

ПОЛЕВЫЕ НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

*Афиногенов Константин Викторович, н.с.
лаб. ОБ-3 ГО «Борок» ИФЗ РАН*

В летний сезон 2014 года на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводились натурные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Цель работы заключалась в изучении динамики электрических характеристик нижней атмосферы, исследовании турбулентных аэроэлектрических структур, создании банка данных входных параметров для построения стохастической лагранжевой модели электрического состояния атмосферного пограничного слоя [1]. Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксометры, ультразвуковые цифровые метеостанции, датчики полярных электрических проводимостей атмосферы, токовый коллектор, пиранометр, датчики объемной активности радона AlphaGuard PQ2000 и CPC-05. Данные регистрируются цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц.

В ходе полевых натурных наблюдений получены характерные суточные ходы, построенные усреднением данных более чем за 10 суток, концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда, удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы, объемной активности радона.

Получен суточный ход плотности вертикального атмосферного электрического тока проводимости по данным вариаций удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы и вертикальной компоненты напряженности атмосферного электрического поля. Показана значимая корреляция плотности тока проводимости и плотности полного вертикального атмосферного электрического тока, измеренного токовым коллектором.

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

Показана взаимосвязь суточных ходов вариаций объемной активности радона, удельной электрической проводимости и плотности объемного электрического заряда приземного слоя атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №12-05-00820, №12-05-31517, №13-05-10005, №13-05-12060, №15-05-04960) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7

Список литературы:

1. 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. Т.50, № 4. с. 445–454.

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА И СРЕДНЕЙ АЗИИ НА ПРОТЯЖЕНИИ ГОЛОЦЕНА: ГЕОМАГНИТНЫЕ И АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Станислава Всеволодовна Акимова¹, Yves Gallet²

¹Аспирант, Лаборатория Археомagnetизма и эволюции геомагнитного поля (106) ИФЗ РАН

²Equipe de Paleomagnetisme, Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France

Возможность существования очень значительных быстрых вариаций напряженности геомагнитного поля активно обсуждается в геомагнитном и палеомагнитном сообществах. Доказательство существования таких вариаций и определение их характеристик имело бы большое значение для понимания процессов, происходящих в земном ядре. Главная проблема, при этом, состоит в том, что надежно зафиксировать и детально охарактеризовать эпизоды быстрого изменения напряженности в геомагнитной летописи прошедших эпох весьма сложно. Эти задачи решаются в ходе археомagnetных исследований.

Среди короткопериодических вариаций геомагнитного поля, которые наблюдались вплоть до настоящего времени, присутствуют ясные пики напряженности, которые, в зависимости от порядка значений, могут свидетельствовать либо о т.н. археомagnetных «джерках», либо о геомагнитных «спайках». Археомagnetные «джерки» характеризуются весьма быстрыми (первые сотни лет) вариациями напряженности и направления геомагнитного поля. Геомагнитные «спайки» - это рывки напряженности геомагнитного поля, характеризующиеся возрастанием значений более чем в 2 раза по сравнению со значениями напряженности современного магнитного поля Земли, и скоростью вариаций напряженности, превышающей современную более чем в 40 раз ($\sim 4\text{-}5\text{ }\mu\text{T}$ в год).

В результате настоящей работы будут построены детальные региональные кривые вариаций напряженности геомагнитного поля и ее компонент, что позволит фиксировать геомагнитные события с высоким временным разрешением. Если наличие таких событий будет подтверждено, это в корне изменит существующее представление о механизме геодинамо, действующем в ядре нашей планеты, в частности о скорости течений вещества в Земном ядре. Кроме того, в ряде исследований указана связь таких пиков напряженности геомагнитного поля с климатическими изменениями. Эта зависимость должна быть подтверждена. Также, данные кривые могут стать хорошим инструментом для решения археологических задач, таких как определение возраста плохо датированных археологических объектов.

К настоящему моменту нами уже получены первые результаты исследования археонапряженности на фрагментах керамических сосудов из многослойного поселения Ярымтепе II (Северный Ирак), отобранных Советской Экспедицией в 1970е гг. Эти результаты будут представлены в докладе.

Список литературы:

1. E. Ben-Yosef et al. Geomagnetic intensity spike recorded in high resolution slag deposit in Southern Jordan\\Earth and Planetary Science Letters 287 (2009) 529 – 539
2. Y. Gallet et al. On the possible occurrence of 'archaeomagnetic jerks' in the geomagnetic field over the past three millennia\\Earth and Planetary Science Letters 214 (2003) 237 - 242
3. Y. Gallet et al. Geomagnetic field hemispheric asymmetry and archeomagnetic jerks\\Earth and Planetary Science Letters 284 (2009) 295 – 304
4. P. Livermore et al. Core-flow constraints on extreme archeomagnetic intensity changes\\ Earth and Planetary Science Letters 387 (2014) 145 - 156
5. R. Shaar et al. Geomagnetic field intensity: How high can it get? How fast can it change? Constraints from Iron Age copper slag\\Earth and Planetary Science Letters 301 (2011) 297 - 306

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛЕ СОВРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОРЫ ВЫСОКОЙ АЗИИ

Алексеев Роман Сергеевич,

м.н.с., Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204) ИФЗ РАН,

В докладе будут представлены результаты исследования современного напряженного состояния в земной коре внутриконтинентальных орогенов Азии [2-4]. Изначально реконструкция напряжений выполнялась для земной коры Средней Азии, частично захватывая области Гималаев и Тибета, позже район изучения напряжений полностью охватил кору Высокой Азии, в которую входят Гималаи, Тибет, Гиндукуш, Кунь-Лунь, Тянь-Шань, а также разделяющие их внутригорные и межгорные впадины и передовые прогибы (Тарим, Чуйская и др.). Для реконструкции напряжений использовался метод катакластического анализа разрывных смещений, разработанный в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН [1]. Исходными данными для анализа напряжений являлся каталог механизмов очагов Global CMT, размещенный на сервере геологической службы США.

Расчеты показали, что ориентация осей максимального сжатия в исследуемом регионе в основном имеет субмеридиональное и юго-восточное простирание, но есть также участки, где эти оси ориентированы на северо-восток (кора западной части Таримской плиты, северо-западная часть Иранского нагорья) и даже субширотно (Восточный Гиндукуш и западная часть Памира). Погружение этих осей в основном на юг, однако в области с субвертикальной ориентацией этих осей они погружены на северо-восток. Оси максимального девиаторного растяжения ориентированы субширотно. В коре западной части Таримской плиты и для коры северо-западных Гималаев, на север - северо-восток для коры горных областей Гиндукуша и имеют крутое, субвертикальное погружение для Западного Тянь-Шаня и участков западного Памира. Так же имеются области, где оси максимального растяжения имеют северо-западное простирание (кора западной части Гималаев и области западного Тибета). Подобная ориентация соответствует геодинамическому режиму, близкому к горизонтальному растяжению. Для коры западной части Таримской плиты и сопредельных к ней участков имеет место обратная ситуация. Здесь оси главного девиаторного растяжения имеют крутое погружения, а оси максимального сжатия пологие, что соответствует геодинамическому режиму, близкому к горизонтальному сжатию.

Основным типом геодинамического режима в данном регионе является горизонтальное сжатие и горизонтальный сдвиг. Существуют также участки горизонтального растяжения, которые практически полностью приурочены к коре западной части Таримской плиты и северо-западной части Гималай. Вид тензора напряжений – эллипсоида напряжений близок к чистому сдвигу и его сочетанию с одноосным сжатием и одноосным растяжением. В коре западной части Таримской плиты имеется большое число доменов с видом эллипсоида напряжений близким к одноосному растяжению.

Список литературы:

1. Ребецкий Ю.Л. *Тектонические напряжения и прочность горных массивов* // М.: Академкнига. 2007.- 406 с.
2. Алексеев Р.С., Ребецкий Ю.Л. *Тектоническое поле современных напряжений Средней Азии // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы первой молодежной школы семинара. М.: ИФЗ. 2011. Т 1. С. 284-289.*
3. Алексеев Р.С., Ребецкий Ю.Л. *Тектоническое поле современных напряжений Юго-Восточной и Средней Азии // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т. 1. М.: ИФЗ. 2012.*
4. Ю.Л. Ребецкий, Р.С. Алексеев. *Поле современных напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // Геодинамика и Тектонофизика 5 (1). с.257–290. doi:10.5800/GT2014-5-1-0127*

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЛУБИННОМ СТРОЕНИИ ГОРЫ ЭЛЬБРУС И ПРИЭЛЬБРУСЬЯ

*Андреева Надежда Вячеславовна, аспирант ИФЗ РАН,
н.с., Лаборатория сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования (701) ИФЗ РАН,
Горбатилов А.В., к.ф.-м.н., вед.н.с., Степанова М.Ю., к.ф.-м.н., ст.н.с.
Лаборатория методов прогноза землетрясений (702) ИФЗ РАН,*

Проведено геолого-геофизическое исследование южного склона горы Эльбрус и части Баксанского ущелья. Глубинное строение исследовалось с помощью метода микросейсмического зондирования в рамках полевых работ, проведенных Микросейсмическим отрядом ИФЗ РАН в сентябре 2014 года.

Методом ММЗ был пройден профиль, состоящий из 32 точек наблюдения с расстоянием между точками 500м. Особенность профиля заключается в том, что его начальная точка лежит на южном склоне г. Эльбрус на высоте 4800 метров над уровнем моря. Конечная точка расположена в Баксанском ущелье возле северной оконечности пос. Байдаево на высоте 1960 метров. Таким образом, в едином разрезе по этому профилю предполагается обнаружить, с одной стороны, особенности глубинного строения вулканической постройки г. Эльбрус, и, с другой стороны, исследовать особенности глубинного строения массива Большого Кавказа.

Наиболее значимыми результатами данного исследования является:

1. Почти половина длины пройденного профиля (14 точек) лежит на вулканической постройке г. Эльбрус, что позволяет уже на данном этапе обнаружить особенности его глубинного строения. Так в пределах вулканической постройки на различных глубинах были обнаружены низкоскоростные компактные зоны, которые интерпретируются как магматические очаги и зоны повышенной трещиноватости. Непосредственно в теле горы Эльбрус обнаружена система связанных между собой низкоскоростных объемов в диапазоне абсолютных высот от 2 до 3.5 км над уровнем моря. Принимая во внимание работы Лиходеева и Михайленко по измерению теплового потока на вершине г. Эльбрус, можно полагать, что выделенные объемы представляют собой остаточные, почти остывшие в настоящее время, вулканические камеры, которые формировали рельефную поверхность горы во время последней активной фазы вулкана. Второй ярус низкоскоростных объемов выделен в диапазоне абсолютных глубин 6.5-11 км. И самый глубокий ярус – на глубинах с 19 до 33 км от уровня моря. Мы предполагаем, что эти низкоскоростные объемы представляют собой магмасодержащие камеры, поскольку они расположены непосредственно под или в непосредственной близости от г. Эльбрус и не имеют тенденции к распространению за пределы горы. Важно отметить, что базирующиеся на независимых методах ранее проведенные работы по изучению глубинного строения г. Эльбрус также приводили к выводу о существовании магматических камер на указанных глубинах. (Нечаев, Собисевич, Арбузкин).

2. Продолжение профиля вдоль Баксанского ущелья за пределами вулканической постройки обнаруживает интересные особенности глубинного строения. А именно, присутствие четко выраженного разлома (предположительно ВЮВ падения) на уровне пересечения Баксанского ущелья ледниковой рекой, сходящей с г.Чегет. На современных геологических и тектонических картах близкие по характеристикам разломы отмечаются в этом месте, однако, имеется пространственное рассогласование наших результатов и карт примерно на 1-1.5 км. Это несоответствие будет изучаться на дальнейших этапах исследования.

3. Низкоскоростные неоднородности находящиеся на небольших глубинах профиля вдоль части Баксанского ущелья соответствуют уступам в рельефе.

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КРАТОНОВ ЮЖНЫХ МАТЕРИКОВ

Баранов Алексей Андреевич, к.ф.-м.н., в.н.с., Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202) ИФЗ РАН
Бобров А.М., к.ф.-м.н., в.н.с., Лаборатория теоретической геофизики (101) ИФЗ РАН

Континентальная кора является наиболее неоднородной частью Земли, и ее влияние скрывает эффект неоднородностей в мантии, влияющих на гравитационное поле и другие поля. Это обусловлено как различной толщиной коры под континентами, так и ее разными свойствами в разных континентальных регионах. Толщина нормальной континентальной коры меняется от 30 до 75 км. Наиболее древние участки земной коры – это архейские кратоны с возрастом более 2.5 млрд. лет. Для сравнения возраст океанического дна не превышает 180 млн. лет. Древние участки земной коры – свидетельства эволюции Земли за огромный срок. Изучение их строения свойств представляют огромный интерес для наук о Земле. Кроме того, крупнейшие химические неоднородности в мантии наряду со слоем D” – это именно участки древней континентальной коры и литосфера под ними. Геологические, геохимические и геофизические данные позволяют предположить, фундаментальное различие между недеформированной континентальной корой начала и середины архея и корой, образовавшейся в эпоху позднего архея и позднее [Taylor and McLennan, 1995].

Целью настоящей работы является изучение свойств кратонов южных континентов, которые раньше входили в Гондвану – Африки, Австралии, Антарктиды и Южной Америки, а также Индийского микроконтинента. Архейские кратоны этих регионов гораздо менее изучены по сравнению с кратонами северных материков. Строение и свойства коры для разных кратонов южных материков наряду со сходствами имеют и большие различия.

В настоящей работе собраны и проанализированы данные о строении и свойствах кратонов южных материков. Был проведен анализ и сравнение таблиц для каждого кратона. Всего было исследовано 13 кратонов, ранее входивших в Гондвану. Сводные данные по кратонам представлены в итоговой таблице. Также были проанализированы для каждого кратона диаграммы распределения Мохо, отношение V_p/V_s , коэффициента Пуассона, средние значения Мохо, осадков, рельефа, и возможная связь этих параметров с возрастом кратонов.

Список литературы:

1. Begg, G., Griffin, W., Natapov, L., O'Reilly, S., Grand, S., O'Neill, C., Hronsky, J., Poudjom, Y., Swain, D., Deen, T., Bowden, P. The lithospheric architecture of Africa: Seismic tomography, mantle petrology, and tectonic evolution. *Geosphere*, 2009, v. 5 no. 1, p. 23-50, doi:10.1130/GES00179.1.
2. Christensen, N.I., Mooney, W.D. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: a global view. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100 (B7), 9761–9788.
3. Rudnick, R.L., Fountain, D.M. Nature and composition of the continental crust; a lower crustal perspective. *Rev. Geophys.*, 1995, 33, 267–309.
4. Stankiewicz, J., de Wit, M. 3.5 billion years of reshaped Moho, southern Africa *Tectonophysics*, 2013, 609, 675–689.

МЕТОД ХРАНЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВНЕШНИХ ДАННЫХ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В ВИДЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Бургучев Степан Сергеевич,
аспирант ИФЗ РАН, инж., Лаборатория геоинформатики (501) ИФЗ РАН*

Существует ряд задач, требующих организации работы сервиса, использующего данные разного типа, размещенные в сети Интернет. При отсутствии обратной связи с поставщиком данных, отсутствует возможность гарантировать бесперебойную их поставку. Как следствие, работа сервиса может быть нестабильной. В связи с этим возникает задача организации временного универсального хранилища, которое обеспечит гарантию доступности необходимых данных. Кроме того, такое хранилище может быть полезно для публикации и обмена результатов работы собственных сервисов в качестве простого способа быстрой публикации данных. Для того, чтобы инструмент был максимально универсальным, необходимо обеспечить возможность хранения неструктурированных и нетипизированных данных.

В докладе представлена разработка, реализующая такое хранилище данных. Описываемое решение представляет собой платформу - набор утилит и сервисов. Хранения данных осуществляется в виде неструктурированного бинарного файла и необходимой мета-информации (описание источника, регулярность получения, назначение). Для хранения используется реляционная база данных, что решает проблему масштабирования. Пополнение базы данных организовано с использованием программных агентов, вносящих данные с внешних источников согласно заданному расписанию. Сложные операции с системой осуществляются по протоколу HTTP, а получение данных возможно по URL-ссылке.

В качестве примера использования этой платформы описан сервис прогноза космической погоды на ближайшее время (наукастинг), функционирующий в ИПГ Росгидромет [1]. Сервис основан на анализе ряда данных. Кроме собственных данных по потокам частиц со спутника Электро-Л, используются аналогичные данные со спутника GOES [2], фотографии Солнца [3], значение геомагнитного индекса (Kp-index) [4] и некоторые другие. Для обеспечения работы сервиса были разработаны агенты для внесения соответствующих данных в хранилище, что обеспечивает бесперебойный доступ к ним.

Список литературы:

1. Центр мониторинга гелиогеофизической обстановки над территорией Российской Федерации ИПГ Росгидромет. URL: <http://space-weather.ru>
2. GOES Geostationary Satellite Server. URL: <http://www.goes.noaa.gov>
3. Solar Dynamics Observatory, NASA. URL: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>
4. Space Weather Prediction Center: Planetary K-index. URL: <http://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index>

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

*Доценко Артем Андреевич,
Магистрант 1 года обучения,
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова*

Целью данной работы являлась демонстрация методов изучения упруго-прочностных свойств пород, таких как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, напряжение разрушения (предел прочности) и др., для пород баженовской свиты.

При создании данной работы были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать поведение скоростей упругих волн в разрезе свиты, проанализировать наблюдаемые расхождения их значений в зависимости от метода и характера проводимых (лабораторных или скважинных – *in situ*) исследований;
- построить совокупность кросс-плотов (зависимостей одних упругих параметров от прочих) и проанализировать данные зависимости для различных литотипов пород;
- определить относительную хрупкость (пластичность) изучаемых пород;
- провести статистический анализ: получить уравнения регрессии и вычислить коэффициенты корреляции по всей совокупности графиков.

Проведённый анализ позволил выявить, что:

1. Эффективные упругие и прочностные свойства пород баженовской свиты анизотропны. При этом хорошим приближением можно считать VTI-анизотропию

2. Выраженных зависимостей свойств от литотипа не наблюдается, исключая известняки для которых характерны большие значения модуля Юнга, скоростей сейсмических волн и предела прочности.

3. Квазистатические упругие модули пород баженовской свиты (определяемые по кривым напряжение-деформация, полученным в ходе медленного нагружения образцов в прессовой установке) ниже по значению, в сравнении с динамическими упругими модулями.

4. Была выявлена возможность прогнозирования некоторых ненаблюдаемых физико-механических параметров пород свиты, например, пределов прочности (напряжений разрушения), через наблюдаемые (петрофизические), например, скорости упругих акустических волн, с помощью уравнений линейной регрессии, безусловно, с некоторой точностью. Параметры выявили хорошие, довольно сильные корреляционные связи между собой, что не лишает нас возможности устанавливать значения одних, если известны другие.

На практике это может быть полезно и важно, ввиду того, что, оценив скорости акустических волн в породах, можно будет установить необходимые для гидроразрывов продуктивных пластов напряжения, обеспечив более оперативное и точное проектирование сети ГРП для добычи нетрадиционным способом, т.к. традиционные способы добычи углеводородов в случае баженовской свиты не подойдут. Кроме того, эти знания (об особенностях поведения и свойствах пород при пластовых условиях), а также знания о деформационных свойствах пород, таких, как относительная хрупкость или пластичность пород, могут выступать полезной информацией и для других задач: позволить оценивать и прогнозировать различные риски при бурении, и даже снизить их. Также эти исследования могут позволить определять лучшие условия отбора керна с большим его выносом при заданных пластовых условиях для дальнейшего более детального, корректного и в принципе возможного его изучения (особенно актуально для коллекторов баженовской свиты, которые имеют тенденцию к разрушению при изъятии образцов после снятия пластовой нагрузки).

5. Была выявлена сильнейшая корреляция V_p с V_s , т.е. если имеются измеренные скорости V_p (например, по каротажу), можно довольно точно и быстро оценить значения V_s , не прибегая к их непосредственному измерению.

ОДНОМЕРНЫЙ РЕЖИМ ОБРАБОТКИ ПЕРВИЧНЫХ GPS ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ

*Дробышев Михаил Николаевич
н.с. Лаборатория гравиметрических измерений (601) ИФЗ РАН*

В настоящее время повышается требование к точности определения положения точки на Земной поверхности в ряде прикладных задач:

- выставка лазерных систем наблюдения за космическими объектами,
- оценка положения антенн фазированных антенных решеток,
- оценка смещения антенн радиотехнических дальномерных систем,
- строительство и обслуживание крупных инженерных сооружений и т.д.

Постановлением правительства предусматривается необходимость создания независимой системы контроля погрешностей систем GLONASS. Постановление предусматривает точность работы системы 5 см, а к 2020 г. -1см.

В работе рассматривается задача определения положения точки на Земной поверхности с помощью GPS навигации, по разработанной методике одномерной обработки первичных GPS измерений (кодовые, доплеровские, фазовые). Оценены предварительные результаты, полученные с помощью разработанного программного обеспечения.

Список литературы:

1. Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А., Трубников С.А.. "Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим" // М: Издательство Московского университета 2009 г.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сдельникова Ирина Александровна, аспирант ИФЗ РАН, м.н.с. ГС РАН

Цунами – одно из наиболее опасных и труднопредсказуемых стихийных явлений, угрожающих прибрежным районам Мирового океана. Практические меры по смягчению последствий цунами, наряду с априорными исследованиями, включают оперативное оповещение о приближении волны после того, как зафиксировано цунамигенное сейсмическое событие. Для достоверного определения кинематических и динамических характеристик вероятного проявления волны необходима гидродинамическая модель распространения волны, для которой, в свою очередь, требуются данные по рельефу морского дна и начальное сейсмическое поднятие морского дна. Измеряемые пунктами ГНСС смещения на земной суше могут быть использованы для оценки такого поднятия с помощью моделирования, состоящего из двух основных этапов: во-первых, вычисление распределения подвижки в очаге по смещениям на суше, и, во-вторых, вычисление поля смещений морского дна по найденной подвижке в очаге. Практическая применимость такого подхода обуславливается соотношением скорости распространения волны цунами в океане и удалением наблюдательных пунктов, на которых возможна регистрация заметных сейсмических смещений методами ГНСС в оперативном режиме. В данной работе на основе данных ГНСС по Курильским островам и по Японии выполнены оценки параметров очагов и построены распределения вертикальных смещений дна, вызванных такими сильными сейсмическими событиями как: Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 и 13 января 2007 гг., и катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011г.

Список литературы:

1. *Yo. Okada*. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bulletin of the Seismological Society of America, 1985, Vol. 75, No. 4, pp. 1135-1154.
2. *F.F. Pollitz*. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical earth // Geophys J. Int. , 1996, Vol. 125, N.1, pp. 1-14
3. *Steblov G.M., Kogan M.G., Levin B.V., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., and Frolov D.I.* Spatially linked asperities of the 2006–2007 great Kuril earthquakes revealed by GPS // Geophys. Res. Lett. 2008. V.35. L22306. DOI:10.1029/2008GL035572.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ ГЕОДЕФОРМАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

*Фаттахов Евгений Альбертович, асп. ИФЗ РАН,
инж.-иссл. Лаборатория современной и прикладной геодинамики (201) ИФЗ РАН*

Мониторинг за современными движениями земной коры (СДКЗ) начался еще в середине прошлого века. Измерения велись в различных частях земного шара.

В докладе пойдет речь о результатах сопоставительного анализа длительных наземных светодальномерных и спутниковых GPS наблюдений на полуострове Камчатка. В настоящее время сформирован каталог исходных данных светодальномерных наблюдений и производится обработка временных рядов различными программами (Mathlab, Spectra_Analyzer и др.). Из 10 баз измерений были выбраны направления 1, 5 и 9 и по формулам для плоской деформации были посчитаны главные деформации и соответственно углы между главными деформациями. Посчитанные тренды годовых скоростей деформации оказались на уровне 1-2 мм/год, что намного меньше годовых скоростей деформации, которые регистрируются GPS-приемниками.

Так же в докладе приводится сравнение полученных результатов с результатами моделирования современных геодинамических процессов в условиях постоянного одноосного сжатия. Выявлены схожие знакопеременные изменения угла φ .

Отметим, что такие высокоточные наблюдения уходят в прошлое. В Советском Союзе мониторинг за движениями земной поверхности путем светодальномерного мониторинга был достаточно распространен. На Камчатке наблюдения велись 25 лет с 1978 по 2003 год. В настоящее время единственное место, где непрерывный ряд наблюдений составляет более 50 лет - это Туркменистан.

Список литературы:

1. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтияров В.Ф., Павлов В.М., Прилепин М.Т., Титков Н.Н. Современные движения земной коры на Камчатке и их связь с сейсмической и вулканической активностью. // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии. Материалы конференции. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН. 2004. С. 113-138.
2. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. М.: «Машиностроение». 1983. - 248с.
3. Изюмов С.В., Кузьмин Ю.О. Исследование современных геодинамических процессов в Копетдагском районе. // Физика Земли. 2014. №6. с.3-16.
4. Кузьмин Ю.О., Жуков В. С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. – М.: Издательство Московского Государственного Горного Университета. 2004. – 262 с.

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ХИЛОКСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

*Федюкин И.В., аспирант ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и
петромагнетизма (105) ИФЗ РАН;*

Шаццлло А.В., с.н.с. Лаборатория археомагнетизма (106) ИФЗ РАН

На территории западного Забайкалья (Средневитимское нагорье) хилокская свита развита небольшими выходами изверженных пород площадью от 1 до 50 км². В большинстве случаев выходы хилокской свиты ограничены разрывными нарушениями и занимают впадины, близкие по морфологии к грабенам. Породы представлены лавами основного и среднего состава, а также их туфами, пироклостическими образованиями и конгломератами в основании. Вулканиды хилокской свиты имеют интрузивные аналоги, представленные дайками Гуджирского комплекса, изученными нами ранее [4]. Хилокская свита залегает с несогласием на породах палеозоя и перекрыта континентальными озерными отложениями гусиноозерской серии аптского возраста. Возраст хилокской свиты дискуссионен и варьирует, по существующим оценкам, от поздней юры до аптского века раннего мела. Геохронологические определения (Ar-Ar метод), полученные по хилокским вулканитам попадают в диапазон 147-110 млн. лет [2,3].

В среднем течении реки Витим нами было изучено 3 удаленных разреза хилокской свиты. В каждом обнажении было опробовано по несколько покровов (от трех до восьми в зависимости от обнаженности). Все образцы подверглись детальной температурной чистке. Большая часть образцов несет интерпретируемый палеомагнитный сигнал, основными минералами-носителями намагниченности являются магнетит и низкотитанистый титаномагнетит. На диаграммах Зийдерверльда выделяется высокотемпературная, биполярная компонента, разрушающаяся в интервале температур 400-580°C. Рассчитанные средние направления по сайтам имеют максимальную кучность в древней системе координат и характеризуются северными и южными склонениями и средними-высокими наклонениями. Наличие прямой и обратной полярности в изученных породах указывает на образование намагниченности в вулканитах хилокской свиты до позднемелового суперхрона прямой полярности Джалал (124-84 млн.лет), т.е. в доаптское время. Рассчитанный палеомагнитный полюс (средний по всем результирующим сайтам) по трем удаленным разрезам имеет координаты: $Plat=75.1^\circ$, $PLong=252.3^\circ$, $A95=12.5^\circ$, $n=12$, палеоширота 43.4° .

Рассчитанный палеомагнитный полюс значительно отличается от известных юрско-меловых палеомагнитных направлений Северной Евразии [5] и, в частности, дает заниженные, относительно референтных, палеошироты ($\Delta\varphi \approx 9-12^\circ$).

Данный факт может быть объяснен тремя:

1) Возраст изученных вулканитов более древний, например среднепалеозойский. Такое объяснение позволяет «снивелировать» заниженные наклонения/палеошироты, однако, то обстоятельство, что изученные вулканиты залегают на раннепермских гранитах Ангаро-Витимского батолита, отвергает эту гипотезу.

2) Отличие рассчитанных палеоширот от референтных Европейских, может свидетельствовать в пользу того, что после формирования хилокских вулканитов изученный участок был тектонически перемещен к северу, на расстояние >1000-1300 км, относительно стабильной Евразийской части. Такое объяснение также представляется маловероятным, поскольку основные тектонические события в регионе завершились в «дохилокское» время, а сами вулканиты формировались на уже консолидированной эпикаледонской части Сибирского континента.

3) Палеомагнитная запись в вулканитах хилокской свиты отражает некоторую специфику геомагнитного поля поздней юры – раннего мела. В частности, в работах [7-11] в изверженных породах того же возраста отмечаются заниженные от ожидаемых значения наклонений. Такие результаты получены по Паранской магматической провинции (Ю.Америка) [8], Канадским Кордильерам (С.Америка) [11], а также по траппам Раджмахал (Индия) [7]. В большинстве случаев данные расхождения объясняются локальными тектоническими факторами, т.е. перемещениями блоков в пределах складчатых областей или эпизодом истинного смещения полюса (TPW) в раннемеловое время [9,10]. В тоже время, в работе Кони с соавторами [6] отмечается занижение палеоширот для меловых (и более молодых) палеомагнитных данных,

полученных по Азии и, в частности, по югу Сибирской платформы. Так, в раннемеловых вулканитах западного Забайкалья занижение палеоширот, относительно референтных, составляет 5-10°. Кони с соавторами рассматривают две гипотезы такого расхождения: тектоническая (вращение Сибири относительно Европы по системе складчатых поясов Урала и Европы) и геомагнитная (ощутимый вклад недипольной компоненты). Отметим, что тектонической гипотезе противоречат палеомагнитные данные по мезозою Сибирской платформы [1].

Расчет недипольной компоненты для изученных нами объектов (при помощи программы «NDBF», разработанной Р.В.Веселовским), указывает на возможность вклада октупольной компоненты (~10%). Пересчет раннемеловых полюсов Европы и Сибири с учетом вклада октупольной компоненты делает различие между ними статистически не значимым. Пересчитанные палеомагнитные полюсы для Сибири и Европы (140млн. лет) имеют координаты: европейский – $Plat= 79.7^\circ$, $Plong= 197^\circ$, сибирский – $Plat= 80.4^\circ$, $Plong= 226.4^\circ$. Таким образом, проведенный анализ свидетельствует в пользу геомагнитной природы расхождения раннемеловых полюсов Сибири и Европы.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты №11-05-00705, 12-05-00403, 13-05-12030, 14-05-92602) и Министерства образования (договор № 14.Z50.31.0017).

Список литературы:

1. Павлов В.Э. Сибирские палеомагнитные данные и проблема жесткости северо-евроазиатского континента в послепалеозойское время // *Физика Земли*, 2012, № 9-10, с. 56-73.
2. Ступак Ф.М. Новые данные по геологии и возрасту позднемезозойских образований Северного Забайкалья // *Докл. РАН*, 1993, т. 333, № 6, с. 757-761.
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. Федюкин И.В., Шаццло А.В. Палеомагнетизм даек гуджирского комплекса западного Забайкалья: предварительные результаты // *Тезисы конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН 2014*.
5. Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // *J. Geoph. Res.* 2002. V. 107. № B11.
6. Cogné J.-P., Besse J., Chen Y., Hankard F. A new Late Cretaceous to Present APWP for Asia and its implications for paleomagnetic shallow inclinations in Central Asia and Cenozoic Eurasian plate deformation // *Geophys. J. Int.* (2013) 192, 1000–1024.
7. Das A.K., Piper J.D.A., Bandyopadhyay G., Malik S.B. Polarity inversion in Rajmahal lavas, north-east India: trap emplacement near commencement of the Cretaceous Normal Superchron // *Geophys. J. Int.* (1996) 124, 427-432.
8. Ernesto M., Raposo M.I.B., Marques L.S., Renne P.R., Diogo L.A., Min A. Paleomagnetism, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the North-eastern Parana Magmatic Province: tectonic implications // *Journal of Geodynamics* 28 (1999) 321-340.
9. Meijers M.J.M., Langereis C.G., Hinsbergen D.J.J., Kaymakci N., Stephenson R.A., Altiner D. Jurassic–Cretaceous low paleolatitudes from the circum-Black Sea region (Crimea and Pontides) due to True Polar Wander // *Earth and Planetary Science Letters* 296 (2010) 210–226.
10. Riisager P., Hall S., Antretter M., Zhao X. Paleomagnetic paleolatitude of Early Cretaceous Ontong Java Plateau basalts: implications for Pacific apparent and true polar wander // *Earth and Planetary Science Letters* 208 (2003) 235-252.
11. Vandall T.A. Cretaceous Coast Belt paleomagnetic data from the Spetch Creek pluton, British Columbia: evidence for the ‘tilt and moderate displacement’ model // *Can. J. Earth Sci.* 30, 1037-1048 (1993).

АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «БОРОК»

*Филиппов Василий Андреевич, инженер,
Анисимов С.В., Дмитриев Э.М., Гурьев А.В.
(Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН)*

База данных среднеширотной геофизической обсерватории «Борок» отличается комплексным характером представленных в ней результатов обсерваторских наблюдений естественных аэроэлектрических, аэрофизических, метеорологических и геофизических полей при низком уровне антропогенных загрязнений, электромагнитных и сейсмических помех [1].

База данных содержит результаты измерений вариаций главной компоненты и короткопериодных пульсаций геомагнитного поля, аэроэлектрических (напряженность атмосферного электрического поля и плотность тока) и аэрофизических (вариации атмосферного давления, плотность потока солнечного излучения, компоненты скорости ветра, температура, влажность, объемная активность радона) наземных измерений. В измерительный комплекс входят доплеровский акустический локатор «Волна-3» для построения высотных профилей трех компонент скорости ветра до высот ~800 м, температурный профилемер «МТП-5» для определения высотного профиля температуры атмосферы, двухчастотный GPS/ГЛОНАСС приемник «Leica 1200+» для проведения высокоточных геодезических измерений.

Сбор данных наблюдений и пополнение базы данных в режиме приближенном к реальному времени осуществляется автоматически через локальную сеть сбора данных, объединяющую сервер базы данных и компьютеры сбора данных отдельных видов измерений. Программное обеспечение базы данных осуществляет сбор данных измерений, их предварительную обработку, перевод в физические величины, форматирование, сохранение и визуализацию. По данным наблюдений в режиме реального времени рассчитываются интегральные характеристики наблюдаемых геофизических полей, в частности К-индексы геомагнитной активности [2]. Программным обеспечением базы данных поддерживается обмен данными в рамках международных сетей геомагнитных наблюдений SAMNET (spears.lancs.ac.uk/samnet) и INTERMAGNET (intermagnet.org) [3], а также российской геодезической сети GNSS референчных станций SmartNet Russia (smartnet-ru.com).

База данных среднеширотной геофизической обсерватории «Борок» является основой сетевого информационного ресурса по направлению глобальной электрической цепи, аэроэлектричества и геомагнетизма (geodata.borok.ru) с открытым доступом к результатам измерений геомагнитного поля, атмосферного электрического поля, потока солнечного излучения и основных метеорологических параметров.

Работа по развитию измерительного комплекса, базы данных и сетевого информационного ресурса поддерживалась РФФИ, (№ 12-07-00575) и Программой фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7.

Список литературы:

1. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Информационно-измерительный комплекс и база данных Геофизической обсерватории «Борок» РАН. М.: ОИФЗ РАН, 2003. 44 с.
2. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Алгоритм расчета индексов геомагнитной активности // V международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений» Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. 2010. с. 110–113.
3. Chulliat A., Anisimov S.V. The Borok INTERMAGNET magnetic observatory // Russian Journal of Earth Sciences, V.10, ES3003, doi:10.2205/2007ES000238, 2008.

ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЛЯ ГИДРО-ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ АНАЛИЗОВ КЕРНА

М.Ф. Гасеми^{1,3}, аспирант ИФЗ РАН; Ю.А. Алхименков², И.О. Баяк³

¹«Союзнефтегазсервис», ²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ³ИФЗ РАН

В настоящее время новые поиски углеводородного сырья, как правило, сосредоточены в породах, имеющих сложное строение и невысокую проницаемость, или же залегают на довольно больших глубинах, или в глубоководных районах. «Легкие» в смысле добычи коллектора углеводородов практически все разработаны. Поиски углеводородов в сложнопостроенных коллекторах и труднодоступных условиях, а также дальнейшая их разработка требует более совершенных и инновационных подходов. В связи с этим использование геомеханического моделирования таких месторождений все больше входит в практику геофизических работ. Геомеханические факторы проявляют себя на всех стадиях разработки резервуара. Вследствие этого возникает необходимость их оценки и управления ими, начиная с прогноза рисков бурения в первой скважине месторождения и кончая максимизацией объема добычи из хорошо разработанных резервуаров. Геомеханические модели используются при планировании бурения скважин с целью прогноза возможных осложнений при бурении, включающих флюидопроявления, гидроразрывы, поглощения, прихваты и т.п. Стабильность ствола скважины и анализ порового давления определяют ограничения на вес бурового раствора, необходимого для безопасного бурения, что значительно снижает стоимость бурения вследствие обеспечения его безопасности.

Для создания надежной и практически применимой геомеханической модели требуются и надежные входные данные. Для построения любой геомеханической модели требуются следующие входные параметры:

- механическая модель породы;
- региональное напряженное состояние (in-situ stress);
- направление максимального горизонтального напряжения;
- поровое давление.

Механическая модель породы включает статические модули упругости и прочностные параметры. Однако создание детализированной и практически применимой механической модели породы является непростой задачей. Наиболее надежные данные можно получить из лабораторных испытаний керна при условиях, моделирующих пластовые, в которых одновременно измеряются напряжения, деформации, прочностные параметры и скорости упругих волн. Однако такие испытания довольно дороги и требуют значительных временных затрат. Помимо этого, непрерывный вынос керна также является довольно дорогостоящей операцией. Эти факторы делают такие лабораторные измерения малоэффективными с технологической точки зрения для построения геомеханической модели. Другим путем является использование данных акустического каротажа и эмпирических зависимостей, позволяющих связать измеренные скорости, а также плотность и пористость с требуемыми параметрами механической модели. Однако, даже несмотря на высокие коэффициенты корреляций, полученные при построении таких зависимостей, эти связи использовать в общем случае довольно опасно. Причина этого заключается в том, что эти связи получены для конкретных пород конкретного региона, залегающих на определенных глубинах и имеющих определенную микроструктуру. Вследствие этого эмпирические зависимости могут быть абсолютно неприменимы для пород разрабатываемого месторождения. Упругие константы (модули упругости) могут быть также оценены по результатам дипольного акустического каротажа. Однако полученные таким образом модули являются динамическими и, как показывает эксперимент, могут значительно (до двух раз) отличаться от требуемых статических модулей.

В настоящей работе для определения геомеханических параметров предлагается подход, основанный на создании параметрической математической модели упругих свойств пород, слагающих месторождение. Для создания математической модели используются методы теории эффективных сред (ТЭС) или Rock Physics, которые позволяют связать значения физических свойств породы с параметрами ее микроструктуры. К параметрам микроструктуры относятся, например, форма, ориентация и степень связности пор и трещин, ёмкость трещин, содержание керогена и т.п.

Методы теории эффективных сред позволяют моделировать эффективные упругие характеристики порово-трещиноватых сред, например, горных пород [Mavko et al., 2009]. В данном моделировании внутренняя геометрия порового пространства аппроксимируется телами более

простой геометрической формы, чаще всего эллипсоидами вращения [4,5]. Таким образом, подбирается такая эффективная модель среды, которая с точки зрения упругих характеристик ведет себя так же, как и реальная горная порода. Моделирование производилось методом обобщенного сингулярного приближения (generalized singular approximation, GSA – англ.) [1,5]. В рамках моделирования упругих характеристик горных пород, метод ОСП является адекватным выбором, который позволяет решить поставленные задачи [2]. Эффективный тензор упругости выражается следующим образом:

$$\mathbf{C}_{\text{GSA}}^* = \left\langle \sum_{r=1} \nu^{(r)} \mathbf{C}^{(r)} : \mathbf{Q}^{(r)} \right\rangle : \left\langle \sum_{r=1} \nu^{(r)} \mathbf{Q}^{(r)} \right\rangle^{-1}, \quad (1)$$

$$\mathbf{Q}^{(r)} = \left[\mathbf{I}_4 - \mathbf{G}^{(r)} : (\mathbf{C}^{(r)} - \mathbf{C}^{(0)}) \right]^{-1}$$

где $\nu^{(r)}$ – объемная концентрация включений. Символ «:» обозначает двойное скалярное произведение (свертку тензоров по двум индексам). Тензор $\mathbf{C}^{(0)}$ определяет упругие характеристики матрицы породы. При этом тензор $\mathbf{C}^{(0)}$ может быть выбран произвольным образом [Jakobsen et al., 2003]. В классической теории $\mathbf{C}^{(0)}$ часто определяют как тело сравнения (обозначают $\mathbf{C}^L$) – однородное тело, называемое телом сравнения, относительно которого определяются флуктуации $\delta \mathbf{C}(\mathbf{x}) \equiv \mathbf{C}(\mathbf{x}) - \mathbf{C}^L$. Однако свойства тела сравнения можно подобрать таким образом, чтобы учесть внутренние особенности порово-трещиноватой среды [3]. В данном моделировании тело сравнения выбрано в виде линейной комбинации свойств матрицы и флюида (или свойств самого мягкого и самого жесткого вещества):

$$\mathbf{C}^{(0)} = (1 - \mathbf{f}) \mathbf{C}^M + \mathbf{f} \mathbf{C}^{\text{Fl}}, \quad (2)$$

Параметр $\mathbf{f}$ – эмпирический параметр, который отражает степень связанности включений в породе, который, в общем случае, является тензором. Связь параметра $\mathbf{f}$ и коэффициента Био-Виллиса рассмотрена в работе [3].

Тензор четвертого ранга $\mathbf{G}^{(r)}$ – вторая производная тензора Грина уравнения равновесия для тела сравнения и представляет собой обобщенную функцию. Тензор $\mathbf{G}^{(r)}$ зависит только от упругих свойств тела сравнения $\mathbf{C}^{(0)}$ и аспектного отношения включений. Компоненты тензора $\mathbf{G}^{(r)}$ определяются интегрированием сингулярной составляющей второй производной тензора Грина тела сравнения $g^{(s)}$ по объему включения (в данном случае мы определяем симметричный тензор $\mathbf{G}^{(r)}$) [1,8]:

$$G_{ijkl}^{(r)} = \int g_{k(i,j)l}^{(s)}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}, \quad (3)$$

Стоит обратить внимание, что тензор $\mathbf{G}^{(r)}$ можно определить эквивалентным способом, который совпадает с выражением (3), если тензор $\mathbf{G}^{(r)}$ симметризовать по первым и вторым парам индексов:

$$\mathbf{G}^{(r)} = -\mathbf{S}^{(r)} : \mathbf{S}^{(0)}, \quad (4)$$

где $\mathbf{S}^{(r)}$ – тензор Эшелби [1,8], а $\mathbf{S}^{(0)} = (\mathbf{C}^{(0)})^{-1}$ – тензор податливости тела сравнения.

Отметим, что

$$\mathbf{S}^{(0)} : \mathbf{C}^{(0)} = \mathbf{I}_4, \quad (5)$$

где $\mathbf{I}_4$ – единичный тензор четвертого ранга.

Если матрица породы или тело сравнения изотропны, и все включения одинаково ориентированы, то тензор Эшелби выражается аналитически [Mura, 1987]. Если матрица или тело сравнения трансверсально-изотропны и ось симметрии среды совпадает с большой полуосью эллипсоидов, то тензор $\mathbf{G}^{(r)}$ выражается в виде простых определенных интегралов. Если же приходится иметь дело с более сложной симметрией и/или включения имеют сложную ориентацию, то приходится численно вычислять тензор $\mathbf{G}^{(r)}$ по формуле (3), что, вообще говоря, является достаточно сложной задачей. Выражения для численного вычисления тензора $\mathbf{G}^{(r)}$ приведены в работе [3].

Математическая модель породы строится на основе разномасштабного анализа ее микроструктуры и экспериментальных данных о скоростях упругих волн, распространяющихся в ней, как при нормальных, так и при пластовых условиях. Созданию таких моделей предшествует разделение разреза на классы, согласно некому критерию. Одним из таких критериев является разделение разреза на стратиграфические горизонты, которые могут быть представлены различными породами. Затем необходимо отобрать представительные образцы для каждой породы, изучить их

микроструктуру и упругие свойства. Эти данные являются входными для построения параметрических математических моделей. Параметры этих моделей определяются инверсией из экспериментальных данных о скоростях упругих волн, измеренных при нормальных условиях.

После создания математической модели упругих свойств при нормальных условиях производится ее калибровка для пластовых условий с использованием скоростей упругих волн, которые измеряются при трехосном нагружении образца в аппарате высокого давления. Результатом таких испытаний являются зависимости «напряжение-осевая деформация», «напряжение-радиальная деформация» и прочностные характеристики породы (прочность на одноосное сжатие, угол внутреннего трения, сцепление). Зависимости «напряжение-деформация» используются для получения статических модулей Юнга и коэффициентов Пуассона. В результате для пород, описываемых одной и той же математической моделью (но с разными значениями параметрами) имеется свой набор статических модулей упругости и прочностных характеристик. В итоге для каждой математической модели устанавливаются связи «статические модули – динамические модели», которые определяются микроструктурой пород данного типа.

Все этапы построения математической модели упругих свойств, а также создания и визуализации модели механических свойств месторождения требуют высокопроизводительных вычислений на современных компьютерах.

Таким образом, моделирование микроструктуры горных пород методами теории эффективных сред позволяет более точно определить динамические упругие модули, чем различные эмпирические зависимости. Таким образом, можно получить более надежную связь динамических и статических модулей упругости для конкретных пород разрабатываемого месторождения. Такой подход позволяет построить достаточно точную геомеханическую модель среды.

Предлагаемый в данной работе подход не требует проведения лабораторных экспериментов для многих сотен образцов вдоль всего ствола скважины, а только для представительных образцов выделенного класса (несколько десятков). Помимо этого построенная математическая модель, откалиброванная для пластовых условий, позволяет прогнозировать взаимосвязи «скорость продольной волны-скорость поперечной волны», «пористость-скорости», «содержание керогена-скорости», «степень нефтенасыщенности-скорости», (и т.п.) для конкретной породы конкретного месторождения, что, в результате, значительно повышает надежность моделирования различных физических процессов, происходящих в процессе разработки месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда, проект №14-17-00658.

Список литературы

1. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронегоднородных сред. Москва. Наука. 1977. 400 с
2. Алхименков Ю.А. Метод Т-матрицы для математического моделирования эффективных упругих свойств коллекторов углеводородов // Физика земли, 2015 (в печати)
3. Баяк И.О. Основные принципы математического моделирования макроскопических физических свойств коллекторов углеводородов // Технологии сейсморазведки, 2013, № 4., С. 5–18.
4. Alkhimenkov, Yu.A., Bayuk, I.O. Analysis of Anisotropy Parameters of Fractured Carbonate Reservoir. Extended Abstract // 6th EAGE Saint Petersburg International Conference & Exhibition, Extended Abstract, 2014.
5. Bayuk, I. Ammerman, M. Chesnokov, E. Upscaling of elastic properties of anisotropic sedimentary rocks // Geophys. J. Int., 2008, 172, 842–860. Jakobsen M., Hudson J., and Johansen T.A. T-matrix approach to shale acoustics // Geophys. J. Int. 2003., Vol. 154., P. 533–558.
6. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook // 2nd Edition. Cambridge Univ. Press., 2009.
7. Mura T. Micromechanics of Defects in Solids // Nijhoff, Zoetermeer, 1987.
8. Willis J.R. Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites // J. Mech. Phys. Solids, 1977, 25, 185– 202.

ИНТЕРАКТИВНАЯ БАЗА МЕТОДОВ ПЕТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИКИ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ

Иванов Станислав Дмитриевич

аспирант ИФЗ РАН, инж., Лаборатория геоинформатики (501) ИФЗ РАН

Для применения численных методов обработки геохимических данных, таких как минеральная геотермобарометрия, необходимо не только выполнить расчет, но и, прежде всего, выбрать подходящий метод. Разнообразие таких методов очень велико. Они отличаются, как по формальным параметрам (минеральная ассоциация, предельные значения содержания тех или иных элементов, и т.д.), так и по требованиям к геологической обстановке, породам, характеру метаморфических процессов и т. п. Кроме того, могут существовать рекомендациями по применению тех или иных методов, опубликованные авторами методов или сторонними специалистами.

Для упрощения использования подобных методов целесообразно создание компьютерной системы, которая позволяла бы не только выполнять расчеты, но и представляла бы справочную информацию для обоснованного выбора конкретного метода.

Такая система должна включать в себя следующие компоненты: расчетный модуль, ориентированный на подобные вычисления; интерфейс, позволяющий пользователю задавать данные для обработки и необходимые параметры и получать результат вычислений; а также справочную систему, содержащую необходимую информацию о методах. Кроме того, она должна позволять легко включать в себя новые методы обработки данных, а также дополнять и улучшать справочную систему.

Современные вики-системы предоставляют обширные инструменты по созданию, организации и поддержке справочных систем (теги, индексы, поиск, контроль версий, семантическая разметка и др.). Можно рассмотреть решение поставленной задачи в виде вики-системы, интегрированной со специализированным расчетным модулем и пользовательским интерфейсом.

В качестве примера рассмотрим систему идентификации минералов по результатам геохимических анализов. Роль расчетного модуля в ней выполняет модуль нечеткой логики, который на основе набора правил, характеризующих химический состав выполняет определение минерала. Интерфейс позволяет задавать химический состав образца в виде процентного содержания оксидов и анализировать результаты определения.

Особенность интеграции с вики-системой состоит в том, что наборы правил являются частью самой справочной системы, точнее страницами в определенном пространстве имен. Пользовательский интерфейс также интегрирован в специализированную страницу.

Этот подход позволяет сделать наборы правил распознавания доступными для анализа и, при необходимости, изменения пользователем, а также снабдить их необходимой документацией (например, ссылками на публикации и рекомендациями по применению) в рамках единой системы.

Нами планируется создание аналогичного решения для задач геотермобарометрии.

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Каххоров Умеджон Хаидович, аспирант ИФЗ РАН,
Романов В.В., кафедра геофизики МГРИ-РГГРУ, к.т.н.*

Восточно–Сибирская нефтегазоносная провинция — огромная территория с мощнейшим осадочным чехлом, толщина которого в отдельных частях достигает 8 км. Запасы углеводородов в этом регионе достаточно велики, что подтверждается наличием ряда крупных и уникальных месторождений — Юрубчено-Тохомского, Ковыктинского, Ярактинского, Верхнечонского газоконденсатного и др.

Однако, поверхностные и глубинные сейсмогеологические условия Восточной Сибири достаточно сложны для наземной сейсморазведки. Высокоскоростной карбонатно-хемогенный разрез, развитый трапповый магматизм, большие углы падения пластов, разломы и другие геологические особенности существенно затрудняют обработку и интерпретацию материалов. Значительная глубина, солидный геологический возраст (рифей–венд) и малый размер ловушек углеводородов также повышают сложность решения и без того непростой задачи.

Три четверти территории региона занимают горные массивы и плоскогорья. Возбуждение упругих колебаний здесь стандартными взрывным и вибрационными источниками обходится намного дороже и имеет меньшую эффективность, чем на равнинах.

Успех выполнения геологического задания с помощью 3D сейсморазведки во многом определяется процессом проектирования съемки, где определяются основные параметры, влияющие на качество получаемых данных. Вопросы проектирования и оптимизации сети профилей исследовались многими авторами, однако, до сих пор остаются аспекты, требующие внимательного рассмотрения, к которым можно отнести: кратность наблюдений, получение равномерного распределения «источник–приемник» при расчленённом рельефе.

В работе рассмотрены особенности планирования современной 3D сейсморазведки в условиях Восточной Сибири. Проанализировано влияние распределения «источник–приемник» на качество материала, рассмотрены основные параметры трёхмерных наблюдений и их влияние на сейсмическую информацию. На основе полученных результатов предложена методика оптимизации проектирования сейсморазведки 3D в горных и предгорных условиях.

Список литературы:

1. Белоусов А. В., Закариев Ю. Ш., Мусагалиев М. З., Плешкевич А. Л., Цыпышев Н. Н.. Актуальные вопросы оптимизации геометрии 3D-сейсмических наблюдений // *Геофизика*, № 4. 2007.
2. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. *Сейсморазведка*. – Тверь: АИС, 2006
3. Кузнецов В. И. *Элементы объемной (3D) сейсморазведки*. – Тюмень, 2004
4. Урунов А. К. *Основы трёхмерной сейсморазведки*. - М.: Недра, 2004.
5. Vermeer Gijb O. *3-D Seismic Survey Design*. - Tulsa: SEG, 2002

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНОМИНЕРАЛЬНОЙ ФЕНГИТОВОЙ ГЕОБАРОМЕТРИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (НА ПРИМЕРЕ БЛЫБСКОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА)

*Камзолкин Владимир Анатольевич, к.г.-м.н.,
н.с. Лаборатория тектоники и геодинамики (103) ИФЗ РАН, Иванов Станислав
Дмитриевич., асп. ИФЗ, инж. Лаборатория геоинформатики (501) ИФЗ РАН,*

Фенгит является распространенным метаморфическим минералом, устойчивым в широком диапазоне давлений. Связь между содержанием кремния в фенгите и давлением, установленная в середине XX века, выявила его потенциал для геобарометрии. Современный фенгитовый геобарометр Каддика и Томпсона (2008) [3] был откалиброван в ограниченном диапазоне давлений. Нами был проведен анализ большого объема данных по составам фенгита из различных литературных источников. Рассмотренные данные содержали как природные, так и экспериментальные образцы с известными РТ-условиями. Для умеренных температур ($T < 750^{\circ}\text{C}$) были выделены две группы фенгитов. Группы разделяются значением содержания кремния в 3.25 к.ф. Для каждой из группы было получено отдельное уравнение геобарометра. Их точность составила ± 0.34 ГПа и ± 0.56 ГПа, соответственно. При температурах $T > 750^{\circ}\text{C}$ использование фенгита как геобарометра, по-видимому, невозможно.

Применение данных зависимостей, для изучения условий метаморфизма гнейсов и сланцев Блыбского метаморфического комплекса (БМК) Северного Кавказа, показало пиковые значения в диапазоне $2.05\text{—}2.2 \pm 0.56$ ГПа. Сопоставление полученных результатов с данными предшественников [2], а также с результатами оценок давлений полученных для омфацитов, содержащихся в сульфидах гнейсов комплекса [1], позволяет подтвердить его метаморфическую когерентность.

Список литературы:

1. *Конилов А.Н., Бондаренко Г.В., Докукина К.А., Камзолкин В.А.* Сульфиды Блыбского метаморфического комплекса Северного Кавказа – новый тип минералов-контейнеров высокобарных и дометаморфических ассоциаций // Геофизические исследования. **2013**. Т. 14. №1. С. 79—86.
2. *Перчук А.Л.* Метаморфизм кианитовых эклогитов урочища Красная скала (Передовой хребет Большого Кавказа) // Петрология. 1993. Т. 1. № 1. С.98—109.
3. *Caddick M.J., Thompson A.B.* Quantifying the tectono-metamorphic evolution of pelitic rocks from a wide range of tectonic settings: mineral compositions in equilibrium // Contrib.

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНОЙ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОКА

Казначеев Павел Александрович, к.т.н.,
м.н.с., Лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301) ИФЗ РАН

Электромагнитные методы занимают одно из ведущих мест среди методов геофизических исследований верхних частей земной коры, её структуры и происходящих в ней процессов. Для измерения электрического поля в методах постоянного тока традиционно используются электродные измерительные пары. При долговременных измерениях необходимость стационарной установки измерительной аппаратуры делает возможным использование приборов, не применяющихся при поисковых разведочных исследованиях. Одним из таких приборов является локальный измеритель тока (ЛИТ).

ЛИТ позволяет бесконтактным способом измерять плотность электрического тока среде [2]. Можно предложить следующие возможные случаи применения ЛИТ: активный геоэлектрический мониторинг (ориентировочный частотный диапазон при измерениях с помощью ЛИТ - от 0.1 Гц до 1000 Гц), исследования естественных электрических полей (теллурические токи - от 50 мГц до 1 Гц), импульсного электромагнитного поля (~ 1 кГц - 50 кГц) и сейсмoeлектрических эффектов (~ 1 Гц - 1000 Гц).

Задача настоящей работы заключалась в разработке экономичной универсальной электронной части (аппаратной «платформы») локального измерителя тока, которая позволяла бы при незначительном изменении (подстройке под нужный частотный диапазон) использовать ЛИТ для различных, описанных выше случаев измерения электрического поля. При этом эта аппаратная платформа должна обеспечивать простое и доступное подключение по длинному кабелю к персональному компьютеру как конечному устройству регистрации и обработки измеряемых данных.

Такая платформа была разработана и сконструирована. Основными блоками платформы являются блок аналоговых фильтров, АЦП (аналого-цифровой преобразователь), и передатчик сигнала по длинному кабелю. Подключение платформы к персональному компьютеру осуществляется по интерфейсу USB, для настройки и приема данных используются стандартные драйвера операционной системы, что позволяет использовать многие программы регистрации сигналов.

Разработанная платформа в совокупности с применением различных конструктивных мер защиты от помех позволила повысить помехозащищенность и чувствительность ЛИТ и расширить возможности и удобство его использования.

Список литературы

1. Возможности регистрации подземных обрушений грунтов с помощью активного геоэлектрического мониторинга / В.П. Хоменко, А.Н. Камшилин, О.Р. Кузичкин, Е.Н. Волкова // Промышленное и гражданское строительство. - 2007, № 11. - С. 12-14.
2. Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Попов В.В. Измерение локальной плотности тока в земной коре // Вестник МЭИ. - 2011. - № 5. - С. 57-63.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

*Козьмина Алина Сергеевна, инж.,
Шихова Н.М., с.н.с., Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН*

На основе непрерывных многолетних наблюдений в обсерватории Борок 3-х компонент скоростей ветра исследованы статистические характеристики и спектральные особенности скорости ветра в различных слоях пограничного слоя. Для анализа использовались временные ряды значений горизонтальной скорости ветра U на высотах 60-80м; 85-105 и 110 -130м, полученные в результате непрерывных измерений в 2011 – 2014 гг. с помощью акустического доплеровского локатора содар Волна -3 [1]. Высота установки содара составляла 5м над уровнем земли, частота зондирования – 15-17с. максимальная высота проникновения эхо – импульса – 800м, разрешение по высоте – 5м.

Анализ суточной вариации U по данным показал, что в мае и июне внутрисуточная динамика выражена сильнее с максимумом в 15-21UT и минимумом в мае в 6-12 UT, а в июне в 23-03 UT. В зимние месяцы среднечасовые значения скорости ветра на всех высотах в течение суток изменяются в пределах стандартной ошибки среднего.

Выявлена годовая вариация U с максимумом в апреле – мае и минимумом в июле – августе, что обусловлено увеличением градиентов давления от лета к зиме [2]. Исследование внутригодовой изменчивости значений скорости ветра показало, что наибольшая дисперсия значений U наблюдается в марте – апреле, наименьшая – в июле.

С помощью спектрального анализа обнаружено наличие преобладающих периодичностей в рядах U с периодами 5-7суток, 27-30 суток, 45 и 120-125 суток, близких к периодам циклонической активности, планетарных волн и сезонных вариаций.

Таким образом, получены статистические и спектральные оценки горизонтальной скорости ветра в слое 60-130 м по данным среднеширотной обсерватории на различных временных масштабах. Выявлена динамика высоты планетарного пограничного слоя, доступной для зондирования ультразвуковым доплеровским локатором содар в пределах суток и года. Определены особенности трендов суточной, сезонной, годовой и многолетней вариаций скорости ветра в нижней части атмосферного пограничного слоя.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (гранты 15-05-04960, 13-05-12060)

Список литературы:

1. Гладких В.А., Макиенко А.Э. Федоров В.А. Акустический доплеровский содар "Волна 3" // *Оптика атмосферы и океана*. 1999. Т. 12, № 5. С. 437-444.
2. Локощенко М. А. О ветровом режиме нижней атмосферы над Москвой по данным многолетнего акустического зондирования // *Метеорология и гидрология*. - 2014. - № 4. С. 19-31.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ЛАВАМ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ, КАМЧАТКА

Кушлевич Данила Олегович¹, Латышев Антон Валерьевич²

¹студент (бакалавр), Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова;

² к.г.-м.н., н.с., Лаборатория археомагнетизма и эволюции геомагнитного поля (106) ИФЗ РАН

Несмотря на длительную историю палеомагнитного изучения Камчатки, в настоящее время отсутствует опорная кривая вековых вариаций позднеголоценового геомагнитного поля для данного региона, учитывающая последние изменения тефрохронологических датировок [1], а также построенная с помощью современных методов, позволяющих значительно увеличить надежность полученных результатов. В качестве объекта исследований для начала решения обозначенной выше проблемы был выбран восточный склон вулкана Ключевской, расположенного в Центрально-Камчатской депрессии - самой вулканоактивной зоны Камчатки.

В ходе исследований были исследованы 9 позднеголоценовых базальтовых потоков, соответствующих 7 различным стратиграфическим уровням в течение последних 4000 лет. Возраст потоков определен по сопоставлению с почвенно-пирокластическим чехлом сотрудниками ИВиС ДВО РАН (В.В. Пономарева, устное сообщение). Для каждого потока были получены угловые элементы геомагнитного поля. Полученная запись контрастная, то есть разные потоки в большинстве своем обладают значимо различными направлениями. В ряде случаев есть потоки разного возраста, доверительные интервалы которых перекрываются. Данную проблему в будущем можно решить сокращением доверительных интервалов путем увеличения количества обработанных образцов. Также следует отметить, что с помощью полученных данных стало возможным разделить потоки, которые по тефрохронологическим данным были отнесены к одной возрастной группе. На данном этапе исследований удалось получить данные по направлениям геомагнитного поля на Камчатке в позднем голоцене для 8 стратиграфических уровней. Предварительные результаты палеомагнитных исследований позволяют рассчитывать на получение надежных данных по 5 возрастным уровням. Для точной временной привязки еще двух уровней необходима дополнительная тефрохронологическая информация.

Полученные результаты могут быть использованы для возрастной корреляции вулканических событий в пределах региона. На данный момент удалось показать разный возраст потоков, объединяемых в группу 2-2,8 тыс. лет. Исследование датированных лавовых потоков других вулканов Камчатки в перспективе может дать достаточную информацию для построения опорной кривой вековых вариаций для позднего голоцена Камчатки.

Список литературы:

1. Gusev AA, Ponomareva VV, Braitseva OA, Melekestsev IV, and Sulerzhitsky LD (2003) Great explosive eruptions on Kamchatka during the last 10,000 years: self-similar irregularity of the output of volcanic products. *J Geophys Res* 108/B2: 2126, doi:10.1029/2001JB000312

АКТИВНАЯ ТЕКТНИКА ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА К ВОСТОЧНОМУ КРЫМУ

Ларьков Александр Сергеевич

вед. инж. Лаборатория методов прогноза землетрясений (702) ИФЗ РАН

Проведено полевое геолого-геоморфологическое изучение зон активных разломов сочленения Крымской и Кавказской подвижных систем. Основной особенностью геологического строения региона является развитие многокилометровой толщи глинисто-песчаных кайнозойских осадков собранных в узкие антиклинальные складки, разделённые пологими синклинальными понижениями. Большинство антиклиналей выражено в рельефе пологими грядами. По данным [1] к основным активным структурам относятся Южно-Азовский разлом, Вышестеблиевская флексура, разлом Керченского пролива (подводный), Правдинский разлом.

Полевое изучение структуры зон разломов показало, что Южно-Азовский и Правдинский дизъюнктивы демонстрируют позднечетвертичную геологическую активность. В ходе проведенных исследований на северном (Азовском) побережье Керченского и Таманского п-овов обнаружены выходы на сушу зоны активного Южно-Азовского разлома. В зоне разлома выявлены и детально изучены яркие признаки молодых тектонических смещений – надвиги неогеновых пород на позднеплейстоценовые лессовидные суглинки. Разнообразные признаки, к которым относятся, прежде всего, сильные тектонические изменения в молодых отложениях, указывают на импульсный характер подвижек при сильных землетрясениях. Амплитуды смещений достигали первых метров. Последнее крупное смещение произошло в голоцене, но до начала формирования мощного слоя чернозема, т.е. несколько тыс. лет назад. Менее масштабная подвижка произошла в позднем голоцене, скорее всего несколько сот лет назад.

Другой район широкого развития сейсмогенных нарушений – южное и юго-восточное побережье Керченского п-ова, где по данным [1] трассируется Правдинский активный разлом. Здесь расположены сейсмодислокации г. Опук. По археосейсмологическим данным деформации по возрасту можно разделить на три генерации. Самая молодая генерации имеет возраст в первые сотни лет. Вторая – 2-2,5 тыс. лет. Возраст третьей – первые тысячи лет.

Все эти материалы свидетельствуют о голоценовой сейсмической активности региона.

Список литературы:

1. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско – Гималайского коллизионного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.
2. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006, 176 с.

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ТРАППОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ДИНАМИКЕ ЭФФУЗИВНОГО И ИНТРУЗИВНОГО МАГМАТИЗМА НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Латышев Антон Валерьевич,

к.г.-м.н., н.с., Лаборатория археомagnetизма (106) ИФЗ РАН,

Веселовский Роман Витальевич

к.г.-м.н., н.с., Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105) ИФЗ РАН

Исследования динамики и продолжительности траппового магматизма на Сибирской платформе на рубеже перми – триаса имеют большое значение для понимания причин и механизма формирования континентальных платобазальтовых провинций и их возможной связи с глобальными биотическими кризисами, а также для решения прикладных задач, связанных с генезисом и локализацией рудоносных интрузивов норильского типа. Ранее на основании палеомагнитных данных был доказан пульсационный характер вулканизма на севере и на юге Сибирской провинции, а также предложена методика возрастной корреляции интрузивов с вулканогенным разрезом [1,2].

В данной работе представлены результаты детальных палеомагнитных исследований по основной части туфо-лавового разреза Тунгусской синеклизы и ряду интрузивных тел в этом районе (центральная часть Сибирской трапповой провинции). Установлено, что большая часть вулканогенного разреза Тунгусской синеклизы сформировалась в течение одного эпизода прямой полярности, при этом длительность вулканизма на основании сопоставления со шкалой магнитной полярности для триаса [3] оценена в 100-600 тыс. лет.

Среди интрузивных тел центральной части Тунгусской синеклизы на основании распределения палеомагнитных направлений выделены четыре дирекционные группы, соответствующие разновременным магматическим событиям. Палеомагнитные и геологические свидетельства указывают на то, что наиболее крупная группа интрузивов (прямой полярности), скорее всего, одновозрастна кочечумской свите, а одна из групп обратной полярности представляет собой самый молодой эпизод траппового магматизма в регионе.

Показано, что средний полюс по всем сайтам прямой полярности близок к палеомагнитному трапповому полюсу NMK [4] и очень близок к среднему полюсу по интрузивам Ангаро-Тасеевской впадины. Средний полюс по обратно намагниченным интрузивам резко отличается от всех вышеуказанных. Это можно объяснить либо значительно более молодым возрастом этой группы интрузивов, либо краткостью магматического события.

Список литературы:

1. Павлов В.Э., Флутто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Латышев А.В. Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймеча-Котуйской провинций. *Физика Земли*, 2011, №5.с. 35-50.
2. Латышев А.В., Веселовский Р.В., Иванов А.В., Фетисова А.М., Павлов В.Э. Свидетельства кратких интенсивных пиков магматической активности на юге Сибирской платформы (Ангаро-Тасеевская впадина) на основании результатов палеомагнитных исследований. *Физика Земли*. 2013, №6, с. 77-90.
3. Hounslow M., Muttoni G. The geomagnetic polarity timescale for the Triassic: linkage to stage boundary definitions. 2010. In: *The Triassic timescale*. London : Geological Society of London p. 61-102.
4. Pavlov V.E., Veselovskiy R.V., Khokhlov A., Latshev A.V., Fluteau F. Refined permo-triassic paleomagnetic pole for the Siberian platform and geomagnetic secular variations at the Paleozoic-Mesozoic boundary as recorded in volcanic traps key sections of northern Siberia. Abstract GP11A-0999, presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.

ВНЕЗАПНЫЕ НАЧАЛА МАГНИТНЫХ БУРЬ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Лавров Иван Павлович

инженер-исследователь, Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН

Ранее Г.А. Соболев и др. (2001) [2] изучили влияние магнитных бурь с внезапным началом (SSC) на режим *региональной* сейсмичности, а В.В. Адушкин и др. (2012) - на режим *локальной* сейсмичности. В данной работе исследовано возможное воздействие SSC на глобальную сейсмическую активность. Были рассмотрены все SSC, т.е. магнитные импульсы, после которых возникают магнитные бури. Моменты начала SSC взяты из каталога WDC-C2 KYOTO. Анализировалась сейсмичность в двух смежных временных интервалах: за час до начала SSC и в течение часа после. Следуя этому принципу, из глобального каталога USGS за период 1973-2010 гг. было отобрано 405 землетрясений с магнитудами $M \geq 5$. Моменты начала SSC использовались в качестве реперов для сравнительного анализа сейсмической активности методом наложения эпох. С высокой степенью достоверности установлено, что на интервале до репера количество землетрясений заметно больше, чем после него. Другими словами, можно полагать, что SSC подавляют глобальную сейсмическую активность. Показаны сложности интерпретации обнаруженного эффекта. Дан краткий обзор работ, в которых анализируются химический, тепловой и силовой механизмы воздействия электромагнитного поля на горные породы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 18 фундаментальных исследований Президиума РАН и РФФИ (проекты № 13-05-00066 и 15-05-00491).

Список литературы:

1. Гульельми А.В. Пондеромоторные силы в коре и в магнитосфере Земли // *Физика Земли*. 1992. № 7. С. 35–39.
2. Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 62–72.
3. Файнберг Э.Б., Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Васильева Т.А. Генерация тепловых потоков в недрах Земли мировыми геомагнитными бурями // *Физика Земли*. 2004. № 4. С. 54–62.
4. Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями // *Физика Земли*. 2012. № 2. С. 84–87.
5. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А. Отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации // *ДАН*. 2012. Т. 444, № 3. С. 304–308.
6. Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // *Солнечно-земная физика*, 2015, Т. 1, № 1 с. 98-103.

КОРРЕЛЯЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА МАССИВЕ МТ/МВ ЗОНДИРОВАНИЙ KIROVOGRAD

*Лозовский Илья Николаевич, аспирант ИФЗ РАН,
м.н.с. ЦГЭМИ ИФЗ РАН*

Проект KIROVOGRAD представляет из себя первый в России масштабный массив синхронных магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований, выполненных на западном склоне Воронежского массива. Целью исследований является изучение геоэлектрической структуры литосферы. С 2006 по 2015 г. выполнено более 10 профилей и 200 синхронных зондирований.

Для всех зондирований в программных комплексах PRC_MTMV [1] и MT-CORRECTOR (ООО «Северо-Запад») было выполнено независимое помехоподавляющее оценивание передаточных операторов – импеданса Z , типпера W_z и горизонтального МВ оператора M .

Для всех профилей измерений в программном комплексе INV2D была выполнена 2D+ инверсия МТ/МВ данных с учетом их искаженности 3D эффектами. Получены геоэлектрические модели в пределах всей земной коры (до глубины 50 км). Для профиля Жиздра в программных комплексах ModEM и WSInv3DMT была выполнена 3D инверсия импеданса, типпера и горизонтального МВ оператора.

Для выяснения природы выявленных аномалий электропроводности проведено сопоставление результатов интерпретации МТ/МВ данных с данными магниторазведки (данные EMAG2 и спутника CHAMP) и гравиразведки. В программном комплексе TG-2D подобрана избыточная плотность в окрестности выявленных аномалий электропроводности. В результате на трех северных профилях (КИРОВ, ЖИЗДРА и БРЯНСК) установлена отчетливая корреляция коровых аномалий пониженной электропроводности и повышенной плотности. Эти геоэлектрические структуры также характеризуются отчетливыми положительными аномалиями глубинного вертикального магнитного поля CHAMP [2]. Можно предположить, что их природа связана с присутствием графито- и/или сульфидосодержащих метаосадков.

Яркие аномалии магнитного поля EMAG2 (включая Курскую и Барятинскую) хорошо коррелируются с вышележащими умеренно проводящими субвертикальными верхнекоровыми структурами, интерпретируемыми как зоны глубинных разломов.

Список литературы:

1. Varentsov Iv. M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis // *EM sounding of the Earth's interior (Methods in geochemistry and geophysics, 40)*. — New York: Elsevier, 2007. — P. 263-277.
2. Абрамова Д.Ю., Абрамова Л.М., Варенцов Ив.М., Куликов В.А., Лозовский И.Н., Рабочая группа KIROVOGRAD. Корреляция аномалий постоянного магнитного поля и коровых геоэлектрических структур на западном склоне Воронежского массива. М.: Геофизический журнал № 4, Т. 34, 2012. 62-69 с.
3. Варенцов И.М. и др. Синхронные магнитотеллурические и магнитовариационные зондирования на западном склоне Воронежского массива. М.: Геофизический журнал № 4, Т. 34, 2012. 90-107 с.
4. Алексанова Е.Д., Варенцов Ив.М., Куликов В.А., Лозовский И.Н. и др. Глубинные аномалии электропроводности в северной части Воронежской антеклизы. М: Геофизика. 2013. №2. С. 32-38.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ

*Макрушин Антон Петрович, инженер-исследователь,
Галиченко С.В., Анисимов С.В., Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН*

Ионизация воздуха определяет электрическую проводимость атмосферы. Основные источники ионизации обусловлены потоками космических лучей и радиоактивных эманаций Земли [1]. Наибольший вклад в ионизацию нижних слоев тропосферы дает радиоактивный распад радона и его дочерних продуктов. Температурная стратификация и высотный профиль пограничного слоя атмосферы влияют на интенсивность вертикального транспорта радиоактивных газов. Суточная изменчивость ионообразования в нижней тропосфере обусловлена ходом интенсивности турбулентного перемешивания радиоактивных газов – радона и торона, эманлирующих из почвы [2].

В рамках проведенных исследований стохастическая лагранжева модель конвективного пограничного слоя атмосферы адаптирована к задаче расчета объемной активности радона, вертикального потока радона и скорости ионообразования в утренние и дневные часы над сушей в условиях невозмущенной атмосферы (отсутствие осадков, малая облачность, слабый ветер). Модель учитывает конвективный перенос изотопов радона, а также зависимость ионообразования вторичными космическими лучами и излучением грунта от высоты.

Для параметризации модели используются результаты натурных наблюдений турбулентных и термодинамических величин, полученные на геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН (58°06' с.ш., 38°14' в.д.) летом 2014 г. Проведено сравнение расчетных значений объемной активности радона у земной поверхности с результатами полевых наблюдений объемной активности радона-222. Измерения проводились с использованием радиометра AlphaGUARD и сейсмической радоновой станцией СРС-05.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №13-05-12060, №15-05-04960).

Список литературы:

1. Makino M., Ogawa T. Quantitative Estimation of Global Circuit // *J. of Geophys. Res.*, 1985. V. 90 P. 5961-5966.
2. Vinuesa J.-F., Basu S., Galmarini S. The diurnal evolution of ^{222}Rn and its progeny in the atmospheric boundary layer during the WANGARA experiment // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. V.7. P. 5003–5019.

ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НИЖЕ УРОВНЯ ПОВЕРХНОСТИ АКВАТОРИИ: ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Михайлов Павел Сергеевич

н.с., Лаборатория гравиметрических измерений (601) ИФЗ РАН

Освоение Арктики – важное и необходимых направлений для России в XXI веке. Но оно связано с трудностями. Ледовый покров Арктики занимает площадь более 3000 тыс. кв. км. Гравитационное поле Земли в этом регионе остается малоизученным. Морские измерения здесь возможны только отдельными профилями, ограниченными ледовой обстановкой и геополитическими границами. Аэрогравиметрия не позволяет решать разведочные и геологические задачи, а измерения с самолетов на удаленных областях весьма сложны. В таких условиях возможности подводных носителей намного шире. Измерения выполняются в любой, даже самой отдаленной части Северного Ледовитого океана, независимо от погоды и ледовой обстановки, создаются условия для решения комплекса самых разных задач и проведения экспериментальных исследований.

Подводные измерения силы тяжести позволяют решать ряд практических и фундаментальных задач:

- определение аномалий силы тяжести и уклонения отвесной линии в труднодоступных районах Арктики;
- поиск и разведка перспективных месторождений энергоресурсов по аномалиям силы тяжести;
- проверка и уточнение моделей поля силы тяжести в высоких широтах;
- определение вертикального градиента изменения силы тяжести в водной среде и сравнение с его расчетными значениями.

Подводную гравиметрическую съемку от надводной отличает ряд особенностей, которые необходимо учитывать при обработке. Наиболее значительные из них:

- отсутствие постоянной связи с космической навигационной системой;
- переход в квазигеографическую систему координат в приполюсных районах.
- необходимость учета фугоидных движений, т.е. ускорений возникающих вследствие изменения глубины при движении по заданному галсу;
- трансформация измеренного поля силы тяжести на уровень моря.

Несмотря на то, что измерения силы тяжести с подводных оснований выполнялись и ранее, они имели точечный характер и не решали прикладные научные задачи. Выполненная работа и полученные на данном этапе результаты позволяют сделать вывод о целесообразности продолжения таких исследований. Проверены возможности российского мобильного гравиметрического комплекса при измерениях на различных глубинах. Выполненные исследования показали, что задачи, как прикладные, так и фундаментальные, могут успешно решаться на современном уровне в труднодоступных регионах Земли, покрытых Мировым океаном.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СРЕДЫ ГЕОРАДАРНЫМ МЕТОДОМ (ЭКСПЕРИМЕНТ, ТЕОРИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ)

*Милавкин Максим Александрович, студент СГУ им. Чернышевского,
Мехтиев Мехди Шахин оглы, студент СГУ им. Чернышевского,
Александров Павел Николаевич, ЦГЭМИ ИФЗ РАН*

Применение георадарного метода для решения археологических задач с использованием аппаратуры "Око-2" с несущей частотой 250 МГц, показал некоторые особенности в поведении импульсного электромагнитного поля.

Во-первых, сигнал осложнен периодическими сигналами. Для изучения этого явления был проведен эксперимент, который заключался в измерении георадарного сигнала при нахождении аппаратуры в воздухе. Эксперимент показал, что антенный блок указанной аппаратуры "звенит". Поскольку данная помеха имеет системный характер, то с ней можно бороться при обработки профильных георадарных данных путем вычитания среднего.

Другой особенностью георадарного сигнала является наличие низкочастотной составляющей на относительно поздних временах. Как показали предыдущие исследования [1], эта низкочастотная составляющая непосредственно связана с электропроводностью среды. Это позволяет по георадарным данным получать информацию не только о диэлектрической проницаемости, но и о удельном сопротивлении среды. Для этого необходимо найти момент прихода электромагнитной волны, связанной с волновой частью годографа t_e , и момент прихода волны, связанной с диффузионной частью сигнала t_p . С этой целью был использован аппарат преобразования Фурье и теорема о сдвиге [2]. Производная по частоте фазового спектра на низких частотах позволила определить момент прихода диффузионной части электромагнитного поля, а на высоких - момент прихода волновой части электромагнитного поля. Тогда удельное сопротивление среды ρ , согласно [1], может быть определена из уравнения

$$\rho = \frac{1}{V} \frac{1}{\varepsilon} \frac{R}{6} \frac{t_e}{t_p},$$

где ε - диэлектрическая проницаемость воздуха, V - скорость распространения электромагнитного поля в воздухе, R - расстояние между источником и приемником.

Это позволило автоматизировать процесс определения удельного сопротивления среды по георадарным данным.

В результате применения этого подхода, впервые удалось получить информацию об удельном сопротивлении геологической среды по георадарным данным.

Список литературы:

1. Александров П.Н. О расщеплении годографа в диспергирующих средах. Ежегодная Конференция «Гальперинские чтения-2012», Москва, 30 октября по 2 ноября 2012 года. - http://geovers.com/base/files/gr12/papers/31_gr2012_AlexandrovPN.pdf.
2. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. - М.: Недра, 1980. - 535с.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ ТИПА РСЗ В НОЧНОМ СЕКТОРЕ.

*Наталия Сергеевна Носикова, вед. инж., Н.В. Ягова, в.н.с., к.ф.-м.н.,
Лаборатория физики околоземного пространства (402) ИФЗ РАН*

Исследован редкий тип геомагнитных пульсаций: ночные узкополосные колебания диапазона 20-80 мГц (ночные РСЗ) на геомагнитных широтах от авроральных до экваториальных. Обнаружены два максимума в широтном распределении частоты появления и амплитуды ночных РСЗ: на средних широтах вблизи амплитудного максимума утренних РСЗ и в узкой приэкваториальной области, где линии геомагнитного поля Земли полностью погружены в ионосферу. Ночные РСЗ могут быть разделены на два класса: к первому относятся пульсации, имеющие максимум в предутренние часы и являющиеся продолжением типичных утренних РСЗ. Они наблюдаются при высоких скоростях солнечного ветра (>600 км/ч). Пульсации второго типа «чисто ночные РСЗ» наблюдаются при умеренных скоростях солнечного ветра и локализованы на средних широтах в ночном секторе местного магнитного времени. Пространственное распределение и частота появления ночных РСЗ характеризуются резкой неоднородностью, что может привести к ложной интерпретации их как аномалий немагнитосферного происхождения, в частности предвестников землетрясений. Таким образом, ночные РСЗ являются важным компонентом магнитосферного фона, который необходимо исключать при исследовании сейсмоэлектромагнитных явлений.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО ПАРАМЕТРАМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ ПОСРЕДСТВОМ GPS В ВАРИАЦИЯХ ПЭС ИОНОСФЕРЫ ПОСЛЕ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ольшанская Екатерина Вячеславовна, н.с.

Шалимов С.Л., д.ф.-м.н., зав.лаб.

Лаборатория тектоно-электромагнитных взаимодействий (401) ИФЗ РАН

Для ряда крупнейших цунамигенных землетрясений 2003-2014 гг. по GPS-данным исследованы параметры косейсмического отклика на ударную волну, приходящую на ионосферные высоты после землетрясения и вызывающую вариации полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы, регистрируемые в первые 15 минут после события. Показано, что такой отклик имеет характерную форму N-волны, длительность фазы сжатия которой (t_+) может быть использована для оценки сейсмической энергии источника (E_s). Построенная квадратичная МНК-регрессия длительности положительной фазы от оценок E_s , полученных по сейсмическим данным геологической службы США и по формуле, предложенной авторами в [1], в целом отражает обратную зависимость между t_+ и E_s : с ростом сейсмической энергии события происходит уменьшение длительности фазы сжатия. Амплитуда косейсмического отклика в виде N-волны, как показано авторами [2,3], также находится в соответствии с сейсмическим моментом землетрясения: более крупным событиям соответствует большая амплитуда.

Список литературы:

1. *Ольшанская Е.В., Шалимов С.Л., Об оценке сейсмической энергии цунамигенных землетрясений по ионосферному отклику, наблюдаемому посредством GPS. // Физика Земли, 2015 (в печати)*
2. *Astafyeva, E., S. Shalimov, E. Olshanskaya, and P. Lognonné (2013), Ionospheric response to earthquakes of different magnitudes: Larger quakes perturb the ionosphere stronger and longer // Geophys. Res. Lett., 40, 1675–1681, doi:10.1002/grl.50398.*
3. *M. Cahyadi and K. Heki, Coseismic ionospheric disturbance of the large strike-slip earthquakes in North Sumatra in 2012: Mw dependence of the disturbance amplitudes // Geophys. J. Int. (January, 2015) 200 (1): 116-129. doi: 10.1093/gji/ggu343.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ ДАННЫХ

*Орехова Дарья Александровна, асп. ИФЗ РАН,
ЦГЭМИ ИФЗ РАН*

Северный Ледовитый океан имеет сложное геологическое строение. На части его акватории при типично океанических глубинах обнаружены признаки литосферы по типу близкой к континентальной. Однако представления о границах распространения такого типа литосферы до сих пор остаются противоречивыми. Из-за близости ионосферных источников первичное поле на этой акватории заведомо далеко от приближения плоской волны, что затрудняет применение обычных методов естественного поля. В работе рассматривается иной подход.

В работе представлена методика использования естественного поля для проведения электромагнитных зондирований в Арктике с применением теории четырехкомпонентных магнитных индукционных векторов, компоненты которых имеют разную чувствительность к геометрии ионосферного источника и параметрам геоэлектрического разреза. Для приполюсной части акватории Северного Ледовитого океана по данным магнитных наблюдений дрейфующих станций “Северный полюс” решена обратная задача нахождения эквивалентного источника вариаций. С учетом найденного эквивалентного источника проведено трехмерное моделирование геоэлектрического разреза приполюсной части арктического бассейна по магнитовариационным данным. Полученная модель не противоречит современным геологическим представлениям о строении океана и там, где оно остается дискуссионным, что позволяет сделать выбор между конкурирующими гипотезами.

В дальнейшем указанная методика может послужить основой для нового масштабного эксперимента на всей площади акватории Северного Ледовитого океана и построения его глобальной трехмерной модели.

Список литературы:

1. Трофимов И.Л., Халезов А.А., Шнеер В.С. Итоговый отчет по проекту РФФИ № 04-05-64002 Профилирование геоэлектрического разреза Северного Ледовитого океана по магнитовариационным наблюдениям на дрейфующих станциях «Северный полюс». 2006. 29с.
2. Трофимов И.Л., Шнеер В.С. Некоторые результаты определения магнитного индукционного вектора в Центральной Арктике // Геофизические исследования. 2008. № 8. С. 69-74.
3. Жданов М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. //М.: «Научный мир». 2007. 712 с.
4. Spichak V., Popova I. Artificial neural network inversion of magnetotelluric data in terms of three-dimensional Earth macroparameters // Geophys. J. Int. 2000. V. 142. P.15-26.

СЕВЕРНО-СИЕРРСКИЙ ТЕРРЕЙН (США): ОТКОЛОВШИЙСЯ "КУСОК" БАЛТИКИ?

*Паверман Владислав Игоревич, аспирант ИФЗ РАН, вед. инж.,
Лаборатория археомагнетизма и эволюции геомагнитного поля (106) ИФЗ РАН*

Североамериканские Кордильеры - протяженный покровно-складчатый пояс с длительной историей развития, начавшейся в докембрии и продолжающейся в настоящее время. В числе прочего, в состав пояса входят несколько экзотических террейнов: Александр, Восточные Кlamаты и Северо-Аляскинско-Чукотская плита. Одним из главных доказательств чужеродности этих блоков по отношению к западному краю Северной Америки (Лаврентии) являются спектры распределений изотопных возрастов детритных цирконов. Пилотные рекогносцировочные данные по цирконам из песчаников Северо-Сиеррского террейна (ССТ), полученные Grove et al., (2008), позволили отнести этот террейн к разряду экзотических, и мотивировали выполнение данного исследования.

В течение нескольких полевых сезонов мы отобрали образцы из 19 кварцевых и полимиктовых песчаников из двух аллохтонов, слагающих "костяк" ССТ. Мы выделили детритные цирконы и проанализировали их методом LA-ICP-MS. Цирконы из нижнего аллохтона ("Culbertson Lake Allochthon") характеризовались распределениями, схожими с распределениями, полученными по северо-западу Лаврентии. Напротив, данные по песчаникам из верхнего аллохтона, представляющего собой меланж ("Sierra City Mélange") значительно отличались от лаврентийских распределений. В частности, в них присутствовали: (1) непрерывное распределение возрастов в интервале 1.0 - 2.0 млрд. лет; (2) вендские цирконы; (3) цирконы с ранне-среднепалеозойскими "каледонскими" возрастами. Данные характеристики несвойственны Лаврентии. Больше всего они напоминают породы, образовавшиеся на северо-восточном краю Балтики (Восточно-Европейской Платформы). Цирконы с возрастaми 1.0-2.0 млрд. лет мы связываем с кристаллическим фундаментом Балтики, вендские цирконы - с Тимано-Печерскими интрузиями, а палеозойские возраста - с каледонским орогенезом, произошедшим в результате коллизии Балтики и Лаврентии.

Исходя из полученных и литературных данных, мы предлагаем следующую тектоническую модель. Фрагменты ССТ в начале палеозоя участвовали в строении Тимано-Печерского обрамления Балтики. В это время песчаники террейна получали цирконы с возрастaми 1-2 млрд.лет из кристаллического фундамента Балтики, а также вендские цирконы из Тимано-Печерских гранитоидов, сформировавшихся при коллизии Балтики и Арктиды. В раннем-среднем палеозое ССТ (наряду с другими террейнами) был оторван рифтогенезом от периферии Балтики и начал свой дрейф в сторону Лаврентии. К началу раннего карбона (возраст сшивающих гранитоидов) произошла амальгамация ССТ. В состав композитного террейна вошли как экзотические (пример: Sierra City Mélange), так и лаврентийские (Culbertson Lake Allochthon) фрагменты. Вероятнее всего, к концу палеозоя произошла аккреция композитного террейна к западу Лаврентийского кратона.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Преснов Дмитрий Александрович

*аспирант, вед.инж., Лаборатория фундаментальных проблем экологической геофизики и
вулканологии (703) ИФЗ РАН*

Важным этапом на пути освоения природных запасов шельфа Северного Ледовитого океана являются теоретические и экспериментальные исследования закономерностей распространения сейсмоакустических волн в системе «литосфера-гидросфера-слой льда-атмосфера». Понимание структуры волновых процессов в такой слоистой геофизической среде позволит в ближайшем будущем разработать технологии пассивной сейсморазведки, применимые в условиях покрытого льдом моря.

В рамках соотношений теории упругости и гидродинамики получены аналитические представления для волнового поля в среде, имеющей три горизонтальные границы, на которых параметры контактирующих сред меняются, а волна испытывает отражение и преломление. Источник типа «штамп» использовался на поверхности слоя моделирующего лёд. Получено и проанализировано дисперсионное уравнение для такой среды. Показана возможность проведения независимой оценки параметров льда и дна по экспериментально измеряемым скоростям поверхностных волн.

Представлены результаты натурных наблюдений на акватории Умбозера (г. Апатиты) сейсмических и акустических сигналов, вызванных мощным промышленным взрывом. Изучается возможность пассивного определения скорости распространения поверхностной волны между двумя вертикальными сейсмоприемниками на основе взаимно-корреляционной функции.

Последним шагом работы является построение скоростного разреза на основе геоинверсии измеряемых скоростей поверхностных волн с последующим построением томографических схем. Данный подход позволяет проводить сейсмические исследования в сложной ледовой обстановке без применения мощных источников.

Список литературы:

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. 343 с.
2. *Викторов И.А.* Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981. 287 с.
3. *Собисевич А.Л., Разин А.В.* Геоакустика слоистых сред. М.: ИФЗ РАН. 2012. 210 с.
4. *Преснов Д.А., Жостков Р.А., Гусев В.А., Шуруп А.С.* Дисперсионные зависимости упругих волн в покрытом льдом мелком море. // Акуст. журн. 2014. Т. 60. N 4. С. 426 – 436.
5. *Буров В.А., Гринюк А.В., Кравченко В.Н., Муханов П.Ю., Сергеев С.Н., Шуруп А.С.* Выделение мод из шумового поля мелкого моря одиночными донными гидрофонами для целей пассивной томографии. // Акуст. журн. 2014. Т. 60. N. 6. С. 611 – 622.

МОДИФИКАЦИЯ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА ЧЕБЫШЕВА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ

Раевский Дмитрий Николаевич, аспирант ИФЗ РАН

Одним из основных и наиболее информативных методов разведочной геофизики является сейсморазведка. Однако в последнее время все чаще требуется плотное комплексирование геофизических методов по следующим причинам:

- 1) Возрастание объема данных, подлежащих интерпретации;
- 2) Увеличение глубинности геологических исследований, так как запасы легко добываемых месторождений, находящихся в верхней коре, почти исчерпаны;
- 3) Повышение требований к точности и разрешающей способности геологических исследований;
- 4) Появление новых инженерно-эксплуатационных, экономических и экологических проблем.

Поэтому обработка других геофизических данных (гравиразведка, магниторазведка, электроразведка) является необходимой для получения наиболее полной информации. Одним из вариантов интерпретации данных геофизических полей является метод S-аппроксимаций, который состоит в аппроксимации измеренных компонент поля суммой простого и двойного слоев, распределенных на некотором носителе, который залегает ниже заданного рельефа. Основной вычислительной проблемой метода является нахождение устойчивого приближенного решения $\hat{x}$ системы линейных алгебраических уравнения (СЛАУ), согласованного с определенной априорной информацией:

$$Ax = f_{\delta} = f + \delta f, \quad (1)$$

где $A = A^T > 0$ – $N \times N$ -матрица, f_{δ} – N -вектор заданных на некотором рельефе величин, f представляет собой полезный сигнал, а δf – помеху.

В работе представлен регуляризованный итерационный трехслойный итерационный метод Чебышева решения СЛАУ, адаптированный для метода S-аппроксимаций, и блочный метод контрастирования, состоящий в разбиении имеющейся области на подобласти локальных экстремумов поля. Приводятся результаты математического эксперимента и исследовано практическое применение методов.

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы.

1. В.Н. Страхов, А.В. Страхов, И.Э. Степанова. Актуальные проблемы геофизики и геоинформатики, М.: ОИФЗ РАН, 2004. 138 с.
2. А.Г. Ягола, Ван Янфей, И.Э. Степанова, В.Н. Титаренко. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. М.: БИНOM, 2014. 216 с.
3. А.А. Самарский, Е.С. Николаев. Методы решения сеточных уравнений М.: Наука, 1978. 592 с.
4. С. Пашковский. Вычислительные применения многочленов и рядов Чебышева, М.: Наука, 1983. 384 с.
5. А.А. Никитин, В.К. Хмелевской. Комплексирование геофизических методов. Тверь: ГЕРС, 2004. 294 с.
6. Вл.В. Воеводин, С.А. Жуматий, А.С. Антонов и др. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. – М.: Издательский дом "Открытые системы", N 7, 2012. с. 36-39.

ОБОБЩЕНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ И ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОНГОЛЬСКОГО АЛТАЯ

*Родина Светлана Николаевна, к.г.-м.н., н.с.,
Рогожин Е.А., д.г.-м.н. проф., зав.лаб., eurog@ifz.ru, Ларьков А.С. вед.инж.
Лаборатория методов прогноза землетрясений (702)*

Территория Большого Алтая является активной сейсмической зоной, в которой известны крупные очаговые области. В последние годы был детально исследован регион Горного Алтая, в том числе и палеосейсмогеологическим методом. Полученные сведения о древних землетрясениях позволили оценить долговременный сейсмический режим. Однако, территория Монгольского Алтая, располагающаяся в непосредственной близости, оставалась слабо изученной. В связи с сильнейшими землетрясениями, происходившими здесь в историческое время, были проведены сеймотектонические и палеосейсмологические работы в зоне сейсморазрыва Фуяньского землетрясения 1931 г. в 1996 г. группой китайских ученых и в 2005 г. совместной группой российских и китайских ученых. Были выявлены следы пяти землетрясений с магнитудой около 8.0, произошедших за период 10000 лет. В 2012 г. совместной группой российских и монгольских ученых были проведены геолого-геоморфологическое и палеосейсмологические исследования в зоне активного разлома Ховд. В результате работ установлены следы четырех доисторических землетрясений с магнитудой около 8.0, произошедших за период 7500 лет. Обобщение сведений о палеоземлетрясениях позволило восстановить более детальную и длительную сейсмическую историю региона.

Для анализа долговременного сейсмического режима использовались графики повторяемости, построенные по инструментальным, историческим и палеосейсмогеологическим данным. Для Монгольского Алтая выявлено изменение наклона графика, что говорит об уменьшении периода повторяемости сильных событий. Обобщение сейсмологического и палеосейсмогеологического материала позволило рассмотреть более полную сейсмическую историю региона и оценить сейсмический режим на протяжении всего голоцена.

Список литературы

1. *Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. Ред. В.П. Солоненко, Н.А. Флоренсов. М., Наука, 1985. 224 с.*
2. *Рогожин Е.А. Реконструкция долговременного сейсмического режима с использованием палеосейсмогеологических данных // Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1. Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений. М., ИФЗ РАН, 2010. С. 44–64.*
3. *Рогожин Е.А., Ларьков А.С., Дэмбэрэл С., Баттулга Б. Повторяемость сильных землетрясений в зоне активного разлома Ховд на Монгольском Алтае // Геотектоника. 2013. №5. с.36-47.*
4. *Рогожин Е.А., Шен Д., Родина С.Н. Сопоставление сеймотектонических особенностей Горного и Монгольского Алтая // Вопросы инженерной сейсмологии. 2012. Т 39. № 3. с.5-20.*
5. *Ge Shumo, Bo Meixiang, Zheng Fuwan, Luo Fuzhong The Koktokay-Ertai Fault, Xinjiang, China// Journal of Earthquake Prediction Research. 1996, v.5, No. 4, pp. 470-504.*

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Сальная Наталья Викторовна¹, Ив Галле², Антипов И.В.³

¹ аспирант ИФЗ РАН, вед инж., Лаборатория археомагнетизма и эволюции
геомагнитного поля (106),

² Equipe de Paleomagnetisme, Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France,

³ Санкт-Петербургский государственный университет

Археомагнетизм позволяет отслеживать эволюцию направления и напряженности магнитного поля Земли за последние тысячелетия. На стыке археологии, магнетизма горных пород и геомагнетизма, археомагнетизм опирается на анализ археологических артефактов, которые подвергались обжигу во время их производства. Несомненным преимуществом их использования в качестве объектов исследования является возможность отбора хорошо датированных коллекций образцов, представленных керамикой, изразцами, плинфой, кирпичами и т.д.

В нашей работе мы исследовали коллекции кирпичей и изразцов, отобранных из памятников архитектуры и археологии Великого Новгорода и Ново-Иерусалимского монастыря. Точность датирования этих объектов обусловлена наличием исторических свидетельств и варьирует от года до ± 5 лет.

Определение палеонапряженности проводилось на трехосном вибрационном магнетометре «Triaxe» [1] в археомагнитной лаборатории Парижского института физики Земли. Предварительно было проведено исследование стабильности магнитных минералов образцов к нагревам посредством снятия кривых магнитной восприимчивости и/или намагниченности насыщения от температуры. Для изучения доменной структуры образцов были определены гистерезисные параметры (J_s/J_{rs} , H_c/H_{cr}).

Проведено сравнение полученных результатов палеонапряженности с моделями поведения геомагнитного поля [2,3], эталонной кривой для Франции, экстраполированной на координаты г. Москва и данными, ранее полученными по центральной части России.

Список литературы:

1. Le Goff, M., Gallet, Y., 2004. A new three-axis vibrating sample magnetometer for continuous high-temperature magnetization measurements: applications to paleo- and archeo-intensity determinations. *Earth Planet. Sci. Lett.* 229, 31–43.
2. Jackson, A., Jonkers, A., Walker, M., 2000. Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A* 358, 957–990.
3. Gubbins, D., Jones, A.L., Finlay, C.C., 2006. Fall in Earth's Magnetic Field Is Erratic. *Science* 312, 900–902.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сдельникова Ирина Александровна, аспирант ИФЗ РАН, м.н.с. ГС РАН

Цунами – одно из наиболее опасных и труднопредсказуемых стихийных явлений, угрожающих прибрежным районам Мирового океана. Практические меры по смягчению последствий цунами, наряду с априорными исследованиями, включают оперативное оповещение о приближении волны после того, как зафиксировано цунамигенное сейсмическое событие. Для достоверного определения кинематических и динамических характеристик вероятного проявления волны необходима гидродинамическая модель распространения волны, для которой, в свою очередь, требуются данные по рельефу морского дна и начальное сейсмическое поднятие морского дна. Измеряемые пунктами ГНСС смещения на земной суше могут быть использованы для оценки такого поднятия с помощью моделирования, состоящего из двух основных этапов: во-первых, вычисление распределения подвижки в очаге по смещениям на суше, и, во-вторых, вычисление поля смещений морского дна по найденной подвижке в очаге. Практическая применимость такого подхода обуславливается соотношением скорости распространения волны цунами в океане и удалением наблюдательных пунктов, на которых возможна регистрация заметных сейсмических смещений методами ГНСС в оперативном режиме. В данной работе на основе данных ГНСС по Курильским островам и по Японии выполнены оценки параметров очагов и построены распределения вертикальных смещений дна, вызванных такими сильными сейсмическими событиями как: Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 и 13 января 2007 гг., и катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011г.

Список литературы:

1. *Yo. Okada*. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bulletin of the Seismological Society of America, 1985, Vol. 75, No. 4, pp. 1135-1154.
2. *F.F. Pollitz*. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical earth // Geophys J. Int. , 1996, Vol. 125, N.1, pp. 1-14
3. *Steblov G.M., Kogan M.G., Levin B.V., Vasilenko N.F., Prytkov A.S., and Frolov D.I.* Spatially linked asperities of the 2006–2007 great Kuril earthquakes revealed by GPS // Geophys. Res. Lett. 2008. V.35. L22306. DOI:10.1029/2008GL035572.

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС КАК ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛИГОЦЕНОВОГО ВОЗРАСТА АССАМСКОГО БАССЕЙНА)

Шаталова Ирина Александровна, аспирант ИФЗ РАН

К основным методам поисков и разведки углеводородов относятся сейсморазведка ОГТ и различные методы геофизических исследований скважин (ГИС). При этом роль ГИС состоит как в непосредственном определении коллекторов и покрышек и, так и в обосновании возможности определения коллекторских свойств и нефтегазоносности по данным сейсморазведки.

В докладе показано как данные комплекса ГИС (радиоактивный каротаж, кавернометрия, акустический и плотностной каротаж, метод самопроизвольной поляризации и методы сопротивления) позволяют выбирать оптимальные методы сейсмических исследований и обработки и интерпретации их результатов, направленные на решение поставленной задачи. Описывается методика обработки и интерпретации данных ГИС.

В частности, демонстрируется, что:

1. Имеющийся комплекс ГИС позволяет уверенно выделять коллекторские/неколлекторские разности и определять тип флюидонасыщения в окрестности скважин.
2. Для решения задачи выделения коллекторов по данным сейсморазведки необходимо независимое определение параметров V_p , V_s , ρ , т.е. проведение упругой инверсии на основе данных многоволновой сейсморазведки.
3. ФЕС коллекторов уверенно коррелируют со значениями акустического импеданса, что доказывает возможность определения ФЕС по данным акустической инверсии.
4. При отсутствии данных сейсморазведки необходимого качества, для распространения интерпретации в межскважинное пространство требуется применять методы геостатистики.

Список литературы:

1. Горбачев Ю.И. Геофизические исследования скважин. М.: Недра. 1990. 394 с.
2. Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. М.: Недра. 1978. 320 с.
3. Латышова М.Г., Мартынов В.Г., Соколова Т.Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС. М.: Недра. 2007. 327 с.
4. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. М.: Недра. 1984. 219 с.
5. Log interpretation charts. Schlumberger. 2009. 308 с.

КАТАСТРОФИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЮЙШУ
(ПРОВИНЦИЯ ЦИНЬХАЙ, КНР).
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОЧАГА

Шэнь То, аспирант ИФЗ РАН

Землетрясение в Юйшу. 14.04.2010 г. в провинции Цинхай, неподалеку от города Юйшу произошло землетрясение магнитудой 7.1. Погибло свыше 2000 человек, более 12000 были ранены, также 195 человек пропали без вести.

Землетрясение произошло на юге Баян-Хараского сеймотектонического пояса. По данным Китайской администрации по землетрясениям, гипоцентр находился на глубине 33 км. Эпицентр был приурочен к зоне Грацзе-Юшу-Фунхуошаньского разлома.

При главном толчке на поверхности образовалась зона первичных сейсмических нарушений северо-западного простирания (СЗ 315°) длиной приблизительно 30 км. По морфо-кинематике сейсмические нарушения в этой зоне – левые сдвиги с небольшой вертикальной составляющей (приподнято северо-восточное крыло на 0.5 м). На поверхности наблюдаются эшелонированные системы трещин скалывания (сколы Риделя – R с простиранием 280° ЗСЗ) и (R' северо-северо-восточного простирания - ССВ 10°). Амплитуда левого сдвига составила до 1.75 м.

Это сейсмическое событие вошло в ряд трех других сильнейших землетрясений на востоке Тибета в начале 21 века.

Список литературы:

1. *Отчет Кунтайского геологического университета, 2013*
2. Li Dewei. The regularity and mechanism of East Kunlun, Wenchuan and Yushu earthquakes and discussion on genesis and prediction of continental earthquakes. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(5): 179-192.

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПИКИРОВАНИЯ ВСТУПЛЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ: ОБЗОР, АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ (НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО КАМЧАТКЕ)

Шишкина Мария Александровна¹, Алешин М.И.², Агаян С.М.³, Богоутдинов Ш.Р.^{1,3},
Тихоцкий С.А.¹, Краснова М.А.¹,

1 – ИФЗ РАН, 2 – МГУ имени М.В. Ломоносова, 3 – Геофизический центр РАН

В связи с увеличением объёмов сейсмологических данных в последние десятилетия возникла проблема точного и быстрого автоматического пикирования вступлений сейсмических волн, которой посвящены многочисленные исследования и предложены различные алгоритмы [1-4]. Целью данной работы является исследование и сравнение различных методов автоматического пикирования вступлений сейсмических волн, применённых к сейсмологическим данным, полученным в рамках проекта «PIRE» по изучению вулкана Безымянный, Камчатка. В работе показаны результаты применения к данным стандартного автоматического пикировщика STA/LTA (распространённый подход к автоматической оценке времён прихода сейсмических волн, состоящий в анализе отношения короткопериодного среднего к длиннопериодному среднему [2]), метода ДМА (дискретного математического анализа, использующего сравнения на основе нечеткой логики [3]), метода, использующего функцию фрактальной размерности [1] и метода, основанного на вейвлет-пакетном разложении сигналов. Оценка качества работы алгоритмов проводится при сравнении результатов пикирования с результатами ручной интерпретации данных, которые в данных исследованиях являются эталонными.

Программные пакеты, использующие данные алгоритмы, в большинстве своем разработаны авторами данной работы. На основе анализа возможностей алгоритмов предложены пути их усовершенствования. Результаты показывают, что все методы при определенной настройке задаваемых пользователем параметров в силах решать задачу по автоматическому выделению событий на фоне шума при поступлении данных в режиме реального времени (что, однако, в ближайшем будущем не решит проблему оперативной обработки в сейсмически опасных регионах, где оператор должен принять решение об объявлении тревоги). При обработке больших массивов данных также разумно применять методы автоматического пикирования, однако для отбраковки большого числа возникающих неверно выделенных событий необходимы специальные алгоритмы (такие как «фрактальный FCARS» для пикирования по методу ДМА). Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-05-31088).

Список литературы:

1. Boschetti Fabio, Dentith Mike D., and List Ron D. A fractal-based algorithm for detecting first arrivals on seismic traces. // GEOPHYSICS, VOL. 61, NO. 4 (JULY-AUGUST 1996), P. 1095-1102.
2. Taylor Kye M., Procopio Michael J., Young Christopher J. and Meyer Francois G. Estimation of arrival times from seismic waves: a manifold-based approach // Geophysical Journal International, RAS 2010 (January 2011)
3. Гвишиани А.Д., Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р. Определение аномалий на временных рядах методами нечеткого распознавания// Доклады Академии Наук, Геофизика. 2008. том 421. №1. с. 101-105.
4. Любушин А.А., Калаб З., Частова Н. Использование вейвлет-анализа для автоматической классификации трехкомпонентных сейсмических записей. // Физика Земли. 2004. №7. с.50-56.

СВОЙСТВА ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ КОРНЕР-ЧАСТОТ ОЧАГОВЫХ СПЕКТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ ПО ДАННЫМ P И S ВОЛН

Скоркина Анна Александровна^{1,2}, Гусев А.А.^{3,4}

¹аспирант ИФЗ РАН, м.н.с.КФ ГС РАН, ² м.н.с.КФ ГС РАН

³заведующий лабораторией сейсмологии, ИВиС ДВО РАН,

⁴главный научный сотрудник КФ ГС РАН

Стандартной моделью очагового спектра землетрясения является модель « ω^{-2} » Аки-Бруна, включающая плоский участок при низких частотах f ($\sim f^0$) и убывание по f^{-2} на высоких частотах. Эти участки разделены изгибом вблизи характерной "корнер-частоты" f_c . Брун (1970) также отметил, что изгиб спектра может расщепляться на два, с различающимися корнер-частотами f_{c1} и f_{c2} . В наблюдаемых спектрах имеется еще и верхний срез спектра ускорения (« f_{max} »), его формирование обычно связывают с потерями при распространении волны вблизи станции. Однако накаплиются данные, указывающие на то, что в формирование « f_{max} » вносит свой вклад также и очаг. Соответствующий третий характерный изгиб очагового спектра далее обозначен f_{c3} , вопрос о реальности этого изгиба является дискуссионным.

По наблюдаемым спектрам P и S волн от более 300 землетрясений за 2011–2014 гг. на 7 акселерометрах камчатской сети найдены оценки f_{c1} , f_{c2} и f_{c3} . Рассчитаны отношения $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$, $f_{c2}(P)/f_{c2}(S)$ и $f_{c3}(P)/f_{c3}(S)$, близкие в среднем к 1.3, 1.3 и 1.2, соответственно. Изучены зависимости f_{c1} , f_{c2} и f_{c3} от локальной магнитуды, ML . Тренды этих зависимостей существенно различаются, что указывает на нарушение подобия очагов.

Для четкой демонстрации реальности очаговой природы f_{c3} можно использовать отношения спектров разных землетрясений по записям, полученным одним и тем же прибором при близких гипоцентральных расстояниях. Модель « ω^{-2} » предсказывает в этом случае почти постоянное отношение спектров, поскольку и стационарные спектральные аномалии, и эффекты типа f_{max} , связанные с поглощением в среде вблизи станции, при делении сокращаются. В типичных случаях, когда значения f_{c3} для сравниваемых землетрясений не совпадают, отношения наблюдаемых спектров систематически имеют ожидаемый вид сглаженной ступеньки, что прямо указывает на нарушение модели « ω^{-2} », и позволяет непосредственно оценить значения f_{c3} для каждого из сравниваемых очагов. Корректность подобных оценок подтверждается еще и тем фактом, что оценки f_{c3} для конкретного очага, полученные по разным станциям, приблизительно согласуются друг с другом.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00621) в Камчатском филиале Геофизической службы РАН.

ПРЯМАЯ ЗАДАЧА МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ: ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА И ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Цуканов Алексей Алексеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Горбатилов А.В., к.ф.-м.н., вед.н.с.

Лаборатория методов прогноза землетрясений (702) ИФЗ РАН

Неоднородности геологической среды искажают микросейсмическое поле в своей окрестности, влияя на параметры микросейсмического сигнала, регистрируемого на поверхности. В случае достаточно протяженных по горизонтали неоднородностей оказывается возможным восстановить скоростной разрез, используя оценки для фазовой скорости поверхностной волны [1]. В случае компактных неоднородностей удобным для прогноза свойств среды параметром поверхностной волны становится амплитуда [2]. Пространственное распределение соотношения спектров мощности между зондирующей и базовой станциями является основным параметром микросейсмического сигнала в методе микросейсмического зондирования (ММЗ). Прямая задача ММЗ была решена с использованием численных методов в предшествующих работах [2, 3], однако, ввиду технических ограничений были рассмотрены не все случаи скоростных свойств включений, также вопрос о правомерности применения предположения о линейном механизме формирования сигнала не был изучен.

Разработан и постоянно модернизируется комплекс параллельных программ численного и численно-аналитического решения прямой задачи ММЗ в трехмерной постановке. С использованием указанного комплекса в рамках настоящей работы было исследовано формирование сигнала ММЗ для случая компактных неоднородностей со значениями коэффициента Пуассона в широком диапазоне величин. Полученные результаты значительно развивают имеющееся представление о формировании «изображения» неоднородности в случайном микросейсмическом поле и хорошо согласуются с теорией волн Рэлея [4]. Также была проведена серия численных экспериментов по облучению одиночных и парных тел. Для частного случая была сделана оценка величины нелинейных искажений, связанных с возмущением зондирующего поверхностно-волнового поля самими неоднородностями. Было показано, что для частного случая достаточно контрастных близкорасположенных неоднородностей величина нелинейных искажений не превышает 3% от уровня полезного сигнала в ММЗ.

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ им. М.В. Ломоносова [5, 6]. Исследование частично поддержаны грантом Президента Российской Федерации № МК-6823.2015.5.

Список литературы:

1. Королева Т.Ю., Яновская Т.Б., Патрушева С.С. Использование сейсмического шума для определения структуры верхней толици Земли. // *Физика Земли*, 2009, №5, с. 1-12.
2. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. // *Физика Земли*, 2008, № 7, с. 66-84.
3. Горбатилов А.В., Цуканов А.А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования. // *Физика Земли*, 2011, № 4, с. 96–112.
4. Viktorov I.A. Rayleigh and Lamb waves: physical theory and applications. // New York, Plenum Press, 1967, 154 p.
5. Вл.Воеводин, С.Жуматий, С.Соболев, А.Антонов, П.Брызгалов, Д.Никитенко, К.Стефанов, В.Воеводин. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // *Открытые системы*, № 7, 2012. С. 36-39.
6. Sadovnichy V., A. Tikhonravov, Vl. Voevodin, V. Opanasenko "Lomonosov": Supercomputing at Moscow State University. In *Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale*, pp.283-307, Boca Raton, USA, CRC Press, 2013.

ТЕСТОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ НА ИСТОРИЧЕСКИХ ЛАВАХ КАМЧАТКИ

Жидков Григорий Викторович, н.с.

А. В. Долотов, М.А. Смирнов,

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН,

А.А. Овсянников (ИТИГ ДВО РАН), П.Ю. Плечов (Геологический факультет МГУ)

Цель настоящей работы — проверка надежности определения палеонапряженности геомагнитного поля методом Телье на современных вулканических породах, т. е. на породах, у которых поле создания естественной термоостаточной намагниченности достаточно хорошо известно (современное магнитное поле). Всего изучено 7 образцов лавовых потоков от 6 вулканов. Полученные методом Телье значения напряженности геомагнитного поля мы сравнили со значениями напряженности, которые должны получаться согласно Международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11. Исходя из этих данных мы получили условно 4 «хороших» образца, т. е. с отклонением от предполагаемого значения напряженности не более 10%, и 3 «плохих» образца с отклонением более 10 %.

Следующим шагом нашей работы стало изучение различий между «хорошими» и «плохими» образцами. Для этого были проведены измерения термокривых: намагниченности насыщения при последовательных нагревах, естественной намагниченности и лабораторной термоостаточной намагниченностей. Они показали, что по термомангнитным свойствам «хорошие» образцы можно отнести к высокотитанистым титаномангнетитам с достаточно высокой степенью термостабильности магнитных минералов. «Плохие» же образцы можно отнести к низкотитанистым титаномангнетитам со слабой устойчивостью к нагревам. Полученные микрофотографии образцов и результаты рентгеноструктурного анализа также говорят в пользу того, что состав магнитных минералов представлен главным образом титаномангнетитом, у которого основная фаза — шпинельная. По всей видимости, высокая степень термостабильности «хороших» образцов обусловлена тем, что их магнитные минералы хорошо защищены силикатной матрицей от окисления.

Кроме этого, для анализа ошибок определения палеонапряженности использовались статистические оценки отклонения контрольных замеров («чек-точек») от первоначальных значений. Установлено, что такие оценки могут успешно служить критерием отбора достоверных результатов по методу Телье.

Список литературы:

1. *Thellier E., Thellier O. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique // Ann. de Geophys. 1959. V. 15. pp. 285–376.*
2. *Coe R.S. The determination of paleointensities of the Earth's magnetic field with special emphasize on mechanisms which could cause nonideal behavior in Thellier's method // J. Geomagn. Geoelec. 1967. V. 19. No. 3. pp. 157–178.*
3. *Selkin P.A., Tauxe L. Long-term variations in palaeointensity // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A. 2000. V. 358. No. 1768. pp. 1065–1088. doi:10.1098/rsta.2000.0574.*