.Н.(асп), ИФЗ РАН

В литературе до сих пор для декартовой модели конвекции используется условие с нагревом только внутренними источниками, пренебрегая нагревом снизу. Казалось бы, это оправдано, поскольку внутренние источники тепла дают около 80% в полный тепловой поток Земли. Однако, учет только внутренних источников дает картину течений, противоречащую существующим представлениям о структуре конвекции в мантии. В модели с внутренними источниками нисходящие потоки остаются узкими, однако восходящие становятся очень широкими и медленными, а также пропадают плюмы со дна мантии. В современной мантии, по данным томографии, восходящие и нисходящие потоки имеют примерно одинаковую ширину и скорость. В настоящей работе на основе численных моделей дается объяснение этому противоречию. Анализируются данные измерений теплового потока и теплового баланса Земли. Рассчитанные модели тепловой конвекции в сфере, на двумерном сферическом кольце и прямоугольной области позволяют отследить распределение теплового потока по глубине. В сферических моделях плотность теплового потока с радиусом уменьшается благодаря сферической геометрии. Поэтому в декартовых моделях рост теплового потока с глубиной (радиусом) завышен, а дополнительный учет внутренних источников даёт ещё более неправильную картину распределения теплового потока по глубине. На основе численных расчетов показано, что в реальной Земле с современными параметрами уменьшение теплового потока с радиусом в большей части компенсируется выделением тепла внутренними источниками. Поэтому, чтобы декартовы модели давали картину течений, близкую к реальной Земле нужно полностью исключить учёт внутренних источников. Часто применяемые в литературе (в т.ч. - в монографиях) модели, учитывающие только нагрев изнутри, дают ошибочное представление о структуре мантийных течений.

Поскольку двумерные модели позволяют быстрее проводить расчеты, то предлагается использовать особую модель двумерного сферического кольца, в которой плотность теплового потока с радиусом убывает квадратично. Оказалось, что такая упрощенная модель хорошо воспроизводит основные особенности трехмерной сферической модели.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И МАРСА СЕЙСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Раевский С.Н., асп. ИФЗ РАН

RS1989@rambler.ru

Особое место в физике Луны занимает проблема изучения ядра и прилегающей к нему области (радиусом около 500 км, что составляет 30 % от среднего радиуса спутника). Рассмотрена проблема согласования моделей внутреннего строения Луны [Кусков, Кронрод, 2009; Кронрод, Кусков, 2011], полученных инверсией сейсмических данных Apollo и данных гравитационного поля (масса, момент инерции) с числом Лява k_2 . Наиболее чувствительным параметром к зоне нижней мантии на границе с ядром (зоне возможного частичного плавления) является число Лява k_2 . Анализ данных GRAIL определило число Лява k_2 с точностью меньше 1 % $k_2=0.02405\pm0.00018$ [Konopliv et al., 2013]. Наличие зоны частичного плавления в мантии в окрестности ядра (150 км слой на дне мантии) позволяет получить модельные числа Лява k_2 близкие к наблюдаемым, при этом модуль сдвига почти в два раза меньше модельных значений. Полученные результаты накладывают ограничения на допустимые профили температуры в рассматриваемых моделях. Исследована возможность уточнения моделей внутреннего строения Луны методом собственных колебаний.

Прогресс, который происходил в последние годы при построении моделей Марса, основан на данных о гравитационном поле, постоянной прецессии и определении приливного числа Лява k_2 [Konopliv et al. 2011]. В связи с планируемым сейсмическим экспериментом на Марсе исследованы диагностические возможности объемных волн для уточнения моделей внутреннего строения Марса. Для определения теоретического годографа и оценки амплитуд Р- и S-волн для предполагаемых моментов марсотрясений разработано программное обеспечение на языке MATLAB. Проведено сравнение времен пробега Р- и S-волн, а также фаз волн, отраженных (РсР, ScS) и прошедших через ядро (РКР, SKS), в зависимости от эпицентрального расстояния для различных пробных моделей внутреннего строения Марса.

ГЛОБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОХО ДЛЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Баранов А.А., ИФЗ РАН

baranov@ifz.ru

Континентальная кора – наиболее неоднородная часть Земли. В частности, мощность континентальной коры меняется от 15 до 75 км. Построение ее детальных региональных моделей, помимо самостоятельного значения важно и для различных приложений.

Ранее были опубликованы две глобальные модели коры: (1) CRUST 5.1 [Mooney *et al.*, 1998] с разрешением $5^\circ \times 5^\circ$ и (2) CRUST 2.0 [Bassin *et al.*, 2000] с разрешением $2^\circ \times 2^\circ$. В 2013 году появилась новая модель коры CRUST 1.0 [Laske *et al.*, 2013] с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$. Детальность предыдущей глобальной модели CRUST 2.0 для обширных регионов минимальна. Например, глубина до границы Мохо в этой модели для всей Восточной Антарктиды постоянна и равна 34–36 км. Появившиеся за последнее десятилетие новые сейсмические данные и старые неиспользованные результаты позволяют существенно детализировать модель Мохо для всех континентов. В настоящей работе построена новая карта границы Мохо для континентальной коры на сетке $1^\circ \times 1^\circ$. Для построения глобальной карты Мохо были использованы региональные модели Мохо для различных континентов: для Европы модель EPcrust [Molinari and Morelli, 2011] с обновлениями, для Северной Азии (территория бывшего СССР за Уралом) модель на основе данных из работ [Belyaevsky *et al.*, 1973; Pavlenkova, 1996] с обновлениями, для Центральной и Южной Азии модель AsCrust-08 [Baranov, 2010] с обновлениями, для Африки модель из работы [Pasyanos and Nyblade, 2007] с обновлениями, для Южной Америки модель из работ [Assumpção *et al.*, 2013; Chulick *et al.*, 2013; Lloyd *et al.*, 2010], для Северной Америки модель из работ [Mooney *et al.*, 2005; Chulick and Mooney, 2002] с обновлениями, для Австралии модель из работы [Salmon *et al.*, 2013], для Гренландии модель из работы [Dahl-Jensen *et al.*, 2003], для Антарктиды модель ANTMoho [Baranov and Morelli, 2013] с уточнением для Западной Антарктики. Минимальная глубина до Мохо – 7 км в океанах, тогда как максимум достигается под Тибетом и Андами – 75 км и 68 км (рис. 1). Средняя глубина до Мохо для континентальной коры составляет 34 км (стандартное отклонение 9 км). На рис. 2 показана разница глубин до Мохо между моделью CRUST 1.0 и новой моделью GlobalCrust. Наибольшие отличия (более 20 км) найдены в следующих регионах: Дарфур (-22 км) и Мадагаскар (-28 до +14 км) в Африке; Анды (-30 км) и дельта Параны (-20 км) в Южной Америке, Калифорния (-20 км) в Северной Америке, горы Гамбургцева (+24 км) в Антарктиде. Разница со старой картой достигает в процентном отношении 50% и более, что очень существенно для дальнейших расчетов, использующих свойства коры.

Мы планируем улучшать модель коры и уточнять итоговые результаты.

Работа была выполнена при поддержке грантов РФФИ № 12-05-33066 мол_a_вед, 13-05-01123-a.

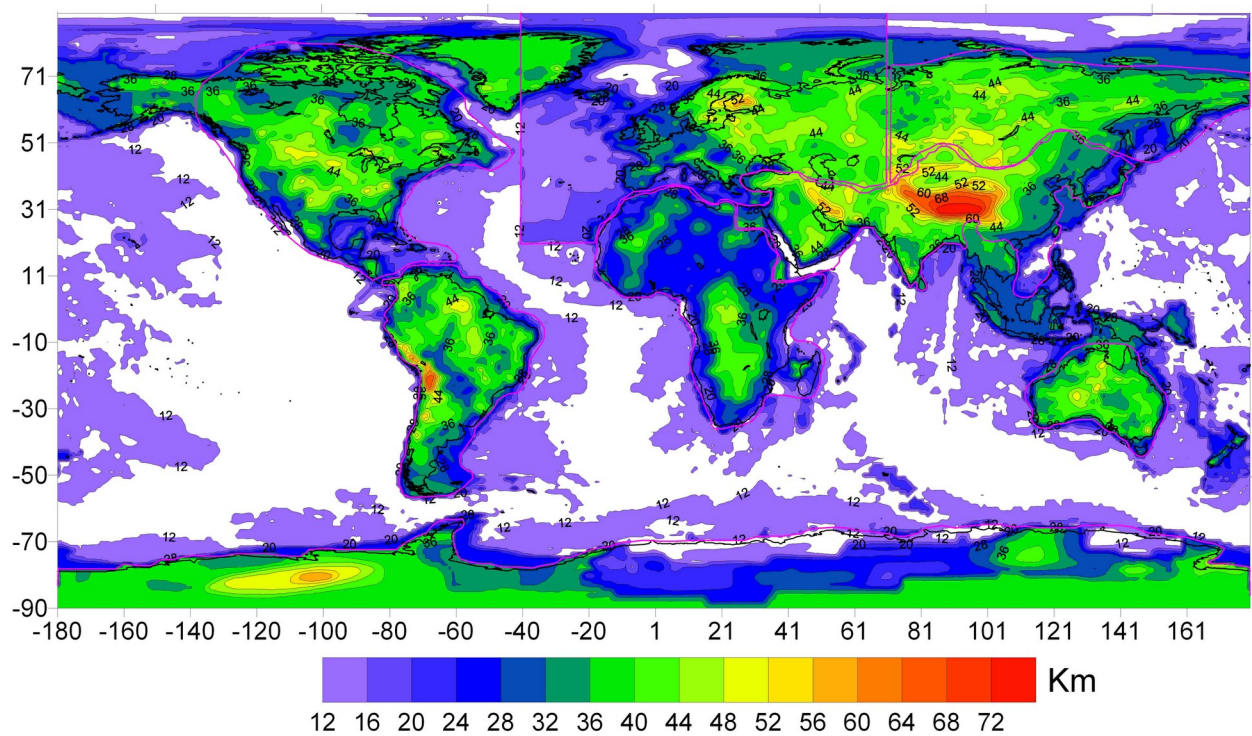


Рис. 1. - Новая карта границы Мохо для континентальной коры на сетке $1^\circ \times 1^\circ$ GlobalMoho

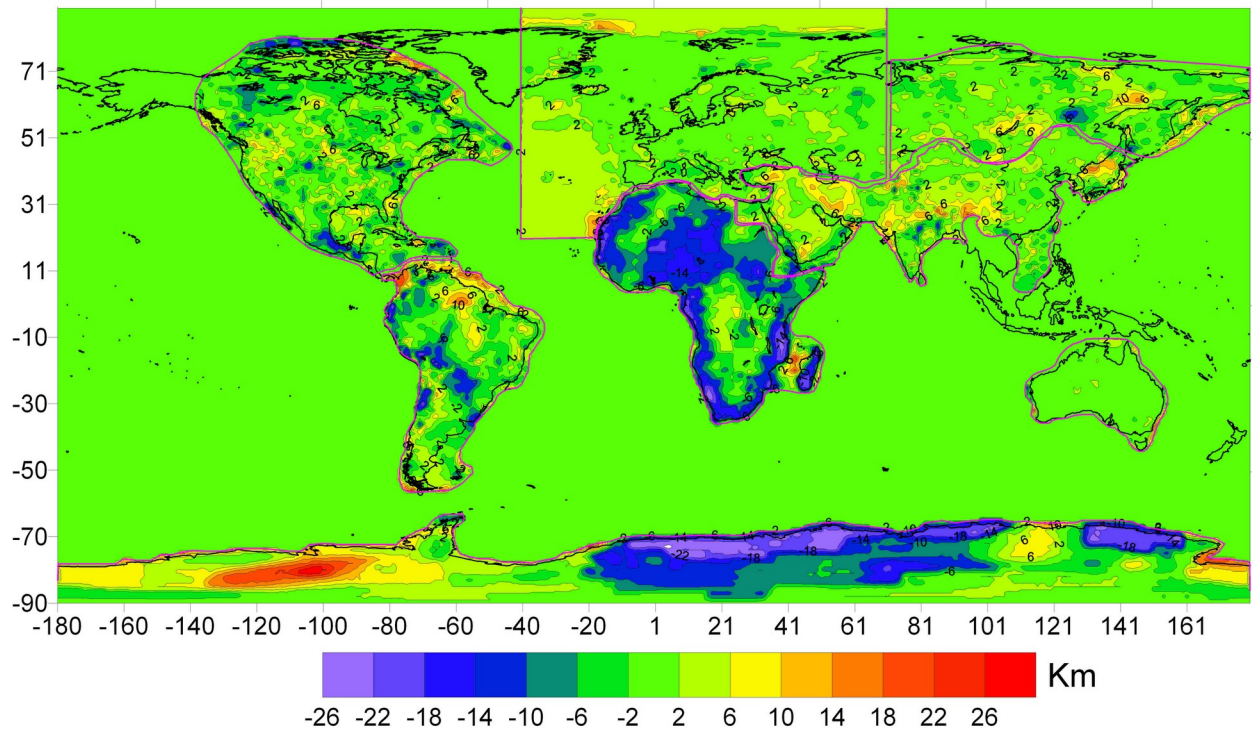


Рис. 2. - Отличие GlobalMoho от CRUST 1.0.

ПРОХОЖДЕНИЕ МАНТИЙНЫХ ПЛЮМОВ ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ 660 КМ
(НА ПРИМЕРЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ – ГАВАЙИ, РЕЮНИОН, ТАИТИ)
(численные модели на сферическом кольце)

Евсеев М.Н., ИФЗ РАН

Вулканы на Земле можно разделить на 2 группы по происхождению: находящиеся на границах плит (с очагами в верхах верхней мантии, перемещающиеся вместе с плитами) и внутриплитовые (идущие со дна мантии, прожигающие плиты). Эти представления подтверждаются данными сейсмической томографии (прослеживаются как вертикально вытянутые области пониженных скоростей сейсмических волн), но пока с недостаточным разрешением. Важной нерешенной на данный момент проблемой остается поведение плюмов в переходной зоне на фазовых границах 660 и 410 километров. В работе на основе численной построенной модели показывается автоматическое зарождения плюмов на дне мантии, их подъём и прохождение через границу 660 км. Исследовано влияние таких параметров, как различные законы вязкости, теплопроводность, зависящая от глубины, коэффициент теплового расширения, зависящий от глубины, переменные параметры фазового перехода и влияние внутренних источников тепла, рассеянных в мантии. Для построения модели была взята, как базовая, программа численного моделирования конвекции в декартовых и сферических координатах CITCOM3U. Для модели кольца был разработан модуль маркеров, позволяющий отслеживать перемещение различных компонент вещества. В результате было показано, при каких параметрах модель соответствует плюмам Гавайи, Реюньон, Таити.

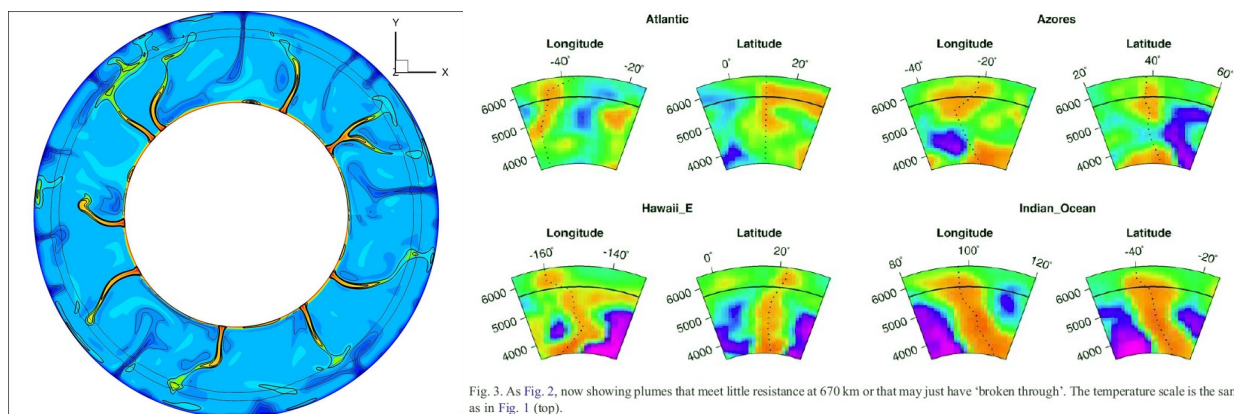


Fig. 3. As Fig. 2, now showing plumes that meet little resistance at 670 km or that may just have 'broken through'. The temperature scale is the same as in Fig. 1 (top).

О ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ СИБИРСКИХ ТРАППОВ

Жидков Г.В.¹, Щербакова В.В.¹, Латышев А.В.², Щербаков В.П.¹

1 – ГО «Борок» ИФЗ РАН, 2 – ИФЗ РАН

grigor@borok.yar.ru

В работе представлены новые определения палеонапряженности по двум разрезам пермо-триасовых вулканических пород Сибирской трапповой провинции. Первый разрез находится в Маймеча-Котуйском районе в долине реки Маймеча и состоит из более чем 40 лавовых потоков дельканской и тыванкитской свиты. Второй разрез в долине реки Ергалах представляет Норильский район и состоит из 12 лавовых потоков ивакинской, сыверминской и гудчихинской свиты.

Проведен анализ данных по палеонапряженности по сибирским траппам с учетом новых определений. Основная масса значений палеонапряженности по отдельным лавовым потокам заметно ниже (в два и более раз) современной величины поля в точке отбора (~ 50 мкТл), что согласуется с гипотезой низкой величины геомагнитного поля на границе пермь-триас. Отдельно можно отметить низкие и крайне низкие величины палеонапряженности (14.4 и 2.4 мкТл) по пяти лавовым потокам разреза Ергалах, что может указывать на резкое понижение величины палеонапряженности перед инверсией земного поля (или в ее начале), происшедшей на самом раннем этапе формирования норильской туфоластовой толщи.

Для тыванкитской свиты получена развертка изменения палеонапряженности от потока к потоку. Полученные вариации не выходят за пределы определения средней величины, что может указывать на стационарный характер поведения поля в период формирования данных свит.

Также полученные данные проанализированы с точки зрения гипотезы магматических пульсов. Были построены развертки изменения палеонапряженности от потока к потоку для каждого разреза, однако установить какой-либо зависимости палеонапряженности от пульсов магматической активности не удалось.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ В МОДЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ ОДНООСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Быков А.А., Шишко А.Н., МФТИ

Aleks-Bykov@yandex.ru

Для широкого круга специалистов представляют интерес исследования изменения микронеоднородностей, размер которых меньше оптической длины волны, в процессе непрерывного нагружения. На данный момент практически нет экспериментальных работ, посвященных этой проблеме, и проведенная авторами работа частично восполняет указанный выше пробел.

В данной работе экспериментально исследовалось изменение относительного распределения по объему микронеоднородностей (частиц) в цилиндрических образцах при его сжатии с постоянной скоростью деформации. В процессе нагружения прозрачный образец постоянно просвечивался лазерным лучом, и с периодичностью 4 секунды производилась фотосъемка подсвеченной области с помощью микроскопа, оснащенного цифровым окуляром. Так как в монохроматическом свете микронеоднородности эффективно рассеивают свет (рассеяние Релея и Ми), то на фотографии они изображены как некоторая яркая точка. При анализе данного изображения можно оценить энергию, которая была рассеяна отдельной микронеоднородностью, и далее оценить относительный объем микронеоднородности. Так как на каждой фотографии обнаруживается от 6000 до 15000 таких точек, то становится возможным построить гистограмму распределения по размерам частиц.

В результате экспериментальной работы было обнаружено, что общее количество обнаруженных микронеоднородностей в процессе нагружения изменяется в 2-3 раза для различных образцов, при этом количество малых уменьшается на порядок и более, а количество крупных непрерывно увеличивается на порядок и более. Количество «средних» микронеоднородностей может изначально увеличиваться, а затем уменьшаться. Это позволяет утверждать, что в процессе нагружения микронеоднородности увеличиваются в размерах либо в результате длительного пластического течения, либо неоднократного «надтрескивания».

Анализ зависимости количества микронеоднородностей различных размеров и их общего количества, проведенный с использованием методов математической статистики, показал, что в процессе нагружения возникают новые частицы практически всех размеров с различной вероятностью. При этом, при повышении напряжений вероятность возникновения крупных микронеоднородностей повышается, вероятность возникновения малых уменьшается.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИКРОЗОНДОВЫХ АНАЛИЗОВ

Иванов С.Д., асп. ИФЗ РАН

Правильное определение минеральной ассоциации является критически важным для применения большинства методов геотермобарометрии. Условно можно выделить основные этапы определения минералов: первичное определение, определение по данным оптического анализа и доопределение по результатам локального химического анализа. Третий этап состоит в определении соответствия между полученным химическим составом и эмпирической формулой одного из ожидаемых минералов. Этот этап специалист-петролог обычно выполняет вручную.

Был разработан прототип экспертной системы с целью автоматизации этого этапа. Также прототип выполняет автоматическое преобразование данных к удобному для пользователя представлению.

Существующие экспертные системы для решения задач определения минералов в основном ориентированы на помощь в полевом определении минералов или являются специализированными.

Правила, лежащие в основе экспертной системы, могут задаваться специалистами (формальная логика, нечеткая логика и др.) или синтезироваться с помощью технологий Data Mining (деревья решений и нейронные сети и др.). На наш взгляд, лучшим решением является использование нечеткой логики, так как наличие непостоянной погрешности измерений затрудняет использование формальной логики, а для использования Data Mining требуется большой набор заведомо верных определений.

Для решения задачи распознавания необходима опорная классификация минералов, которая задавала бы иерархию и структуру базы правил. В качестве такой классификации была выбрана Dana's New Minerology, включающая в себя более 4500 минералов, объединенных в общую четырехуровневую классификацию.

Формат описания правил позволяет легко описывать любые минералы и твердые растворы, а также снять проблемы связанные с отношением группа-подгруппа.

Система может применяться для помощи в обработке микрозондовых данных, выявление ошибок и аномалий в результатах, а также для отбора данных для решения задач геотермобарометрии и сходных задач.

Прототип системы был использован для контроля стехиометрии фенгита в работе В.А. Камзолкина посвященной эклогитам Передового хребта Западного Кавказа. В качестве тестовых наборов данных для прототипа использовались микрозондовые анализы А.Н. Конилова (ГИН РАН), В.А. Камзолкина (ИФЗ РАН) и данные из литературных источников.

ИЗУЧЕНИЕ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ

*Березина И.А.¹, Патонин А.В.², Цельмович В.А.², Баяк И.О.¹, Краснова М.А.¹,
Насимов Р.М.¹, Тихоцкий С.А.¹, Пономарёв А.В.¹, Калмыков Г.А.³*

¹ ИФЗ РАН; ² ГО «Борок» ИФЗ РАН; ³ МГУ

irene.berezina@gmail.com

Для эффективной добычи нефти и газа из сложнопостроенных нетрадиционных коллекторов требуется комплексный подход к изучению и анализу различных свойств этих пород. Объектом настоящего исследования являются породы коллектора Баженовской свиты (аргиллитоподобные породы с высоким содержанием органического вещества, аналог shale в англоязычной терминологии). Рассматриваются деформационные и упругие свойства этих пород, плотность и фильтрационно-емкостные характеристики (пористость и проницаемость). Помимо этого анализируется микроструктура пород, что в свою очередь дает возможность анализа физических свойств с позиции их внутреннего строения.

Для изучения деформационных и упругих свойств при пластовых условиях проводился эксперимент на прессовом комплексе INOVA [Патонин и др., 2013]. Кривые «напряжение – деформация» получены в условиях, когда образцы (размер образцов 30х60 мм) подвержены действию гидростатического давления ($P_c=20$ МПа и 40 МПа) при дополнительной осевой нагрузке с постоянной скоростью деформации, равной 6.1×10^{-6} . Нагружение образцов проводилось до момента их разрушения и после, вплоть до релаксации давления до уровня гидростатического. В процессе нагружения образцов непрерывно измерялись: осевая нагрузка, осевая и радиальная деформация, скорости продольных волн в различных направлениях, производились записи волновых форм, а также регистрировалась акустическая эмиссия. В результате были определены статические геомеханические параметры породы - модуль Юнга и коэффициент Пуассона, предел прочности. Показано, что геомеханические параметры исследуемых пород зависят от приложенной нагрузки. Измерение скоростей продольных и поперечных упругих волн при нормальных условиях происходило в направлениях параллельно и перпендикулярно напластованию, а также в плоскости, перпендикулярной плоскости напластования, в направлении, отличном от нормали к напластованию. Предварительно проводились метрологические измерения с получением диаграммы направленности датчиков поперечных волн. На основе полученных в результате эксперимента скоростей упругих волн в различных направлениях был рассчитан тензор упругости для трансверсально-изотропной среды с вертикальной осью симметрии. Проанализированы динамические модули упругости при переходе от нормальных условий к пластовым.

Анализ микроструктуры породы был проведен в различных масштабах – поле зрения составляло от нескольких микрометров (SEM, микронзонд Tescan Vega II) до нескольких сантиметров (использован оптический микроскоп Olympus BX51M), до процесса деформирования и после него. Были идентифицированы типы пустотного пространства и органического вещества согласно методике работы [Loucks et al., 2012]. Показано, что приложение одноосной нагрузки приводит к образованию в породе-коллекторе удлиненных структур, что в свою очередь, проявляется в возрастании анизотропии упругих свойств породы в процессе ее нагружения.

Проводились измерения петрофизических характеристик породы — пористости, плотности, проницаемости. Минеральный состав получен на основе рентгенофазового анализа.

Результаты данного исследования могут быть использованы на практике при интерпретации данных сейсморазведки и для контроля состояния пласта при изменении его напряженного состояния, в частности — при активном воздействии на пласт (ГРП).

Список литературы

1. Патонин А.В., Пономарев А.В., Смирнов В.Б. Аппаратно-программный лабораторный комплекс для решения задач физики разрушения горных пород// Сейсмические приборы, 2013, Т. 49, №1, с.19-34.
2. Loucks R.G., Reed R.M., Ruppel S.C., Hammes Ursula Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores// AAPG Bulletin, v. 96, no. 6 (June 2012), pp. 1071–1098.

МЕТОД Т-МАТРИЦЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Алхименков Ю.А., МГУ
ura.msu@gmail.com

В данной работе рассматривается метод Т-матрицы квантовой теории рассеяния для определения эффективных упругих характеристик порово-трещиноватых сред. Данный подход позволяет рассмотреть множество аппроксимаций для порово-трещиноватых композитов и поликристаллов в единой терминологии квантовой теории рассеяния. Кроме этого, с помощью метода Т-матрицы возможно получить некоторые новые аппроксимации для композитных материалов.

Основой для проведения данного исследования являлось теоретическое моделирование эффективных упругих свойств карбонатного коллектора, содержащего субвертикальные трещины. Такой коллектор является примером горизонтально-трансверсально-изотропной среды (НТИ). Модель плотного карбонатного коллектора представляет собой минеральную матрицу, содержащую субвертикальные трещины. В качестве исходной матрицы использовалась матрица кальцита. Предполагалось, что включения имеют форму эллипсоидов вращения, заполненных флюидом. В данном моделировании рассматривались включения, заполненные пластовой водой, пластовым газом и газом в нормальных условиях (метаном).

При теоретическом моделировании анизотропных упругих свойств коллекторов с использованием методов теории эффективных сред основной проблемой при расчете упругих постоянных микронеоднородных сред является учет многочастичных взаимодействий. В общем случае эта задача может быть решена лишь приближенно, поэтому существует много методов теории эффективных сред (ТЭС), основанных на различных предположениях о взаимодействии в среде. В данной работе расчет эффективного тензора упругости анизотропного плотного карбонатного коллектора выполнен различными методами теории эффективных сред: оптической потенциальной аппроксимации [Jakobsen et al., 2003], когерентной потенциальной аппроксимации [Jakobsen et al., 2003], Мори-Танака [Jakobsen et al., 2003], обобщенного сингулярного приближения (ОСП) [Баюк, 2011; Шермергор, 1977], Хадсона [Mavko et al., 2009], Эшелби-Ченга [Mavko et al., 2009] и другие. Проведена сравнительная характеристика методов, обоснованы критерии их использования, оценены различия в определении упругих постоянных. Показано, что для применимости каждого метода ТЭС существуют ограничения на модель среды.

Список литературы:

1. Баюк И.О. Междисциплинарный подход к определению эффективных физических свойств коллекторов // Технологии сейсморазведки. 2011. №4. С.10–17.
2. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. –М.: Наука, 1977.
3. Jakobsen M., Hudson J., and Johansen T.A. T-matrix approach to shale acoustics // Geophys. J. Int. 2003. Vol. 154. P. 533–558.
4. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. 2nd Edition. Cambridge Univ. Press., 2009. 511 p.
5. Tsvankin, I., Seismic signatures and analysis of reflection data in anisotropic media: Handbook of geophysical exploration: Seismic exploration, Vol. 29, Elsevier Science Publ. Co., Inc., 40–4. 2005

МАГНИТО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ УМЕРЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Долотов А.В., Грибов С.К., ГО «Борок» ИФЗ РАН

Исследовались образцы пермо-триасового базальта (из коллекции сибирских траппов), содержащего катиондефицитный титаномagnetит ТМ ($z=0.5$, $T_c=270^\circ\text{C}$). По мере увеличения времени выдержки исходного вещества вплоть до 200 часов в воздушной среде при температурах 400, 450, 500 и 530°C определялись магнитные параметры насыщения (M_s , M_{rs} , H_c , H_{cr}), измеряемые при комнатной температуре. Параллельно проводились термомагнитные, микроскопические, микрозондовые и рентгенодифрактометрические исследования.

Установлено, что преобразования ТМ при $T \leq 450^\circ\text{C}$ приводят сначала к снижению характеристик магнитной жесткости (H_c , H_{cr} , M_{rs}/M_s) вещества, а затем с увеличением выдержки образцов в изотермическом режиме к их росту, а также к первоначальному росту M_s и T_c (вплоть до фиксации на кривых $M_s(T)$ двух точек Кюри в интервалах $\sim 500 \div 525^\circ\text{C}$ и $\sim 575 \div 586^\circ\text{C}$) при частичном сохранении исходной ТМ фазы, что указывает на процессы как однофазного доокисления, так и гетерофазного изменения некоторой части ТМ зерен с образованием фазы, близкой к магнетиту. При этом магнитометрические измерения свидетельствуют о переходе новообразованных суперпарамагнитных фаз в однодоменное состояние и, лишь отчасти, - о дальнейшем росте данных выделений в пределах однодоменности. В то же время результаты рентгенофазового анализа этих образцов показывают сохранение шпинельной структуры и развитие процесса однофазного окисления ТМ вплоть до степени окисления $z \sim 1.0$. На этой стадии изотермического преобразования ТМ выделения собственно гемоильменитовой фазы с помощью рентгенофазового и электронно-микроскопического анализов не регистрируются.

При $T \geq 500^\circ\text{C}$ результаты рентгенодифрактометрического анализа однозначно указывают на распад исходных катион-дефицитных ТМ с образованием шпинельной фазы, близкой к магнетиту, и гемоильменитовой фазы; решетчатые выделения последней становятся также видимыми с помощью электронной микроскопии. Увеличение времени изотермических выдержек образцов сопровождается окислением межламельного магнетита, приводящим к изменению состава гемоильменитовой фазы вплоть до содержания в ней гематитовой компоненты $\sim 0.3 \div 0.4$. Выявленные закономерности временного поведения магнитных гистерезисных характеристик однозначно отражают изменения объемов и состава сосуществующих магнетитовой и гемоильменитовой фаз, а также характер их кристаллографического сопряжения.

ЛАГРАНЖЕВО-ЭЙЛЕРОВА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНВЕКТИВНОГО АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Галиченко С.В., Анисимов С.В., ГО «Борок» ИФЗ РАН

Электрическая структура пограничного слоя атмосферы определяется многообразием физических процессов в широком диапазоне пространственно-временных масштабов от ионизации молекул и межчастичных взаимодействий в многокомпонентной слабоионизированной среде до формирования ионосферного потенциала грозowymi генераторами и квазистатическими токами электрифицированных облаков. Электрические поля, создаваемые в АПС объемными зарядами, образующимися вследствие неоднородностей электрической проводимости и влияния проводящей земной поверхности, имеют тот же порядок величины, что и электрическое поле внешних по отношению к АПС источников. В условиях конвекции АПС представляет собой электродинамически активную среду, в которой, наряду с диссипативным протеканием тока проводимости, действует конвективная ЭДС, осуществляющая турбулентный перенос объемного электрического заряда и генерирующая электрический ток, не согласованный с направлением вектора напряженности глобального атмосферного электрического поля [Анисимов С.В. и др., 2012, 2014; Anisimov et al, 2013, 2014].

Разработана лагранжево-эйлерова электродинамическая модель горизонтально однородного конвективного пограничного слоя, учитывающая энергетические и термодинамические характеристики АПС, ионизационный вклад радиоактивных эманаций грунта, процессы перезарядки аэрозольных частиц и мультидисперсность аэрозоля. С высоким пространственно-временным разрешением рассчитаны высотные профили скорости ионообразования, концентраций легких атмосферных ионов, электрической проводимости, плотности объемного заряда, напряженности электрического поля, плотности токов проводимости и механического переноса в эволюционирующем атмосферном пограничном слое. Исследован частотный спектр флуктуаций расчетной плотности объемного заряда. Установлено степенное поведение спектра флуктуаций расчетной плотности объемного заряда в интервале частот $f = 0.001 - 0.5$ Гц с показателем из интервала $0.7 < \alpha < 2$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, №13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Список литературы:

1. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М. Формирование электрически активных слоев атмосферы с температурной инверсией // Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 442-452.
2. Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M. Space charge and aereoelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // Atmos. Res. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.012>.
3. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M., Shatalina M.V., Galichenko S.V., Zilitinkevich S.S. Aereoelectric Structures and Turbulence in Atmospheric Boundary Layer // Nonlinear Processes in Geophysics. 2014. V.21, pp. 819–824. www.nonlin-processes-geophys.net/20/819/2013/ doi:10.5194/npg-20-819-2013.
4. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана. 2014. № 4 (в печати)

НАБЛЮДЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Афиногенов К.В., Анисимов С.В., ГО «Борок» ИФЗ РАН

В летние сезоны на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04'N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводятся натурные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Цель работы заключается в изучении электродинамики нижней атмосферы и исследовании турбулентных аэроэлектрических структур [Анисимов и др., 2013].

Полевой измерительный комплекс включает электростатические флюксометры (типа field mill), ультразвуковые цифровые метеостанции, счетчики концентрации легких атмосферных ионов, токовый коллектор, пиранометр, датчик концентрации радона-222 и радона-220 (торона). Данные регистрируются цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц.

В ходе полевых натурных наблюдений получены суточные хода концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Показано наличие корреляций напряженности атмосферного электрического поля и плотности вертикального атмосферного электрического тока с вариациями концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Показана взаимосвязь суточных ходов вариаций объемной активности радона-222 и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Проведено одновременное наблюдение вариаций концентраций легких аэроионов в приземном слое атмосферы на высотах 60 см и 150 см от поверхности земли.

Исследован частотный спектр вариаций плотности объемного заряда, сосредоточенного на легких ионах. Определено, что частотный спектр вариаций плотности объемного заряда самоподобен. В течение суток в интервале периодов от 10 до 500 секунд показатель наклона спектра плотности объемного заряда изменяется от -1.6 до -1.75. Обнаружено, что в интервале периодов от 2 до 10 секунд показатель наклона спектра меняется в течение суток в зависимости от интенсивности турбулентности. В ночное время показатель наклона спектра колеблется от -1.9 до -3.1, а в дневное время близок к -5/3. Граница излома наклона спектра меняется в течение суток от 5 до 15 секунд.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №12-05-00820, № 12-05-31517, №13-05-10005, №13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Список литературы:

1. Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Шихова Н.М. Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу // Изв. Вузов, Радиофизика. 2013, выпуск 11-12. т. 56. С. 787-804.

УНИТАРНАЯ ВАРИАЦИЯ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ:
РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ “БОРОК”.

*Прохорчук А.А., Анисимов С.В., ГО «Борок» ИФЗ РАН
alexprok@borok.yar.ru*

Результаты натурных атмосферных электрических наблюдений, выполненных экспедицией «Карнеги» (1928–1929), показывают, что среднесуточный ход напряженности вертикального электрического поля приземной атмосферы E_z , измеренной над океаном в условиях «хорошей погоды» (отсутствие осадков, малая облачность, слабый ветер), не зависит от географических координат точки, в которой проводились наблюдения [Harrison, 2013]. Наблюдаемый за время работы экспедиции среднесуточный ход E_z получил название «кривой Карнеги», а выявленная вариация E_z — унитарной вариацией. Согласно гипотезе глобальной электрической цепи унитарная вариация обусловлена изменением глобальной разности потенциалов между земной поверхностью и ионосферой.

Над сушей ряд локальных факторов (интенсивная конвекция, высокая концентрация аэрозолей, частая облачность, антропогенное загрязнение) препятствует обнаружению унитарной вариации. Влияние этих факторов наименее значимо в зимние сезоны наблюдений при выполнении условий «хорошей погоды», что показано на примере отдельных континентальных обсерваторий. По данным наблюдений обсерватории «Марста» (59°56' N, 17°35' E) результаты статистического анализа непрерывных рядов E_z за 1993–1998 гг. показали среднесуточную вариацию, имеющую с кривой Карнеги коэффициент детерминации 0.92 [Israelson and Tammet, 2001].

В работе представлена среднесуточная вариация напряженности аэроэлектрического поля E_z по данным наблюдений обсерватории «Борок» (58°04' N, 38°23' E), полученная с использованием базы данных обсерватории [Анисимов и др., 2012]. Результат получен на материале 8540 часов наблюдений в зимние сезоны 2004–2014 гг., удовлетворяющих критериям «хорошей погоды» (получасовые средние E_z расположены в интервале (0, - 0.7) кВ/м, средняя скорость ветра за 15 минут не превышает 3 м/с). Данные наблюдений получены в условиях низкого уровня искусственного электромагнитного и естественного сейсмического шума, вдали от источников промышленных загрязнений. Коэффициент детерминации среднесуточной вариации E_z обсерватории «Борок» с аналогичной вариацией на обсерватории «Марста» равен 0.96, с кривой Карнеги — 0.88.

Обнаружение унитарной вариации аэроэлектрического поля по материалам среднеширотной континентальной обсерватории согласуется с гипотезой глобального генератора атмосферного электрического поля и показывает репрезентативность данных выполняемых аэроэлектрических наблюдений.

Список литературы

1. Harrison, R.G. The Carnegie Curve // Surv. Geophys., 2013, 34, 209–232.
2. Israelson S., Tammet H., Variation of fair weather atmospheric electricity at Marsta Observatory, Sweden, 1993–1998 // Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics, 2001, 63, 1693–1703.
3. Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М., Атмосферные электрические наблюдения на геофизической обсерватории “Борок” // Сборник трудов VII всероссийской конференции по атмосферному электричеству, 2012, 24–26.

НАДО ЛИ СЕЙСМОЛОГАМ ЗНАТЬ ОБ ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ?

Костерин Н.А., асп. ИФЗ РАН

Подробно рассмотрены некоторые из глобальных электромагнитных УНЧ сигналов, предположительно возникающих перед землетрясениями, о регистрации которых сообщалось в многочисленных публикациях и докладах. Сопоставление “предвестниковых” сигналов с данными других среднеширотных магнитных станций показало, что вся совокупность морфологических свойств этих сигналов свидетельствует о том, что они являются характерными магнитосферными пульсациями типов $Pi2$ и $Pc3-4$. Таким образом, не имеется достаточно убедительных доказательств появления квазигармонических сигналов, предвещающих землетрясения.

По мнению некоторых авторов, часть высокоширотных магнитных импульсов возбуждается в земной коре в периоды подготовки землетрясений и являются магнитными предвестниками землетрясений. Нами подробно рассмотрено событие, когда на обсерватории «Мирный» было зарегистрировано импульсное возмущение, которое авторы относят к предвестнику всплеска сейсмической энергии, произошедшего примерно через 3 часа. Анализ данных сети антарктических станций показывает, что этот магнитный импульс является локализованным возмущением и никак не может генерироваться в эпицентре будущего землетрясения.

Также в серии недавних работ сообщалось об обнаружении аномального магнитного возмущения на станциях INTERMAGNET в Канаде за 3 суток перед катастрофическим землетрясением в Чили 27.02.2010. Проведенный более подробный анализ данных магнитных станций, фотометров и риометров в Канаде и Чили однозначно показывает, что это предположительно аномальное геомагнитное возмущение поля вызвано стандартной суббурей и никак не связано с сейсмической активностью.

Таким образом, анализ возмущений естественных полей Земли, предположительно вызванных сейсмической активностью, сейсмологи должны проводить в тесном сотрудничестве со специалистами по физике околоземного пространства.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ VZ-КОМПОНЕНТЫ ММП НА ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА
ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ИРРЕГУЛЯРНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ
В ДИАПАЗОНЕ 2 – 6 МГц (IPCL)

Лавров И.П., Геофизическая обсерватория “Борок” - филиал ИФЗ РАН

lavrvania@mail.ru

Проведено исследование одновременных наблюдений высокоширотных длиннопериодных иррегулярных пульсаций в диапазоне частот 2.0–6.0 МГц (ipcl) и возмущений магнитного поля в плазме солнечного ветра при слабой геомагнитной активности ($K_p \sim 0$). Для анализа использованы 1-секундные данные регистрации магнитного поля на Гренландской сети обсерваторий, а также 1-минутные данные о параметрах плазмы солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) за период 2011-2013 гг. Переориентация V_z-компоненты ММП с северного направления на южное приводит к началу генерации пульсаций ipcl. Показано, что средняя частота ipcl линейно связана со скоростью изменения V_z - компоненты ММП ($\Delta V_z / \Delta t$). Коэффициент пропорциональности различен для станций, расположенных выше и ниже геомагнитной широты ($\Phi \sim 75^\circ$), что отражает топологию магнитного поля магнитосферы в подсолнечной области магнитосферы при переориентации V_z. Полученные результаты свидетельствуют, что при $V_z < 0$ нестационарность (турбулентность) плазмы солнечного ветра приводит усилению “ветровой неустойчивости” на магнитопаузе и, как следствие, к формированию наблюдаемого спектра ipcl.

ПАРАМЕТРЫ НОЧНЫХ РСЗ ПУЛЬСАЦИЙ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СЕТЯХ СТАНЦИЙ MAGDAS И MM100

*Носикова Н., ИФЗ РАН
natanosik@yandex.ru*

Задача о параметрах фоновой возмущенности в пульсационном диапазоне является ключевой для выделения сигналов немагнитосферного происхождения, включая сейсмoeлектромагнитные возмущения и ионосферные проявления атмосферных процессов. Рутинные методы подавления магнитосферного сигнала сводятся к анализу сигналов в ночные часы и выбору магнитоспокойных интервалов. Для диапазона РСЗ такой отбор может оказаться недостаточным из-за наблюдаемых и при низкой геомагнитной возмущенности низкоширотных ночных РСЗ пульсаций и широкополосных сигналов того же диапазона в средних и низких широтах, количественное описание которых до сих пор отсутствует.

В настоящей работе исследуются параметры ночных РСЗ пульсаций на средних и низких широтах на Земле по данным сетей наземных магнитометров MAGDAS и MM100. Показано, что для ночных РСЗ характерно немонокотонное пространственное распределение амплитуды и фазы пульсаций на масштабах $10^2...10^3$ км, а зависимость от фактов космической погоды отличается от наблюдаемой для классических ночных Рi2 и дневных РСЗ пульсаций. Большие градиенты параметров ночных РСЗ существуют вблизи широты, соответствующей альфвеновскому резонансу, и на крайне низких широтах, где силовая линия полностью погружена в ионосферу.

Автор благодарит Б. Хэйлига, К. Юмото и М. Парро за предоставленные данные наземных и спутниковых наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-05-12091)

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ТЕРМОМАГНИТОМЕТРА

Смирнов М.А., Сычев А.Н., Виноградов Ю.К., ГО «Борок» ИФЗ РАН
sma@borok.yar.ru

Решением проблемы исследования эволюции магнитного момента Земли в рамках геомагнетизма занимаются палеомагнетизм и петромагнетизм (магнетизм горных пород), которые исследуют магнитные свойства горных пород с помощью магнитометрических приборов. В силу высоких требований к сохранности первичной остаточной намагниченности образцов исследуемых горных пород палеомагнитные исследования являются одними из самых трудоёмких в области геомагнетизма. Высокую трудоемкость научных методов исследования в этой области значительно снижает применение современных информационных технологий и компьютеризированного научного оборудования.

Предполагается разработать и изготовить трехкомпонентный термомангнитометр, который позволит полностью автоматизировать палеомагнитные работы на основных этапах экспериментов, практически без вмешательства человека. Значительным преимуществом термомангнитометра будет возможность программирования непрерывного, в том числе длительного, эксперимента, с последующим автоматическим выполнением без участия оператора. Уникальность термомангнитометра – в возможности одновременного измерения трех компонент намагниченности образца при различных температурах и скоростях нагрева, что позволяет значительно увеличить производительность и эффективность научных исследований.

На данном этапе работ по проектированию программируемого трехкомпонентного термомангнитометра разработана блок-схема прибора и решена задача создания интерпретатора языка программирования, который необходим для работы термомангнитометра в автоматическом режиме, когда управление прибором осуществляется на основании команд, записанных в виде текста. Применение интерпретатора позволяет повысить эффективность программного обеспечения. Разработан алгоритм синтаксического анализа, т.е. проверки соответствия текста заданному синтаксису. Определен список эталонных команд термомангнитометра, то есть тех команд, которые может выполнять данный прибор. После проверки правильности команд на синтаксис, происходит контроль наличия их в списке эталонных команд, с последующей обработкой и выполнением. Эталонные команды позволяют управлять: мотором, выбором предела измерения, температурой и скоростью нагрева образца, устанавливать величину и знак внешнего магнитного поля, воздействующего на образец, записью в файл результатов измерения, и т.д. Перечисленное обеспечивает работу прибора полностью в автоматическом режиме.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-07-00962.