

Вариации электрической проводимости приземного слоя атмосферы по данным полевых наблюдений 2010-2011 годов

*К.В. Афиногенов (н.с. лаб. ОБ-3), С.В. Галиченко (н.с. лаб. ОБ-3),
С.В. Анисимов (зав. лаб. ОБ-3, д.ф.-м.н)
ГО «Борок» ИФЗ РАН*

В летние периоды 2010–2011 годов на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводились сезонные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксометры (типа field mill), ультразвуковые цифровые метеостанции, счетчики концентрации легких атмосферных ионов, токовый коллектор (для измерения плотности вертикального атмосферного электрического тока), пиранометр, датчик концентрации радона-222 и торона-220 [1]. Данные регистрировались цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц. В ходе полевых наблюдений получены суточные хода значений концентраций положительных и отрицательных легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и электрической проводимости приземного слоя атмосферы [4].

Среднесуточное значение концентраций положительных легких атмосферных ионов составило 510 см^{-3} ($\pm 410 \text{ см}^{-3}$), легких отрицательных атмосферных ионов – 380 см^{-3} ($\pm 280 \text{ см}^{-3}$), плотности объемного заряда – 20 пКл/м^3 ($\pm 25 \text{ пКл/м}^3$), электрической проводимости приземного слоя атмосферы – 17 фСм/м ($\pm 11 \text{ фСм/м}$).

В ходе обработки экспериментальных данных обнаружена корреляция вариаций напряженности атмосферного электрического поля, плотности вертикального атмосферного электрического тока с плотностью объемного заряда и электрической проводимостью атмосферы. Определено, что вариации концентраций легких атмосферных ионов и плотности объемного заряда коррелируют с вариациями эманаций радона-222. Проведен спектральный анализ вариаций плотности объемного заряда [3,5]. Для спектрального анализа из суточных данных формировались интервалы с секундным усреднением длиной в 900 секунд. Определено, что спектр вариаций плотности объемного заряда самоподобен. В течение суток в интервале периодов от 10 до 100 секунд показатель наклона спектра вариаций плотности объемного заряда близок к -1.7 [2]. Обнаружено формирование когерентных аэроэлектрических структур в плотности объемного заряда. Исследован частотно-временной спектр вариаций объемного заряда. Показано, что во время интенсивной конвекции в вейвлет спектре объемного заряда присутствует ярко выраженное дробление масштаба.

Литература:

1. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М., Информационно-измерительный комплекс и база данных Геофизической обсерватории «Борок» РАН, Москва, ОИФЗ РАН, 2003, 57С.
2. Обухов А. М. Турбулентность и динамика атмосферы В«Гидрометеиздат» 414 стр. 1988 ISBN 5-286-00059-2
3. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 312 с.
4. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 420 с.
5. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M. and Dmitriev E.M. Universal spectra of electric field pulsation in the atmosphere // Geophys. Res. Lett., 2002, 29(12), P. 2217 – 2220

Опыт создания портативной автономной сейсмологической станции

С.С. Бургучев (асп. сект. 508)

В работе описано устройство и организация работы портативной телеметрической сейсмологической станции, а также ее использование для выполнения как наземных, так и морских наблюдений. Главное внимание уделяется вопросу реализации схемы передачи данных по протоколу реального времени, а также особенности работы по этому протоколу при использовании канала сотовой связи.

Работа была инспирирована исследованиями в рамках Европейского проекта *SEAHELLARC* [1], область исследований которого расположена в западном Пелопоннесе и включает в себя один из наиболее сейсмически активных районов во всём Средиземноморье.

В ходе работы были исследована и отвергнута по очевидным причинам возможность передачи данных сейсмологической станции по протоколам высокого уровня: FTP, SSH, HTTP. Среди систем, реализующих передачу данных в режиме реального времени, была выбрана система на протоколе *SeedLink*. Была использована реализация *SeedLink*-сервера, входящая в состав свободно распространяемого программного пакета *SeisComP* (*Seismological Communication Processor*), разработанный специалистами сейсмологической сети *GEOFON* [2].

Для согласования *SeedLink*-сервера с источником данных был использован плагин для чтения данных в формате *Mini-SEED* из именованного канала (*named pipe*). Для записи данных в именованный канал была разработана служба, осуществляющая получение данных с регистратора во внутреннем формате *SEDIS* и конвертацию данных в формат *Mini-SEED* с последующей записью данных в именованный канал.

Была затронута проблема доступа к станции при использовании канала GPRS, что означает отсутствие статического IP-адреса. Для решения данной проблемы был использован динамический *DNS*.

Использование стандартного протокола и сети сотовой связи в совокупности с малым энергопотреблением, относительно небольшой стоимостью аппаратуры, установки и обслуживания делают разработанное решение привлекательным для оперативного развертывания сети таких станций. Это актуально при плановом мониторинге объекта (или региона) с целью оценки сейсмической опасности, предупреждения об опасности возникновения цунами, а также в зонах афтершоковой активности после крупных землетрясений. Благодаря применению стандартных протоколов реального времени, данные попадают в центры обработки данных и не требуют дополнительной настройки математического обеспечения и дорогостоящей процедуры организации обработки новых потоков данных [3].

Работа выполнена в рамках Европейского проекта *SEHELLARC* при частичной поддержке компаний «Геопротект» ГМБХ, Гамбург, инновационной компании ЗАО «Геонод».

1. Papoulia J.E., Makris J.N., Ilinski D., Tsambas A., Fasulaka C.. Microseismicity and Tectonic processes in the South Western Hellenic Arc, Programm and Abstracts / 31th General Assembly of the European Seismological Commission, Crete 7-12, Sept. 2008, P.50.

2. GEOFON: The Seismological Communication Processor (SeisComP) / <http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon/seiscomp/>

3. Д. А. Ильинский, И. М. Алёшин, С. С. Бургучев, В. Н. Корягин, К. И. Холодков, Я. Макрис, И. Папулия, А. Цамбас. Опыт создания портативной автономной сейсмологической станции. / Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, №1, с.52-67.

Специальные исследования для оценки деформационных процессов гидротехнических сооружений и объектов горной промышленности

А.Н. Демидкова (инж. лаб. 801 ИФЗ РАН, аспирант), К.Н. Константинов (м.н.с. ГоИ КНЦ РАН), И.В. Осика (вед.н.с. ЦБНН ОАО «НИИЭС», к.г.-м.н.)

Расширяющиеся масштабы освоения человеком природных ресурсов планеты привели к тому, что техногенные воздействия стали сопоставимы по величине с геологическими процессами. По различным оценкам, в результате хозяйственной деятельности человека ежегодно перемещаются десятки тысяч км³ вещества; протяжённость берегов искусственных водохранилищ составляет более 35 тыс. км; построено свыше 100 тыс. км железнодорожной сети; глубина освоения недр достигает нескольких километров. [3]

В настоящее время всё более возрастает роль превентивных мер, когда речь идёт о мониторинге особо опасных объектов. Проведение режимных наблюдений, к примеру, на гидроэнергетических сооружениях, начинается со стадий строительства и продолжается в течение всего срока эксплуатации гидроузлов. Как визуальные, так и инструментальные режимные наблюдения одной из целей ставят постоянный контроль соответствия наблюдаемых параметров критериальным значениям. Помимо обязательных, предусмотренных проектом видов наблюдений за различными параметрами природно-технических систем, как правило, на стадии эксплуатации сооружений привлекаются специальные методы исследований.

Данная работа посвящена оценке возможностей получения прецизионных данных о деформационных процессах в сооружениях гидротехнических объектов и объектов горнорудных предприятий. Также рассмотрены методологические вопросы организации и проведения режимных наблюдений на уникальных объектах неотектоники. Приведены результаты внедрения метода контроля деформаций, использующего наклонометры и деформографы с чувствительными системами из плавленого кварца. Объекты исследований - Загорская гидроаккумулирующая электростанция и Объединённый Кировский рудник ОАО «Апатит».

Опыт внедрения систем деформационного контроля показал свою результативность и зарекомендовал себя как надёжный источник прецизионных данных, которые могут использоваться для комплексных расчётов устойчивости, а также возможность их успешного применения, как на промышленных, так и на гражданских объектах [1,2,4,5].

Литература

1. Козырев А.А., Каган М.М., Константинов К.Н. Деформационные предвестники техногенного землетрясения на объединённом кировском руднике ОАО «Апатит» // Материалы международной конференции «Геодинамика и напряжённое состояние недр Земли». – Новосибирск. – 2011.
2. Кочетков Б.М., Молоденский С.М., Осика В.И., Осика И.В. Наклономерно-деформометрический мониторинг на гидроаккумулирующих электростанциях // Геориск. – 2009. - №1. – С.22-28.
3. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. – М.: Недра, 1988. – С.438-478.
4. Пашкин Е.М., Багмет А.Л., Осика В.И., Новак Ю.В., Сухов А.А. Мониторинг деформаций как основа безопасной эксплуатации зданий и сооружений. // Инженерная геология. – 2008. - №3. - С.40-50.
5. A.A.Kozyrev, A.V.Lovchikov, V.I.Osika, E.I.Popov. Monitoring of present crustal movements in the Lovozero massif by high- precision methods. Journ.of Geodynamics 10, 263-274 (1988).

Некоторые проблемы обработки и интерпретации данных спутниковой радарной интерферометрии на примере мониторинга оползневых процессов.

П.Н. Дмитриев (инж. лаб. 507), В.О. Михайлов (зав. лаб. 507), Ю.О. Кузьмин, В.И. Голубев (инж. лаб. 507), Е.А. Киселёва (с.н.с. лаб. 507), Е.И. Смольянинова (с.н.с. лаб. 507)

При оценке малых смещений земной поверхности, основанных на применении радаров с синтезированной апертурой (спутниковая РСА-интерферометрия или InSAR) часто происходит потеря корреляции сигнала, обусловленная низкой отражающей способностью объектов (особенно, природных), атмосферными условиями, наличием снега или густого растительного покрова и их динамикой во времени, изменением геометрических характеристик орбит при повторной съемке. Возникающее в этих случаях существенное преобладание шума над полезным сигналом не позволяет построить интерферограммы удовлетворительного качества.

Для преодоления этих проблем была разработана методика совместного анализа парных интерферограмм для серии спутниковых снимков с выделением некоторого набора пространственных областей или отдельных пикселей, для которых в дальнейшем проводится оценка временных серий смещений. Данная методика названа методикой устойчивых отражателей (Persistent Scatterers или PSInSAR) и реализована в программном комплексе StaMPS (А. Hooper).

В настоящем докладе представлен способ усовершенствования данной методики обработки спутниковых радарных снимков для определения смещений поверхности Земли в сложных условиях изрезанного рельефа и густой растительности, а также разработка способов интерпретации полученных результатов. Предложен способ выбора «области отсчёта» для случая отсутствия априорной информации о характере смещений поверхности. Разработана методика определения всех компонент вектора смещения с использованием данных с двух различных треков, применимая к оползням и ледникам.

С использованием снимков с восходящего и нисходящего треков ENVISAT предоставленных Европейским космическим агентством (ESA) в рамках проекта C1P № 7991, и математической модели движения оползня вдоль земной поверхности были получены оценки величины и направления скорости его движения.

Алгоритм выделения плотных областей DPS (Discrete Perfect Sets) и его геофизические приложения

М.Н.Добровольский (н.с. лаб. 1.5 ГЦ РАН, к.ф.-м.н.)

Полученные в рамках созданного в ГЦ РАН «Дискретного математического анализа» (ДМА) алгоритмы кластеризации основаны на формальном определении плотности многомерного массива данных в каждой своей точке. Такое формальное определение позволяет ввести строгие понятия сгущения, кластера и трассы. Задачу их поиска в рамках ДМА решают алгоритмы «Роден» [1-2], «Кристалл», «Монолит» [2] и DPS. Они выполняют топологическую фильтрацию данных, удаляющую из них несущественные части.

В работе представлен последний из созданных в рамках ДМА-кластеризации алгоритм DPS (Discrete Perfect Sets) и примеры его геофизических приложений.

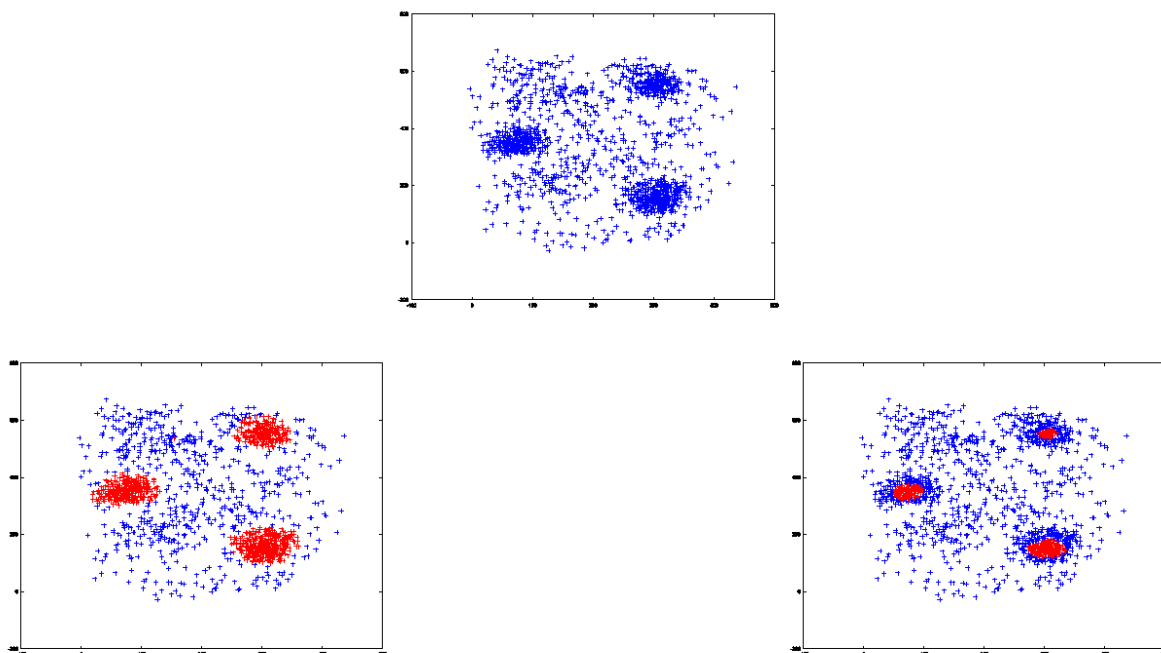


Рисунок 1. Пример работы алгоритма DPS.

На рисунке 1 приведен пример работы алгоритма DPS. Сверху исходный массив данных. Слева внизу результат работы алгоритма при уровне плотности равном 0,1. Справа внизу результат работы при большем уровне плотности равном 0,35.

Список литературы:

1. Гвишиани А.Д., Диаман М., Михайлов В.О., Гальдеано А., Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Граева Е.М. Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий // Физика Земли. 2002. №7. С. 13-28.
2. Гвишиани А.Д., Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Соловьев А.А. Дискретный математический анализ и геолого-геофизические приложения // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2010. №16. С.109-125.

К вопросу о минералогической устойчивости гетита в термодинамических условиях земной поверхности

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

Реакция дегидратации гетита $\alpha\text{-FeOOH} \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ относится к распространенному процессу образования гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в красноцветных осадочных образованиях. Однако кинетических исследований данного фазового перехода имеется все еще крайне недостаточно для получения ответа на вопросы, насколько растянут во времени этот процесс в природных условиях и как велика минералогическая устойчивость гетита. Между тем все это важно для практики палеомагнетизма, ибо спонтанная дегидратация $\alpha\text{-FeOOH}$ ведет не только к разрушению первичной естественной остаточной намагниченности (*NRM*), но и к возникновению новых ее составляющих химического генезиса (*CRM*). Понять динамику этих явлений невозможно без знания того, способен ли альфа-гидроксид железа сохраняться неопределенно долгое время или же он подвергается значительным изменениям на ранних стадиях своего существования.

В настоящей работе ставилась задача оценки минералогической устойчивости гетита на воздухе на основе анализа результатов лабораторного кинетического изучения реакции дегидратации данного соединения. В качестве объекта исследования была выбрана природная мономинеральная гетитовая фракция, представляющая собой плотные порошковые агрегаты, состоящие из частиц игольчатой формы, вытянутых вдоль кристаллографической *c*-оси кристалла.

Кинетика дегидратации исследовалась в атмосфере воздуха в изотермических условиях с помощью термогравиметрического и магнитометрического методов. В первом случае изучение кинетики проводилось по измерению убыли веса в ходе разложения исходной фракции в течение 24 часов при фиксированной температуре в диапазоне $T=200\text{--}270^\circ\text{C}$ (с интервалом $5\text{--}10^\circ\text{C}$). Во втором случае кинетика процесса исследовалась с помощью *in situ* измерения изменения со временем намагниченности насыщения $J_s(t)$ в постоянном магнитном поле 0.65 Тесла в ходе непрерывного в течение 312 часов нагрева образцов при заданной температуре в диапазоне $183\text{--}273^\circ\text{C}$ (с интервалом $4\text{--}25^\circ\text{C}$). Результаты обоих методов хорошо согласуются между собой: рассчитанные значения эффективной энергии активации фазового перехода гетита в гематит составили соответственно ~ 205 и ~ 201 кДж/моль. Временная экстраполяция магнитометрических кривых до значений J_s , соответствующих для искомым образцов полному переходу $\alpha\text{-FeOOH} \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, позволила оценить время t^* , необходимое для завершения фазового превращения в исследованном температурном интервале $T=198\text{--}273^\circ\text{C}$. Линейность полученной зависимости $\ln t^*(1/T)$ дала возможность ее экстраполяции на более низкие температуры, т.е. позволила выйти на моменты времени, не доступные для лабораторных экспериментов. Оказалось, что полная самопроизвольная гематизация изученной природной гетитовой фракции возможна за времена ~ 1 или ~ 10 млн. лет только при региональном прогреве вмещающей породы соответственно до температур ~ 85 и $\sim 73^\circ\text{C}$. В палеомагнитном аспекте это означает, что в древних гетит-содержащих осадочных образованиях закрепление естественной остаточной намагниченности *NRM* может быть обусловлено эффектами повторных процессов блокирования намагниченности, связанных с длительной (десятки миллионов лет) реализацией реакции дегидратации $2\alpha\text{-FeOOH} \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ в условиях земной поверхности. Иначе говоря, в этом случае процесс спонтанной дегидратации гетита в гематит может играть определенную роль в формировании вторичных разновозрастных компонент *NRM* в ходе гипергенеза.

Распределение вертикальных смещений земной коры в Каспийском регионе и изменение уровня Каспийского моря.

А.В. Дубовская (м.н.с. лаб. 104)

Проблема аномальных изменений уровня Каспийского моря до сих пор широко обсуждается. Колебания уровня моря связывают не только с физико- географическими, но и с геодинамическими процессами: сейсмической активностью и вековыми движения земной коры [1,2]. Модель напряженно-деформированного состояния коры позволяет оценивать связь вариаций ее деформации с изменением уровня моря.

Расчетная модель земной коры Каспийского региона [4] реализована в программном пакете FLAC3D 2.0 и содержит горный рельеф и батиметрию, характерные внутренние границы – кровлю консолидированной коры и поверхность Мохоровичича. Модель нагружается силами собственного веса и горизонтальными тектоническими усилиями, порождаемыми движениями тектонических плит, согласно стандартной модели распределения скоростей движения плит NNR-NUVEL.

Результаты расчета на данной модели показывают, что скорость накопления деформации в регионе в среднем составляет порядка 2.5×10^{-6} в год (Рис.1). За 50 лет регион получит приращение деформации в среднем на величину порядка 10^{-4} и при условии неизменности объема воды уровень Каспийского моря повысится примерно на 1.8 м.

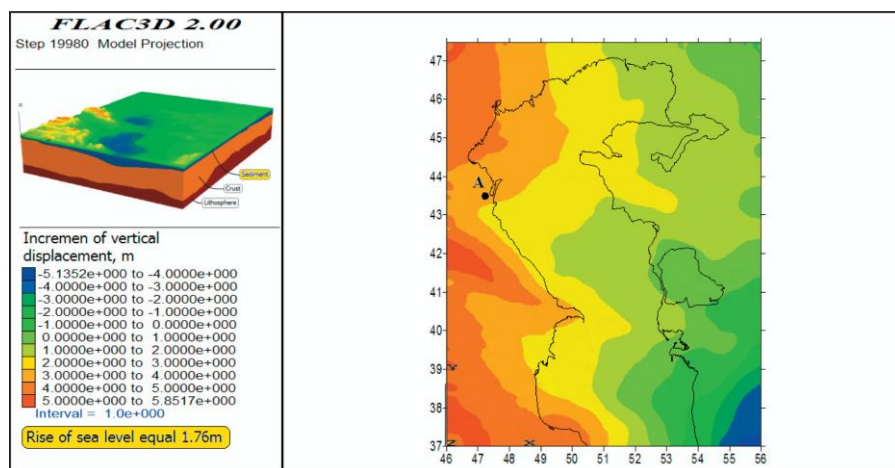


Рис.1 Распределение вертикальных смещений в регионе при приращении деформации на 10^{-4}

Такая скорость накопления деформаций находится в согласии с деформографическими измерениями в обсерватории «Тбилиси» [3], которые показывают скорость накопления деформации в регионе порядка 4×10^{-6} в год.

С другой стороны, скорость деформации порядка 10^{-6} в год противоречит зарегистрированной скорости движения плит.

Уровень деформаций, который вытекает из модели распределения скоростей движения плит NNR-NUVEL, приводит к выводу, что скорость накопления деформации должна быть равна 4×10^{-8} в год. При такой скорости для изменения уровня Каспийского моря на 2 м потребуется уже 5000 лет.

Расхождение скоростей на два порядка говорит о резкой неоднородности в распределении механических свойств среды, что может быть связано интенсивным развитием разломной тектоники в регионе.

Литература

1. Иванова Т.П., Трифонов В.Г. Сейсмотектоника и современные колебания уровня Каспийского моря // Геотектоника. 2002. № 2. С. 27-42.
2. Касьянова Н.А. Влияние современных геодинамических процессов на уровенный режим Каспийского моря// БМОИП, отдел геолог. 2001г. Т76
3. Латынина Л.А., Кармалеева Р.М. Деформографические измерения. М., «Наука», 1978
4. Garagash I.A., Dubovskaya A.V. Numerical modeling of stress-strain state of the earth's crust of the Caspian region // Proceedings of the First International FLAC/DEM Symposium. – 2008.

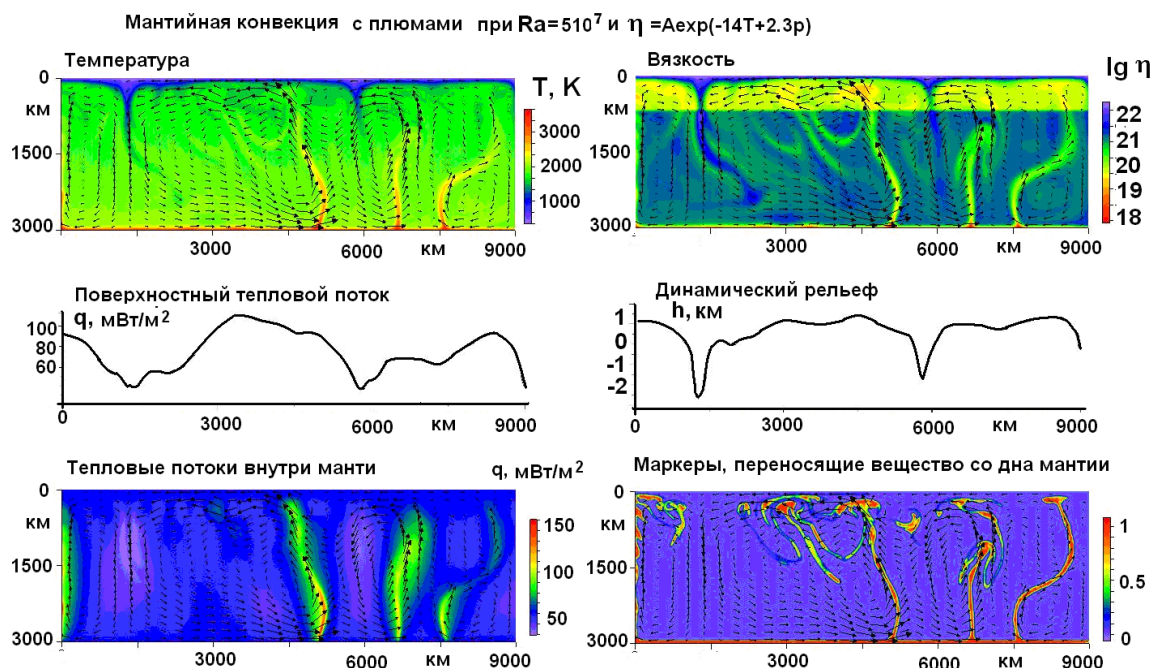
Доклад устный
М.Н. Евсеев (рук В.П. Трубицын)
Численные модели мантийных плюмов

В работе на численных моделях тепловой конвекции проведено детальное исследование процесса возникновения и подъема в мантии системы плюмов.

1) В литературе имеется много высказываний о необходимости дополнительных процессов для возникновения плюмов. В работе показано, что плюмы являются фундаментальным свойством интенсивной тепловой конвекции, и они неизбежно образуются при тепловой конвекции самопроизвольно без привлечения какие-либо других процессов. Рассчитанные модели мантийной конвекции показывают, что плюмы возникают даже в простейшей модели тепловой конвекции с постоянной вязкостью. При параметрах современной Земли ($Ra=5 \cdot 10^7$) толщины ножек плюмов имеют порядок 100км, а шляпки в несколько раз больше. При подходе к поверхности плюмы могут значительно растекаться. Время жизни мантийной струи в данном локальном месте имеет порядок 100млн. лет. Время подъема плюмов составляет порядка 10-20 млн. лет.

2) В литературе часто делаются высказывания о том, что плюмы могут проходить сквозь основные горизонтальные течения мантийной конвекции, не меняя существенно их структуру [1]. Проведенные численные эксперименты показывают, что по мере прохождения плюма в данном локальном месте структура мантийных течений кардинально меняется. Вместо прежних течений возникают течения, скорость которых является равнодействующей векторов скоростей составляющих.

3) Исследовано влияние на эволюцию плюмов переменной вязкости, внутренних источников тепла, фазовых переходов со скачками вязкости, химических примесей, влияние адиабатического нагрева и диссипации. На рис. 1 представлена одна из рассчитанных моделей мантийной конвекции. Возникающие на дне мантии плюмы видны в распределении температуры, вязкости и теплового потока и особенно четко прослеживаются маркерами вещества, переносящими вещество со дна мантии. Поскольку плюмы растекаются на подошве литосферы, то на поверхности они более проявляются в распределении теплового потока, а в рельефе более видны зоны субдукции.



Литература

1. Schubert G., Turcotte D.L., Olson P. Mantle Convection in the Earth and Planets. Cambridge Univ. Press. 2001. p. 940.

Палеомагнетизм гранитоидов Ангаро-Витимского батолита и тектоническое положение Сибирской платформы в пермское время.

И.В. Федюкин (МГУ им. М.В. Ломоносова)

В отношении палеомагнетизма поздний палеозой Сибирской платформы является белым пятном на общем фоне полученных на сегодняшний день данных. При этом соответствующие палеомагнитные данные необходимы для разработки КМП Сибири, оценки её палеогеографии и места в системе глобальных палеореконструкций для позднего палеозоя. В частности для восстановления относительных движений Сибири и Балтики в ходе амальгамации суперконтинента Пангея. Целью данной работы является получение надежных данных для позднего палеозоя Сибирской платформы.

Основным объектом настоящего исследования является позднепалеозойский Ангаро-Витимский батолит (АВБ). Возраст АВБ хорошо определен (U-Pb 294+/-6 млн. лет). Изучаемая территория расположена в северной части Байкало-Патомской складчатой области, а именно на Патомской пассивной окраине и Байкало-Муйской зоне. Где наложенные тектонические процессы наименее проявлены.

В ходе детальной термомагнитной чистки было выявлено присутствие высокотемпературной характеристической компоненты намагниченности. Эта компонента присутствует в образцах как наиболее стабильная. Основным минералом – носителем намагниченности является магнетит, при подчиненном содержании гематита и маггемита (магнитная модификация окиси железа $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, переходная от магнетита к гематиту). Присутствие гематита и маггемита в гранитах, по-видимому, связано с повышенной активностью летучего кислорода при формировании данных пород. Направление вектора остаточной намагниченности показывает высокую стабильность на всем интервале размагничивания (от 120°C до 640°C) и характеризуется северными склонениями и крутыми отрицательными наклонениями.

В пользу первичной термоостаточной природы намагниченности гранитоидов АВБ могут указывать два факта: 1) отличие рассчитанного направления от известных мезокайнозойских направлений Сибири, 2) положительный «тест обжига» (региональное перемагничивание более древних пород патомской пассивной окраины). Параметры полюса: Plat 36.9, Plong 124.4, A95 6.4, K 15.8, N 34.

На основе полученных данных можно утверждать, что в раннепермское время Сибирская платформа располагалась в северном полушарии, на широтах, близких к современным (между 48 и 72°с.ш.), и при этом была развернута на ~160° против часовой стрелки, таким образом, что ее современная «алданская» окраина была обращена к северу.

С учетом данных по Балтике [1] в начале перми СВ окраина Балтики и СЗ окраина Сибири приняли свое относительное положение близкое к современному - Пангейскому. Закрывание Палеоуральского океана происходило за счет разворота Сибири по часовой стрелке при соответствующем сближении ЮВ и ЮЗ окраин платформ (по типу ножницы).

Литература:

1. Torsvik Trond H., Cocks Robin M. Norway in space and time: A centennial cavalcade. Norwegian Journal of Geology, Vol. 85, 2005, pp. 73-86.

Электрические характеристики пограничного слоя атмосферы в условиях конвекции

С. В. Галиченко (н.с. лаб. ОБ-3 ГО “Борок” ИФЗ РАН),

С. В. Анисимов (зав. лаб. ОБ-3 ГО “Борок” ИФЗ РАН, д.ф.-м.н.)

Атмосферный пограничный слой (АПС) является электродинамически активной средой, которой свойственны процессы, определяющие пространственно-временную вариабельность приземных аэроэлектрических характеристик. Необходимость изучения электрических процессов в АПС диктуется развитием моделей ключевых механизмов, лежащих в основе работы глобальной электрической цепи (ГЭЦ). Основными проблемами формирования ГЭЦ остаются баланс атмосферных электрических токов и эволюция высотных профилей полярных электрических проводимостей и объемных зарядов [1,4]. Ранее предпринимались попытки количественной оценки вклада конвективного токового генератора в глобальный электрический ток. Обычно задача решалась в диффузионном приближении или при использовании моделей пограничного слоя с замыканием второго порядка [5,6].

На основе уравнений кинетики легких атмосферных ионов в присутствии аэрозолей [2], рассматриваемых в лагранжевых координатах, в работе получено модельное описание турбулентного транспорта объемного электрического заряда, вариаций электрической проводимости и аэроэлектрического поля в нестационарном конвективном АПС. Для лагранжевой модели используются измеренные и параметризованные высотные профили статистических характеристик турбулентности [3]. Исследовано влияние генерации аэрозолей на аккумуляцию объемного электрического заряда и перераспределение токов проводимости и конвекции. Проведенные расчеты показывают, что крупномасштабным конвективным движениям соответствуют когерентные структуры аэроэлектрического поля.

Литература

1. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли. 2008. № 8. С. 8-18.
2. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. 1992. С.-П.: Гидрометеиздат. 312 с.
3. Bærentsen, J.H., and R. Berkowicz. Monte Carlo simulation of plume dispersion in the convective boundary layer // Cambridge Atmos. Environ. 1984. 18. P. 701-712.
4. Hoppel, W.A., R.V. Anderson and J.C. Willet. Atmospheric Electricity in the Planetary Boundary Layer, in: The Earth's Electrical Environment, Krider, E.P. and Roble, R.G., Washington: Natl. Acad. Press. 1986. 1. P. 149–165.
5. Morozov V.N. The influence of convective current generator on the global current // Nonlin Processes Geophys. 2006. 13. P. 243-246.
6. Willet J.C. Fair weather electric charge transfer by convection in an unstable planetary boundary layer // J. Geophys. Res. 1979. 2. P. 703-718.

Применение данных спутниковой радарной интерферометрии для наблюдения смещений земной поверхности на территории Ромашкинского месторождения.

В.И. Голубев (инж. лаб. 507), П.Н. Дмитриев (инж. лаб. 507), В.О. Михайлов (зав. лаб. 507), Ю.О. Кузьмин (зав. лаб 309), Е.А. Киселёва (с.н.с. лаб. 507), Е.И. Смольянинова (с.н.с. лаб. 507), С.А. Хайретдинов (нс, лаб 507)

В последние годы все более широкое распространение получают методы оценки малых смещений земной поверхности, основанные на применении радаров с синтезированной апертурой (спутниковая РСА-интерферометрия или InSAR). Одним из передовых исследовательских пакетов, предназначенных для обработки серии спутниковых снимков с целью повышения точности определения смещений, является StaMPS (А.Ноорер). Он был использован авторами доклада для оценки смещений земной поверхности на территории Ромашкинского месторождения.

Ромашкинское нефтяное месторождение находится в центральной части Восточно-Европейской платформы. Длительный непрерывный процесс разработки приводит к движениям земной поверхности и техногенной индуцированной сейсмичности. В середине 80х годов был начат сейсмологический мониторинг, и в 1991 были созданы профили повторных нивелировок. Измерения на региональных профилях были выполнены в 1992 – 1993 и на протяжении 2001 – 2006. Измерения на локальных профилях были проведены в 1992, 1993, 1995, 1996, и 1998 – 2006 годах.

Мы использовали снимки со спутников ERS и ENVISAT, для окрестности г. Альметьевска, предоставленные Европейским космическим агентством ESA в рамках проекта С1Р 9664. Эти снимки покрывают периоды 1992 – 1995 и 2003 – 2009 и позволяют проводить совместный анализ смещений, полученных по спутниковым и наземным данным. Поля смещений имеют достаточно сложную, как временную, так и пространственную структуру, что вызвано непрерывной добычей нефти и закачкой вытесняющей жидкости в пласт. Сравнение наземных и спутниковых данных довольно сложно, так как данные повторных нивелировок несут информацию о вертикальных смещениях реперов, которые также могли двигаться и в горизонтальном направлении, тогда как спутниковые данные предоставляют информацию о проекции полного вектора смещений на направление на спутник в точках нахождения устойчивых отражателей. В докладе обсуждается теория и результаты применения метода расчета вертикальных смещений по смещениям в направлении на спутник для областей разработки нефтяных и газовых месторождений, основанного на математическом моделировании процесса разработки.

Тектоника доальпийского основания Передового хребта Большого Кавказа: новые данные и проблемы

В.А.Камзолкин (инж.лаб. 106), М.Л.Сомин (гл.н.сопр. лаб.106), И.В. Фокин (инж. лаб.205)

Анализ структуры глубоких горизонтов земной коры имеет особое значение для понимания происхождения складчатых поясов. Эту проблему можно рассмотреть на примере доальпийского основания Большого Кавказа. Еще недавно оно интерпретировалось так: существует протерозойский метаморфический фундамент, в который вложены грабен-синклинальные прогибы, выполненные вулканогенно-осадочными островодужными толщами среднего палеозоя и офиолитами. Главным прогибом считалась структура Передового хребта (ПХ). К настоящему времени выяснилось, что офиолиты и другие комплексы верхней части разреза этой области являются аллохтонными пластинами. В нашу задачу входило решить, какое положение относительно метаморфических толщ занимают островодужные серии девона-нижнего карбона, наиболее распространенные в ПХ. С этой целью мы сравнили особенности состава, структуры и метаморфизма этих двух комплексов. Результаты следующие. Установлено, что гранитно-метаморфический комплекс, или кристаллиникум, состоит из ортогнейсов, парагнейсов, метапелитов, амфиболитов и метаультрабазитов. Особое значение имеет присутствие в разрезе эклогитов. Их положение было не вполне ясным. Наши наблюдения показали, что эклогиты - это часть нормального (когерентного) разреза. Более того, установлено, что в кислых гнейсах имеется типичный для высобарных пород омфациит, а белая слюда везде представлена фенгитом. Поэтому сейчас можно считать доказанным, что весь кристаллиникум ПХ относится к категории субдукционных комплексов с $P \geq 16$ кб при $T \geq 600^\circ\text{C}$. В то же время залегающие выше девонские вулканиты метаморфизованы при $T = 300^\circ\text{C}$ и ниже и при низких давлениях. Эти комплексы разделяет резкая геологическая граница, вдоль которой в верхней части кристаллиникума прослеживается полоса милонитов. Литологически это абсолютно разные комплексы, по ряду признаков не имеющие геологических связей. Возникает вопрос, является ли вообще кристаллиникум фундаментом вулканогенных толщ? По результатам изотопного датирования пород кристаллиникума возраст завершения метаморфизма соответствует $C_1\text{-PZ}_3^1$, а возраст протолита – D- C_1 . Другими словами, возраст пород кристаллиникума практически такой же, как островодужных толщ. Это значит, что данные комплексы испытали полное тектоническое совмещение при горизонтальных перемещениях. При этом важной проблемой является установление местоположения корневой зоны островодужного аллохтона и офиолитов. В нашем видении ей соответствует лабинский комплекс Главного хребта, обладающий сходным составом и возрастом отложений.

Главный результат наших работ состоит в выделении нового типа комплексов, которые мы называем комплексами псевдофундамента. Их наличие указывает на гораздо более сложную структуру глубоких горизонтов складчатых систем и возможность серьезных ошибок при интерпретации результатов бурения и геофизических исследований, когда обнаружение глубокометаморфизованных пород под слабо измененными однозначно воспринимается как встреча с фундаментом.

Аппаратура для активного геоэлектрического мониторинга с применением локальных измерителей тока.

П.А.Казначеев (инженер-исследователь лаб. 306)

Изменение напряжённо-деформированного состояния приповерхностного слоя земной коры может приводить к катастрофическим природным явлениям (оползни, провалы, трещины). Для прогнозирования подобных природных явлений необходимо уметь находить и отслеживать соответствующие признаки. Существуют различные методы зондирования приповерхностного слоя земной коры с целью контроля и прогнозирования опасных геодинамических событий. Одним из методов является метод активного геоэлектрического мониторинга. В данном методе используется комплекс аппаратуры, состоящей из генерирующей и приёмной части.

На рисунке 1 приведена схема установки активного геоэлектрического мониторинга. Генерирующая часть комплекса аппаратуры состоит из генератора импульсов тока ГИТ, выводы которого подключены к излучающим электродам А и В, и источника питания для ГИТ от сети переменного тока 220 В (на рисунке не показан). ГИТ создаёт импульсы тока амплитудой 0.2 А, коэффициентом заполнения 0.5 и частотой следования 73 Гц. Приёмная часть состоит из двух локальных измерителей тока ЛИТ, расположенных симметрично около электрода А, и АЦП (на рисунке не показан), преобразующем сигнал с ЛИТ к цифровому виду для дальнейшей обработки.

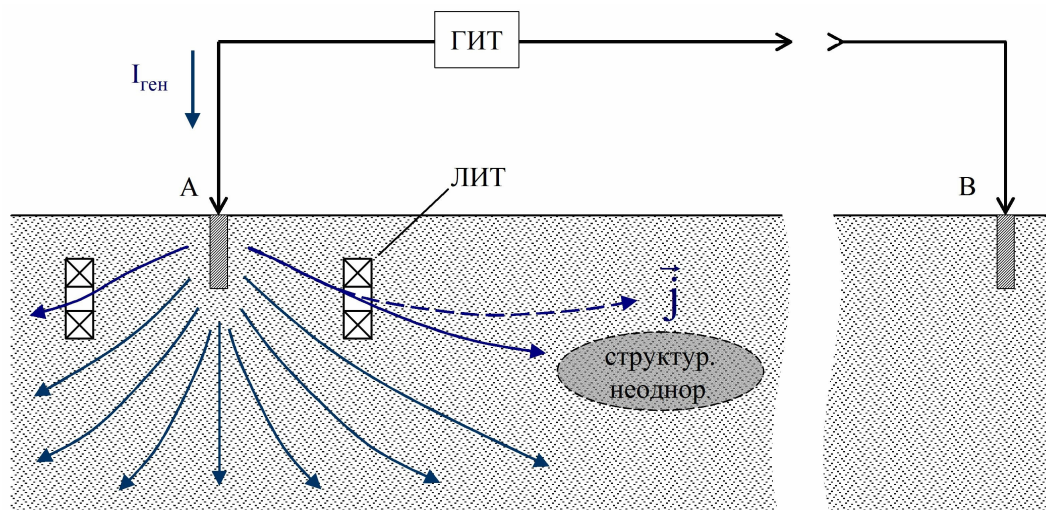


Рисунок 1 – Схема установки геоэлектрического мониторинга.

На рисунке 1 около электрода А условно показаны линии тока электрического поля, создаваемого ГИТ. При появлении некоторой структурной неоднородности в среде картина токовых линий искажается, что показано на рисунке пунктиром. Возникает проблема исследования «миграции токовых линий» (МТЛ). В данной схеме вместо традиционного способа измерения параметров электрического поля в среде при помощи электродных пар [1] предлагается использовать ЛИТ. В то время как электродные пары измеряют интегральный параметр - разность потенциалов между двумя разнесенными точками -, с помощью ЛИТ локально измеряются составляющие вектора плотности тока. Использование двух ЛИТ, как показано на схеме, даёт возможность выделить полезный сигнал на фоне скалярных изменений электрических параметров среды из-за вариаций температуры и влажности.

Список литературы

1. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986.

Грид-приложение «ИНВЕРСИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ»

Холодков К. И. (АСП. СЕКТ. 508)

Цель работы – создание грид-приложения, реализующего решение некоторого класса нелинейных обратных задач. Метод решения основан на использовании вероятностного подхода и формализма апостериорной функции распределения вероятности (АПФР). В этом подходе вводятся функции, называемая АПФР, пропорциональная логарифму целевой функции (расстояние между данными наблюдений и результатом синтетического расчета для выбранной модели). При этом предполагается, что максимум АПФР достигается в точке, соответствующей модели, которая наиболее адекватно описывает данные наблюдений, а форма максимума позволяет оценить точность определения параметров. В такой формулировке задача сводится к табулированию функции многих переменных, которое может быть выполнено простым перебором. Однако объем вычислений катастрофически растет с увеличением размерности пространства моделей – числа независимых параметров. [2] Использование распределенных вычислений позволяет существенно расширить круг задач, допускающих точное решение задач такого класса. Так как расчет значений АПФР для разных точек пространства моделей выполняется независимо, то в такой постановке задача идеально подходит для использования распределенных слабо связанных вычислительных систем. Организация вычислений в грид-системах требует специальных навыков. Поэтому для широкого использования распределенных вычислений при решении геофизических задач целесообразно создать сервис, который позволит скрыть технические детали запуска задачи на грид-инфраструктуре, а также окажется полезным при анализе полученных результатов.

В качестве тестового примера используется задача определения сейсмической анизотропии мантии Земли по волновым формам объемных волн. [1] Запуск задачи осуществлялся на узлах европейской грид-инфраструктуры EGEE с использованием инструментария MaWo и на собственной инфраструктуре на основе инструментария Globus Toolkit.

ССЫЛКИ:

1. И. М. Алёшин Д. Ю. Применение распределенных вычислительных систем при определении параметров сейсмической анизотропии коры и верхней мантии // ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. - Москва : [s.n.], 2009. - 4 : Вып. 10. - УДК 550.340.
2. Tarantola A. Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation. - [s.l.] : SIAM, 2005.

Моделирование волновых полей в упруго-вязкой Земле.

Д.С. Кравцов (вед. инж. лаб. 303, аспирант), И.В. Лукьянов (н.с. лаб. 303),
В.Ю. Бурмин (д.ф.-м. н., зав. лаб. 303)

Исследование распространения волн в неоднородном шаре в рамках модели Больцмана с упругим последствием сводится к решению системы динамических уравнений с объемными силами в сферической системе координат ($0 \leq r \leq a$, $0 \leq \theta \leq \pi$, $0 < \varphi \leq 2\pi$):

$$(\lambda + 2M)\text{grad div} U - M \text{rot rot} U + \text{div} M \text{grad} \lambda + 2(\text{grad} M E) + \rho F = \rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

с начальными $U = \frac{\partial U}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$ и граничными условиями $\sigma_{rr} = \sigma_{\theta r} = \sigma_{\varphi r} = 0 \Big|_{r=a}$ [2].

Данная задача решалась для вращательного воздействия в виде момента сил. При этом в среде возникают только волны *SH*. Алгоритм решения состоял в разделении переменных θ , t и численном решении полученной двухпараметрической краевой задачи [2]. Краевая задача решается конечно-разностным методом и в итоге сводится к системе линейных матричных алгебраических уравнений, решение которой осуществляется методом прогонки. Производные аппроксимировались со вторым порядком точности. Преимущество данного подхода по сравнению с существующими методами (матричными и сеточными) заключается в более высокой точности и существенно меньших затратах машинного времени для пространственно-временных масштабов характерных для Земли, что позволяет во многих случаях проводить расчеты на «обычных» компьютерах. Результаты моделирования приведены на рис. 1. Для численного эксперимента была использована модель мантии Земли из [1].

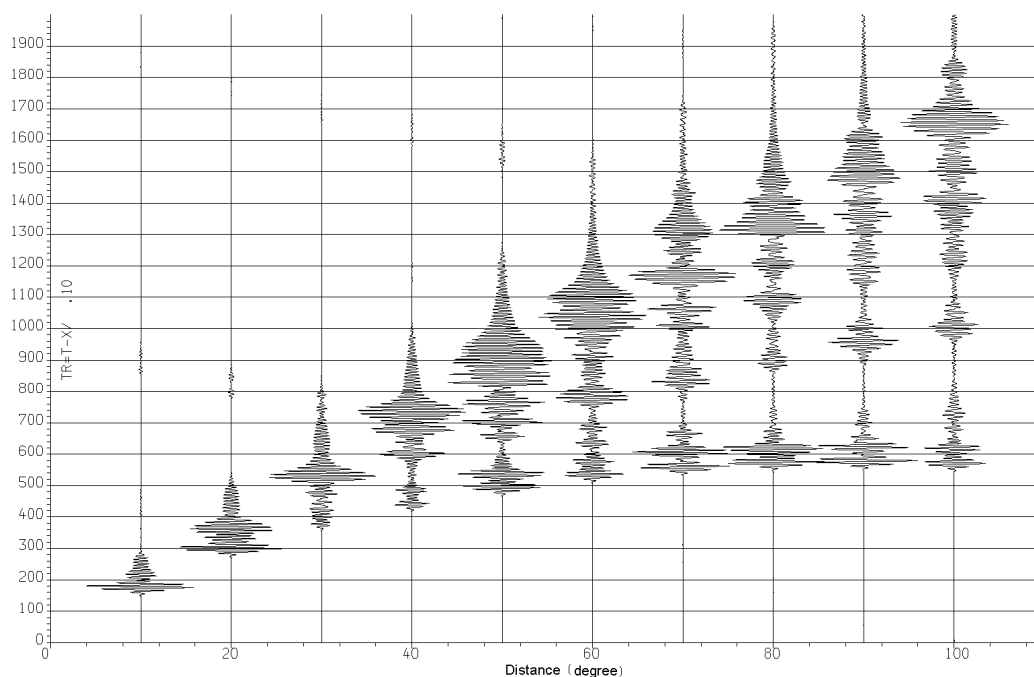


Рис.1. Монтаж синтетических сейсмограмм, полученный в результате моделирования (источник на глубине 100 км, частота 0,1 Гц)

Литература.

1. Бурмин В.Ю. Скорость распространения продольных сейсмических волн в мантии Земли // Физика Земли 2004. № 8. С. 34-40.
2. Фатьянов А.Г. Численное моделирование волновых полей в неоднородном неупругом шаре – Препринт. 337. Выч. Центр. Новосибирск. 1981. 21 с.

Суммирование записей ядерных взрывов зарегистрированных мировой сетью сейсмических станций

Д.С. Кравцов (вед. инж. лаб. 303, аспирант), В.Ю. Бурмин (д.ф.-м. н., зав. лаб. 303)

В докладе приведены методика и результаты суммирования сейсмограмм ядерных взрывов, которые были зарегистрированы мировой сетью сейсмических станций в период с 1980 по 1988 гг. Суммирование сейсмограмм, полученных на одной сейсмической станции, от источников расположенных в одном и том же месте, позволяет существенно повысить отношение полезного сигнала к шуму. Это, в свою очередь, позволяет более уверенно проводить корреляцию различных сейсмических волн, приходящих на сейсмические станции после первых вступлений, в частности, обменных и отраженных волн от различных границ в недрах Земли.

Проблема построения сейсмических моделей земной коры, мантии и ядра до настоящего времени является актуальной в изучении строения Земли. Для решения этой задачи, как правило, используются сейсмические волны, распространяющиеся от взрывов и землетрясений. Использование записей сейсмических волн от взрывов позволяет строить скоростные сейсмические разрезы для изучения строения Земли более надежно, чем по записям от землетрясений. Причина этому, очевидная: в случае взрывов мы точно знаем положение и время взрыва. В случае землетрясения, координаты гипоцентра и время в очаге известны с погрешностями и зачастую не малы. Недостатком химических взрывов является их относительно маленькая мощность. Например, при работах методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) наибольшая их мощность достигает не более нескольких тонн в тротиловом эквиваленте (см., например, [1]). Значительную мощность, как правило, имеют промышленные взрывы (до 500 тонн) но, это всегда «сухие», рассредоточенные взрывы, большая часть энергии которых идет на разрушение горной породы и поэтому их мощность недостаточна для исследования глубоких недр Земли. Мощность взрывов при ядерных испытаниях (в основном в СССР и США) составляет десятки и сотни килотонн в тротиловом эквиваленте, а некоторые из них подобны землетрясениям с магнитудой 6.5, что позволяет использовать их для изучения самых глубоких недр Земли.

Кроме этого, большим преимуществом ядерных взрывов проводимых при испытаниях является, то, что они происходят практически в одних и тех же местах. Это обстоятельство позволяет проводить суммирование сейсмограмм полученных на одних и тех же сейсмических станциях, что приводит к существенному повышению отношения полезного сигнала к сейсмическому шуму. Наглядным примером применения такой процедуры может служить суммирование сейсмических сигналов по данным лунного сейсмического эксперимента «Аполлон» (см., например, [2]).

Литература

1. Глубинное сейсмическое зондирование литосферы на Анголо-Бразильском геотраверсе / Под ред. *Зверева С.М., Косминской И.П., Тулиной Ю.В.* М.: НГК РАН, 1996. 148 с.
2. *Weber R.C., Lin Pei-Ying, Garnero E.J., Williams Q., Lognonne P.* Seismic Detection of the Lunar Core // www.sciencexpress.org / 6 January 2011 / Page 1 / 10.1126/science.1199375

Проявление особенностей излучения и распространения сейсмических волн на Северном Кавказе в кода-волнах региональных землетрясений

(С.Д. Кромский, О.В. Павленко)

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

В настоящей работе по записям ~40 землетрясений ($M_W > 3.9$), зарегистрированных сейсмостанцией «Анапа» (ANN) с 2002 г. по настоящее время, происшедших в радиусе ~300 км от сейсмостанции, получены очаговые спектры кавказских землетрясений и оценки добротности земной коры и верхней мантии на Северном Кавказе в функции частоты $Q(f)$ для поперечных волн на частотах до ~8 Гц. Использовались методы анализа кода-волн региональных землетрясений, развитые в работе [Aki, Chouet, 1975], позволяющие разделить эффекты источника и эффекты пути распространения сейсмических волн в предположении независимости спектров кода-волн от эпицентрального расстояния и от деталей пути распространения волн от источника до станции.

Очаговые спектры и функции добротности среды получены для групп событий с эпицентральными расстояниями до ~116 км и больше ~116 км. Геометрическое расхождение описывалось функциями, зависящими от расстояния как $\sim 1/r$, либо как $\sim 1/r^{1/2}$. Для двух моделей геометрического расхождения получены оценки добротности: $Q = 105 * f^{0.65}$ ($a=1$), $Q = 75 * f^{0.7}$ ($a=0.5$) для эпицентральных расстояний до 116 км, и $Q = 115 * f^{0.95}$ ($a=1$), $Q = 90 * f^1$ ($a=0.5$) для эпицентральных расстояний свыше 116 км.

Региональные очаговые спектры оказались близки к очаговым спектрам землетрясений Центральной Японии, что вероятно можно объяснить схожим тектоническим строением этих двух регионов. Полученные комбинации эффектов пути распространения, $Q(f)$ и геометрического расхождения, могут быть использованы для прогноза параметров сильных движений на Северном Кавказе.

Литература

1. Аки К., Ричардс П. «Количественная сейсмология» 1983 № 1,2
2. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Моделирование связи балл - магнитуа- расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге// Вулкан. и сейсм. 1999. № 4-5. с.29-40.
3. Павленко О.В., Характеристики поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии северо-западной части Кавказа // Физика Земли. 2008. № 6. С. 52-60.
4. Павленко О.В., Изучение региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на северном Кавказе посредством моделирования акселерограмм // Физика Земли. 2009. № 10. С. 38-48.
5. Aki K., Chouet, B. Origin of the coda waves: source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. 1975. V.80. P.3322–3342.
6. Aki K. Attenuation of shear-waves in the lithosphere for frequencies from 0.05 to 25 Hz // Phys. Earth Planet. Interiors. 1980. V.21. P.50-60.
7. Aki K. Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere // J. Geophys. Res. 1980. V.85. P.6496-6504.
8. Aki K. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves // J. Geophys. Res. 1969. V.74, P.615–631.
9. Aki K. Source and scattering effects on the spectra of small local earthquakes // Bull. Seismol. Soc. Am. 1981.V.71. P.1687–1700.
10. Boore D. Simulation of Ground Motion Using Stochastic Method PAGEOPH 2003 160,635-676.
11. Jin A., Aki K. Spatial and temporal correlation between coda Q and seismicity in China // Bull. Seismol. Soc. Am. 1988.V.78. P.741–769.
12. Kvamme, L. B. and Havskov, J. Q in Southern Norway // Bull. Seism. Soc. Am. 1989. V.79. P.1575-1588.
13. Lee, Won Sang. Q estimates using the coda waves in the Kyeongsang Basin. February 1999.
14. Rautian, T. G. and Khalturin, V. I. The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum // Bull. Seism. Soc. 1978. Vol.60 -68, P.923-943.
15. Steck, L. K., Prothero, W. A., and Scheimer, J. Site-dependent Coda Q at mono craters, California // Bull. Seism. Soc. Am. 1989. V.79., P.1559-1574.

ВЕРОЯТНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ

Для повышения точности результатов алгоритма КОЗ (Карта ожидаемых землетрясений) были проведены расчеты вероятности возникновения землетрясения в течение времени ожидания. В работе показано, что возникновение сильных землетрясений ($M_{\text{пр}} \geq 5.5$, $K_{\text{пр}} \geq 13.5$) не равновероятно на всем интервале времени ожидания. Оказалось, что возникновение сильных землетрясений наиболее вероятно в первые год-два после появления предвестника. Практически для всех использованных в работе предвестников вероятность события в первый год составляет 25%, а в первые 5 лет – более 70% (рис. 4). Результаты данной работы позволяют оценить условную вероятность сильного землетрясения для каждого годичного интервала, что увеличит точность прогноза времени будущего землетрясения.

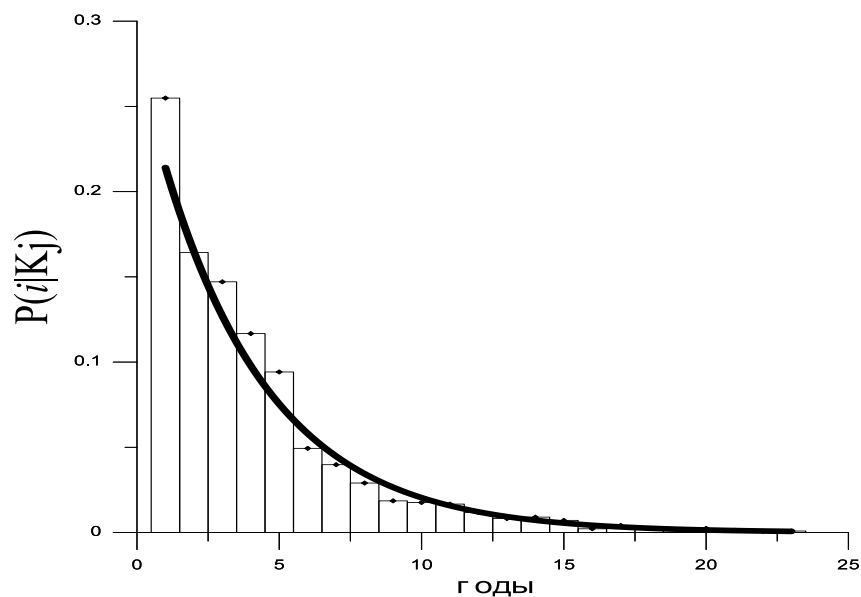


Рис.4. Суммарная гистограмма распределения вероятности по времени ожидания для всех регионов и всех рассмотренных предвестников.

Палеосейсмологические исследования древних и современных землетрясений югоосетинского сектора Большого Кавказа.

А.С. Ларьков (инженер лаб. 900, аспирант).

В 2009-2010 г. в связи с произошедшим на севере Грузии землетрясением 7 сентября 2009 года с магнитудой около 6.0 сотрудниками сейсмотектонического отряда ИФЗ РАН проводились исследования, носившие в основном палеосейсмогеологическую направленность. Актуальность таких работ в регионе определяется высокой степенью сейсмической опасности и необходимостью в ее уточнении и дифференциации с позиций детального подхода.

Целью проводимых исследований является изучение и датирование следов древних сейсмических катастроф. Конечным итогом работы в этом направлении является восстановление сейсмической истории данной сейсмотектонической провинции.

В основу исследований положен палеосейсмогеологический подход, основанный на том, что сильнейшие землетрясения далекого прошлого оставляют на поверхности следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962]. Помимо этого применялись методы структурно-геоморфологического, историко-структурного и структурно-формационного анализа, а также сопоставления проявлений сейсмичности с геолого-геофизическими данными о глубинном строении земной коры [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962, 1973; Рогожин и др., 1995; Рогожин, 2000; Несмеянов, 2004 и др.]. С применением данных подходов были изучены вторичные палеосейсмодислокации (в основном гравитационного типа – оползни, обвалы, каменные лавины в различных их модификациях; а так же бессточные котловины и т.п.). Собранные данные и полученные датировки позволили провести анализ сейсмических событий, произошедших в данном регионе как в 2009 и 1991 годах, так и о более древних.

Согласно региональным сейсмическим каталогам информация об исторических землетрясениях сопоставимой энергии вблизи очага Рача-Джавского землетрясения 1991 года отсутствует, в связи с чем сделано предположение, что период повторяемости для таких землетрясений здесь превышает 1000 лет [Арефьев, 2003]. Согласно полученным данным наиболее вероятный возраст предыдущего сильного землетрясения в Рача-Джавской зоне (т.е. до 1991 г.) – 1500-2500 (около 2000) лет назад. Еще одно, более древнее событие произошло около 6000 лет назад. Период повторяемости сильных землетрясений, подобных катастрофе 1991 г., таким образом, составляет 2000-3000 лет.

Литература:

1. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: Академкнига, 2003. 375 с.
2. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2004. 780 с.
3. А.Н. Овсяченко, А.В. Мараханов, С.С. Новиков, А.С. Ларьков. Особенности сейсмотектоники и древние землетрясения Южной Осетии // Вестник Владикавказского научного центра. 2011, № 3, № 4.
4. Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия. // Российский журнал наук о Земле. 2000, № 1, Т. 2. с. 37-62.
5. Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Богачкин Б.М. и др. Комплексный анализ геологических и сейсмологических данных и сейсмотектоническое представление об очаге Рачинского землетрясения // Физика Земли, 1993, № 3. с. 70-77.
6. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. с. 3-16.
7. Флоренсов Н.А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области. // Геология и геофизика, 1960, № 1. с. 74-90.

Результаты палеомагнитных исследований траппов юга Тунгусской синеклизы (р. Ангара): свидетельство интенсивной магматической активности

А.В. Латышев (лаб. 105, вед. инж.), Р.В. Веселовский, А.М. Фетисова, В.Э. Павлов

В бассейне р. Ангара траппы Сибирской провинции представлены базальтовыми туфами верхнепермской капаевской свиты, отражающими начальные этапы пермо-триасовой магматической активности на Сибирской платформе. Туфы прорваны дайками и силлами долеритов. Также в этом районе обнажаются долеритовые силлы мощностью до 100 м, распространенные по периферии траппового поля и прорывающие палеозойские осадочные толщи.

Детальным палеомагнитным исследованиям подверглись образцы долеритовых силлов и даек, базальтовых туфов и литокластов долеритов из туфовой толщи, а также вмещающие осадочные породы палеозоя. В общей сложности было опробовано и исследовано более 40 сайтов в долине р. Ангара на расстоянии до 300 км друг от друга.

Большая часть изученных пород несет ясный палеомагнитный сигнал. Средние палеомагнитные направления по сайтам туфов, литокластов долеритов, субвулканических и интрузивных тел близки друг к другу, образуют тесный кластер и демонстрируют высокую кучность. Осадочные породы показывают отличные от трапповых направления, что свидетельствует об отсутствии регионального перемагничивания. Кроме того, Падунский силл (район г. Братск), в отличие от других интрузивных тел и туфовой толщи, намагничен в обратной полярности. Полученные палеомагнитные результаты указывают на очень быстрое извержение туфовой толщи мощностью более 200 м и внедрение подводящих субвулканических тел и мощных долеритовых силлов. Это согласуется с представлением о пульсационном характере траппового магматизма и подтверждает возможность разрушительного воздействия вулканической активности на окружающую среду, которое могло вызвать массовое вымирание на рубеже перми и триаса.

Решение задачи теории упругости о трещине сдвига в неоднородном начальном поле напряжений

А.С. Лермонтова (м.н.с. лаб. 506)

В работе приводится решение задачи двумерной теории упругости о нахождении напряжённого состояния массива в окрестности одиночной трещины, смещение бортов которой произошло в условиях неоднородного исходного поля напряжений. Мы рассматриваем случай только сдвиговых смещений, без отрывов, поэтому нормальные напряжения на трещине предполагаем сжимающими.

Начальное напряжённое состояние, существовавшее до активизации трещины, считается заданным. Смещение бортов трещины является искомой функцией. Сведение подобного рода задач к решению сингулярного интегрального уравнения относительно функции скачка смещений рассматривалось в книге [2]. Здесь мы приводим решение этого уравнения, пригодное для непосредственных вычислений, а также формулы, позволяющие перейти к нахождению собственно параметров напряжённого состояния в каждой точке плоскости. Решение аналогичной двумерной задачи для единичной трещины в случае однородного начального напряжённого состояния представлено в работе [3].

Полевые измерения говорят о том, что смещение может иметь несимметричную эпюру [1,4,5,8]. Примером такой активизации крупного разрыва может служить Суматра-Андаманское землетрясение 26.12.2003 [6,7]. Существуют также примеры достаточно беспорядочного изменения амплитуд смещений вдоль разрыва [8].

В настоящей работе предлагается решение для одиночной прямолинейной трещины в однородной среде, активизировавшейся при неоднородном начальном напряжённом состоянии, а также, возможно, при неодинаковом коэффициенте трения скольжения по длине трещины. Для случая нескольких трещин, активизировавшихся последовательно, предлагаемый метод также даёт решение, сколь угодно близкое к точному

Литература

1. Борняков С.А., Шерман С.И. Многоуровневая самоорганизация деструктивного процесса в сдвиговой зоне (по результатам физического моделирования) // Физическая мезомеханика. 2000. Т.3, № 4. С.107-115.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. 1954. М.: Гос.Изд. Техн.-теор. Лит., 795 с.
3. Осокина Д.Н., Фридман В.Н. Исследование закономерностей строения поля напряжений в окрестностях сдвигового разрыва с трением между берегами // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука. 1987. С. 74–119.
4. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Новосибирск: СО РАН фил. Гео. 2003. 242 с.
5. Шерман С.И., Гинтов О.Б., Борняков С.А. и др. Характер разрывообразования в консолидированной земной коре и моделирование зон скалывания // Геофизический журнал. 1988. Т.10, № 1. С. 13-20.
6. Ammon C.J., Ji C., Thio H.-K., et al. Rupture process of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake // Science. 2005. Vol. 308. P. 1133-1139.
7. Lay T., Kanomory H., Ammon C.J., et al. The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 December 2004 // Science. 2005. V. 308. P. 1127-1133.
8. Kim Y.-S., Choi J.-H. Fault propagation, displacement and damage zones // Conference commemorating the 1957 Gobi-Altay Earthquake. Ulaanbaatar: Research Center of Astronomy and Geophysics Mongolian Academy of Sciences. 2007. P. 81-86.

Результаты исследований тепловых полей в районе Эльбрусского вулканического центра

Лиходеев Д. В.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению тепловых процессов в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях. Выполнены комплексные температурные измерения на вулканической постройке Эльбруса и на базе Северокавказской геофизической обсерватории.

В районе озера, расположенного рядом с ледником Малый Азау, проведена серия измерений с использованием автономных температурных комплексов («High Capacity Temperature Loggers iButton» and «РЕЖИМ-АВТОМАТ-ТЕРМО-10-100»). Приведен сопоставительный анализ результатов работ разных лет.

На базе Северокавказской геофизической обсерватории, в лаборатории №2, расположенной в 20 км от вулкана Эльбрус в штольне на глубине 4 км развернута температурная антенна и проведены наблюдения длительных вариаций подземных температур; также получены годовые записи температурных вариаций в окрестности выходов подземных источников углекислых минеральных вод.

По результатам измерений температур в 180-метровой скважине, пробуренной в толще льда на западном плато Эльбруса, выполнены теоретические оценки плотности теплового потока и температуры в точке предполагаемого расположения периферической магматической камеры.

Получены уникальные научные результаты, позволяющие судить о степени вулканической активности Эльбруса.

Анализ многомерных временных рядов методами нечеткой логики

Михалевский С.Д., Красноперов Р.И.

Во многих случаях обычная линейная мера превосходства одного числа над другим в виде их разности оказывается слишком грубой и целесообразно использование ее «нормировки». Нормированное представление сравнения двух чисел дает возможность сопрягать его при помощи операций нечеткой логики с другими такими сравнениями.

Определение 1. Нечеткое сравнение $n(a, b)$ на действительных числах a и b измеряет в знакопеременной шкале отрезка $[-1, 1]$ степень превосходства a над b :

$$n(a, b) = \text{mes}(a < b) \in [-1, 1].$$

В работе использовалось, так называемое сравнение Минковского $n_v(a, b) = \frac{b-a}{(a^v+b^v)^{1/v}}$ с $v > 0$, определенные только для неотрицательных a и b .

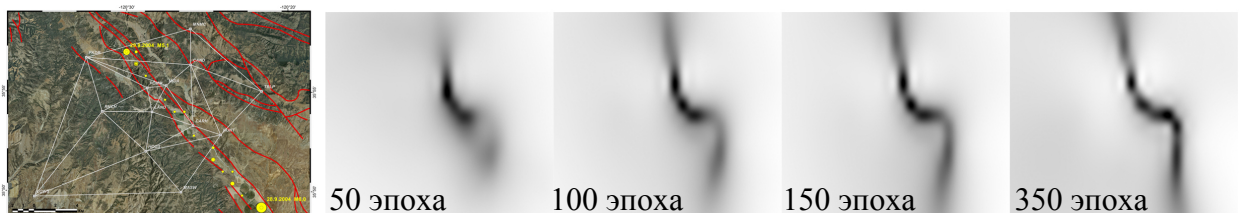
Нечеткое сравнение числовой совокупности с числом. Пусть $A = \{0 \leq a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_N\}$, $b > 0$ и $n(a, b)$ – нечеткое сравнение. Существуют разные варианты $n(A, b)$ и $n(b, A)$ расширения n до сравнения A с b или b с A . В работе использовались три его конструкции: бинарная, гравитационная и σ -конструкция.

Функциональные меры экстремальности. Пусть T – конечное множество и f – неотрицательная функция на нем. Нечеткое сравнение $f(t)$ в любой точке $t \in T$ со всем образом $\text{Im}f = \{f(\bar{t}), \bar{t} \in T\}$ функция f приводит к нечетким мерам аномальности $\text{mes} \max f(t)$ и $\text{mes} \min f(t)$, характеризующими соответственно степень максимальной и минимальности функции f в точке t : $\text{mes} \max f(t) = n(\text{Im}f, f(t))$ и $\text{mes} \min f(t) = n(f(t), \text{Im}f)$.

Динамические меры экстремальности. Пусть $T = \{(x_i, y_j), i \in I, j \in J\}$ – подмножество узлов в равномерной двумерной сетке на плоскости $\mathbb{R}^2(x, y)$. Динамическим рельефом F на T будем считать последовательность отображений $T \xrightarrow{f_k} \mathbb{R}^+$: $F = \{f_k\}_{k=1}^K$. Соединение по всем $k = 1 \dots K$ в узле t мер максимальной $\text{mes} \max f_k(t)$ дает возможность говорить об интегральной мере максимальной рельефа F в t на протяжении всего времени и приводит к динамической мере максимальной $\text{mes} \max F(t) = \frac{\sum_{k=1}^K \text{mes} \max f_k(t)}{K}$.

Результаты. Сутью работы является анализ динамического рельефа $F = \{f_k(t), k = [1 \dots K]\}$, через меры максимальной $\text{mes} \max F(t)$ и минимальности $\text{mes} \min F(t)$ выражающие нечетким способом соответствующую экстремальность в узле t рельефа F на всем протяжении его развития.

В качестве данных для анализа, были использованы результаты обработки спутниковых GPS-измерений, полученных на станциях геодезической сети, расположенной в районе г. Паркфилд, Калифорния, США. Пункты данной сети расположены на обоих бортах разлома Сан-Андреас, ось которого делит сеть на два сравнимых по площади сегмента. Период наблюдений составляет 5 лет и включает в себя 360 наблюдательных эпох, выбранных с 01.01.2002 по 27.12.2007 через пять суток. 28.09.2004 (200 эпоха) в указанном регионе произошло сильное землетрясение ($M = 6.0$) с эпицентром землетрясения находился в непосредственной близости от геодезической сети.



На рисунке показана структура сети и результаты детектирования эпицентра землетрясения для различных эпох измерений.

Изменение приливного отклика среды в сейсмоактивных областях.

*Д.С.Молоденский (аспирант ИФЗ РАН),
М.С.Молоденский (н.с. лаб. 606, к.ф.-м.н.)*

Предложен новый метод расчета временных изменений приливного отклика среды на коротких временных интервалах, позволяющий регистрировать относительные изменения упругих модулей около 1% при длительности анализируемого ряда в один месяц. По десятилетнему ряду наблюдений GSN проанализированы изменения приливного отклика в окрестностях очага девятибалльного японского землетрясения 2011 года до и после землетрясения. Для геофизической интерпретации полученных результатов используются оценки изменений упругих модулей перед землетрясением из работы [1] и результаты проведенных модельных расчетов влияния локальных неоднородностей упругих модулей на амплитуды и фазы приливных наклонов и деформаций.

1. Beaumont, C. and Berger, J., Earthquake Prediction: Modification of the Earth Tide Tilts and Strains by Dilatancy, Geophys. J. Roy. Astr. Soc., 1974, vol. 39, no. 1, pp. 111–122.

Модели тектонического разлома в Центральных Андах по данным GPS – наблюдений

*М.С.Молоденский (н.с. лаб. 606, к.ф.-м.н.),
Д.С.Молоденский (аспирант ИФЗ РАН)*

С учетом радиальной неоднородности упругих модулей в коре и верхней мантии Земли построены численные модели упругих смещений земной поверхности в очаге землетрясения.

В качестве иллюстрации полученных результатов приведен пример решения обратной задачи восстановления геометрии поверхности разлома и пространственной ориентации вектора Бюргерса для землетрясения в Центральных Андах 1995 г. (вблизи г. Антофагаста).

Задача решалась методом градиентного спуска в пространстве шести независимо варьируемых параметров, определяющих искомую геометрию очага. Численные расчеты показали, что для коровых землетрясений различия в полях смещения поверхности земли для моделей с однородными и неоднородными модулями упругости достигают 30-40%, а для мантийных – 100%. Данные результаты говорят о гораздо более высокой достоверности решения обратной задачи (определения параметров разлома из GPS измерений) с использованием подхода, описанного в данной работе, по сравнению с использованными ранее.

Новые результаты палеосейсмологических исследований на Дальнем Востоке России

Овсяченко А.Н. (в.н.с. лаб. 701, к.г.-м.н.)

Исследования, результаты которых частично освещены в предлагаемом докладе, проводились сотрудниками сейсмотектонического отряда ИФЗ РАН (Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Новиков С.С., Ларьков А.С., Вакарчук Р.Н.) в 2011 г. Палеосейсмологические (палеосейсмогеологические) исследования подразумевают выявление и детальное изучение следов сильных доисторических землетрясений. К ним, в первую очередь, относятся сейсморазрывы, т.е. выходы очага сильного землетрясения на поверхность. В ходе исследований были выявлены впервые (за исключением Чульмаканского разрыва [1]) и детально изучены сейсморазрывы, которые, в соответствии с их параметрами (длина и величина смещений), являются следами землетрясений с $M_w=6,5-7,5$ (рис. 1). Широкое применение палеосейсмологического метода в последние годы на юге Дальнего Востока, существенно меняет сложившиеся представления об уровне сейсмической опасности этого региона.

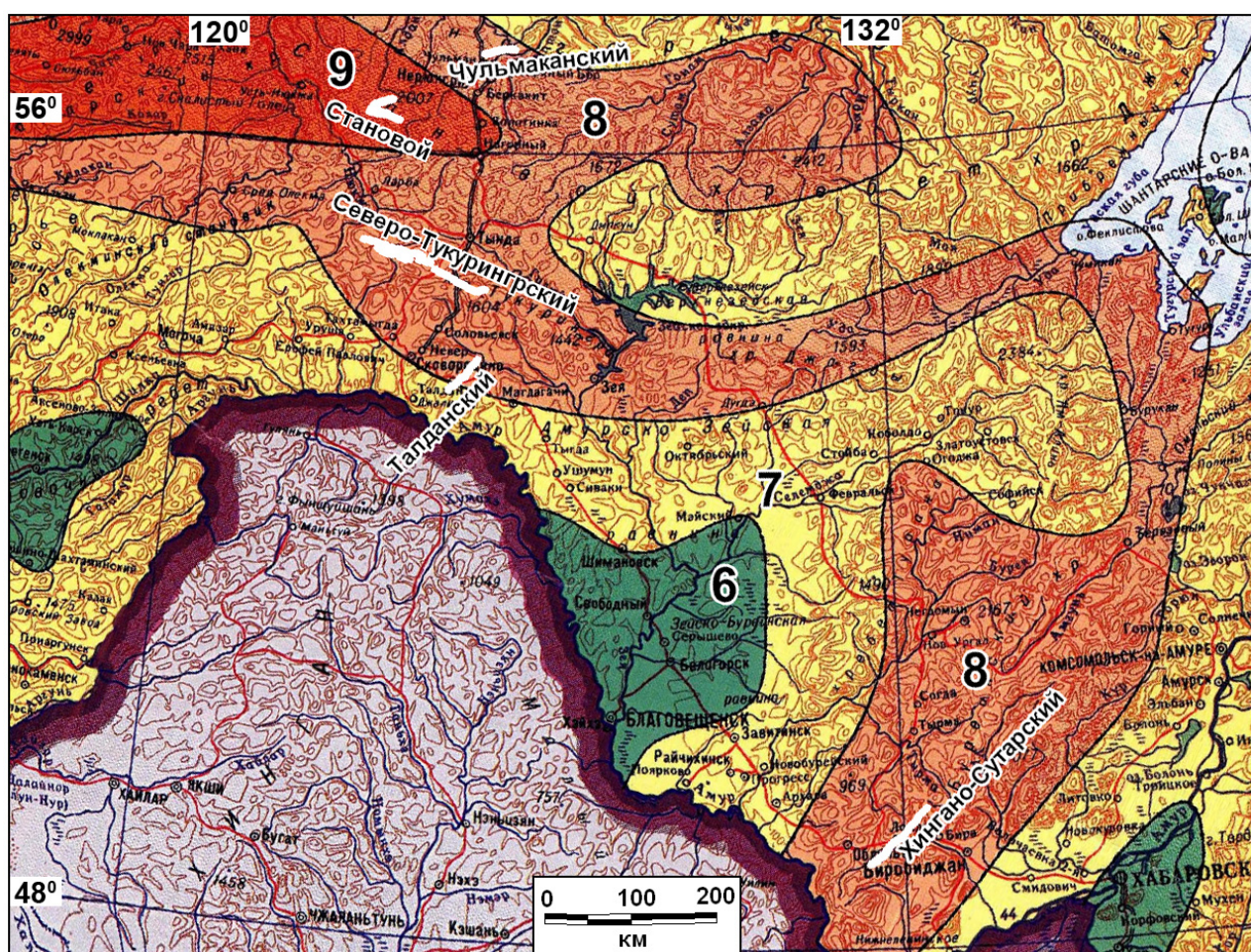


Рис. 1. Положение изученных сейсморазрывов (белые линии с названиями) на фоне карты ОСР-97 В. Цифрами показаны баллы по шкале MSK-64 со средней повторяемостью $T=1000$ лет.

1. Имаев В.С. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Стром А.Л. Сейсмотектонические деформации центральной части Алданского щита // Отечественная геология. 2010. № 5. С. 84-89.

Нейронная сеть однократной активации NATRE для построения локальной метрики при прогнозировании временных рядов

В.А. Ожередов (с.н.с. лаб. 302, к.ф.м.н.)

Метод ближайших соседей (Approximation by Nearest Neighbors, ANNA) считается сегодня самым осмысленным способом нелинейного прогнозирования временных рядов. Очевидно, что метрика, по которой происходит выбор ближайших соседей, играет решающую роль в успешном нелинейном прогнозе. В основополагающих работах по нелинейному прогнозированию [1, 2] рассматриваются так называемые изотропные метрики, когда расстояние между прецедентом и форвард-лагом не зависит от направления на прецедент. В настоящей работе рассмотрена разработанная автором неитеративно обучающаяся нейронная сеть NATRE, в которой развиваются идеи работы [3].

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты использования NATRE для построения локальной метрики с зависимым от направления расстоянием (аналог метрики Махаланобиса, но с адаптивным для каждой точки разворотом эллипсоида поверхностей уровня). На этом рисунке реальные изменения чисел Вольфа W (1 – зеленая кривая) полного 23-го цикла солнечной активности сравниваются с их прогнозами, сделанными по широко распространенной методике главных компонент (2 – синяя кривая) и нейросетевым методом с помощью NATRE (3 – красная линия). Видно, что по сравнению с методом главных компонент прогноз, сделанный с помощью NATRE, существенно точнее совпадает с реальными изменениями значений W аномально длительного (это широко известный факт) 23-го цикла солнечной активности.

В конце 23 цикла официальная комиссия по предсказанию солнечной активности NOAA распространила прогноз активности 24-го цикла. Согласно этому прогнозу, активность будет высокой ($W = 140$ в максимуме) с максимумом в октябре 2011 г. NATRE предсказывает (рис. 2) существенно более низкую активность ($W = 80-90$) с максимумом в августе 2012 г.

По последним данным можно с уверенностью ожидать наступления максимума солнечной активности в течение нескольких ближайших месяцев: в конце лета – начале осени.

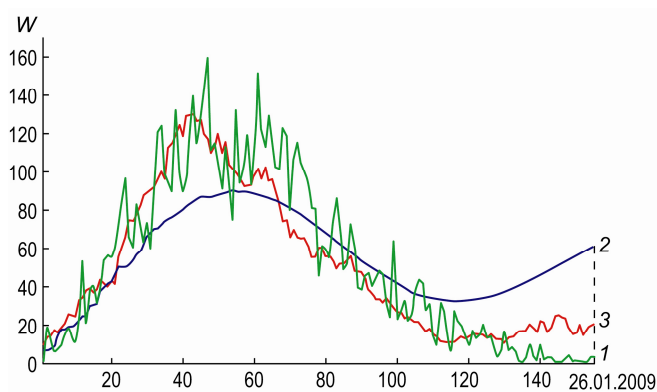


Рис. 1.

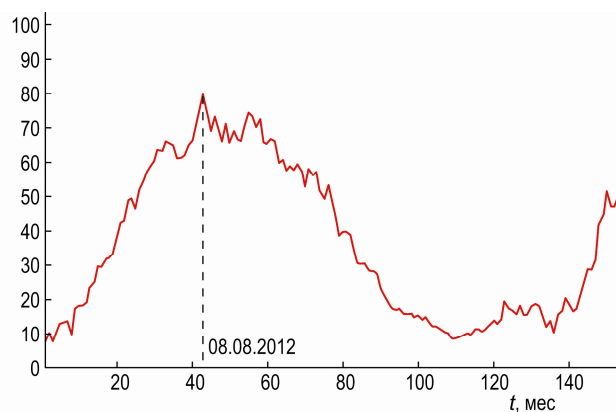


Рис. 2.

Литература

1. Лоскутов А.Ю., Журавлев Д.И., Котляров О.Л. Применение метода локальной аппроксимации для прогноза экономических показателей // Вопросы анализа и управления риском. 2003. Т. 1, № 1. С. 21–31.
2. McNames J. Local averaging optimization for chaotic time series prediction // Neurocomputing. 2002. Vol. 48, No. 1-4. P. 279–297.
3. Томашевич Н. Методика разработки нейросетевых алгоритмов для решения задач обработки изображений // Современная электроника. 2007. №3. С. 40–43.

Лабораторная модель флюидной активизации роевой активности.

М.Г.Потанина (м.н.с. лаб. 306, ассистент физфака МГУ), А.С. Копнин (инженер лаб. 306, студент физфака МГУ), В.Б. Смирнов (в.н.с. лаб. 306, к.ф.-м. н., доцент физфака МГУ), А.В. Пономарев (зав. лаб. 306, д.ф.-м.н.).

Лабораторный эксперимент, моделирующий возбуждение сейсмического режима при поступлении воды в сухой образец, был проведен в ИФЗ РАН [1]. В эксперименте на рычажном прессе неоднородный бетонный образец подвергался длительной одноосной нагрузке в условиях бокового поджатия (опыт длился около четырех месяцев). Вначале нагрузка увеличивалась ступенями, затем при примерно постоянной нагрузке резервуар, расположенный на верхней грани образца, был заполнен водой, которая поступала в образец через дно резервуара. Обнаружено, что диффузия воды в образец инициировала развитие разрушения, подобно натурным роям в Коринфском рифте [2]. Разрушение мигрировало сложным образом от области под резервуаром к середине образца и привело в последствие к образованию макротрещины [3].

Инициация разрушения в результате диффузии воды в области непосредственно под резервуаром (по данным ближайшего датчика) демонстрирует противофазные вариации активности и наклона графика повторяемости: уменьшении наклона на стадии активизации и увеличение на стадии релаксации. Такой характер вариаций параметров акустического режима соответствует вариациям сейсмического режима, обнаруженным для роев в Коринфском заливе [2]. Это можно рассматривать, как экспериментальное подтверждение высказанной ранее гипотезы о флюидной инициации коринфских роев [4].

Численный расчет (методом конечных элементов) поля напряжений в образце с учетом конструкции нагружающих элементов пресса показал, что кулоновские напряжения (при коэффициенте внутреннего трения принятого равным 0.6) достигают максимальных значений в области, расположенной вдоль оси нагружения. В области под резервуаром с водой уровень кулоновских напряжений гораздо ниже.

Таким образом, внедрение воды в образец вызывает сложную, двухстадийную, активизацию процесса разрушения. В результате диффузии воды сначала активизируется наиболее близкая к резервуару область с относительно небольшим уровнем напряжений. Повторная активизация возникает в области наибольших напряжений. По времени эта активизация возникает значительно раньше, чем это следует из кривой диффузии, полученной по данным распространения пятна обводнения на поверхности образца.

Литература

1. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Динамика разрушения моделей геологической среды при триггерном влиянии жидкости // Физика Земли. 2011. № 10. С. 48–63.
2. Смирнов В., Потанина М., Бернар П. Развитие роевой активности в Коринфском рифте в 2000-2005 гг. // Физика Земли. 2011. № 7. С. 54-66.
3. Смирнов В.Б., Пономарев А.В., Бернар П., Патонин А.В. Закономерности переходных режимов сейсмического процесса по данным лабораторного и натурального моделирования // Физика Земли. 2010. № 10. С. 26–36.
4. S. Bourouis and F. H. Cornet Microseismic activity and fluid fault interactions: some results from the Corinth Rift Laboratory (CRL), Greece, Geophys. J. Int. (2009) 178, 561–580

О собственных колебаниях Луны

С.Н.Раевский (аспирант ИФЗ РАН)

В ближайшем будущем предполагается развертывание сети широкополосных сейсмометров на поверхности Луны [7]. Определение внутреннего строения Луны по объемным волнам во многом затруднено из-за неоднородности ее верхнего слоя, потому в данной работе исследуется возможность зондирования недр Луны методом собственных колебаний. Спектр собственных колебаний рассчитан для двух современных моделей внутреннего строения Луны (MG [2] и MW [6]), полученных в результате применения новых методов для анализа данных сейсмической сети Аполлон.

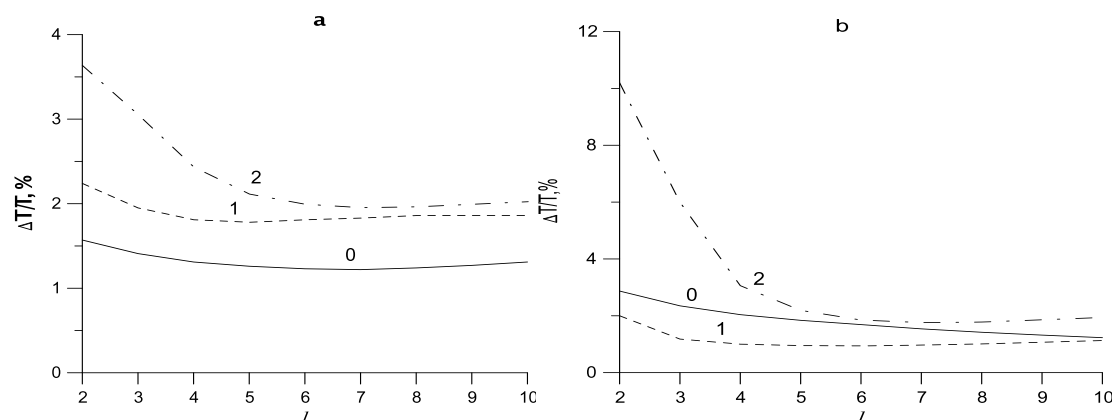


Рис. 1. Зависимость относительной разности периодов $\Delta T/T(\%)$ от номера колебаний для основного тона (сплошная линия) и первых двух обертонов (пунктирная - 1 и штрихпунктирная линии - 2) крутильных (а) и сфероидальных колебаний (б) для моделей MG [2] и MW [6].

Важным свойством собственных колебаний является то, что с ростом номера колебания l они вытесняются из центральных областей к поверхности планеты. Поэтому различные интервалы частот собственных колебаний определяются свойствами различных областей лунных недр. Как видно из рис. 1, для моделей MG [2] и MW [6] относительная разность периодов ($\Delta T/T$) крутильных колебаний составляет около 1.5 % для основных тонов и от 2 до 4 % для их первых обертонов, для сфероидальных колебаний эта разность составляет около 2 % для основных тонов и от 1 до 10 % для обертонов. Это означает, что если бы эти колебания были зарегистрированы, то они смогли бы конкретизировать внутреннюю структуру нашего спутника. Современная аппаратура позволяет проводить регистрацию крутильных мод с номерами степени 5-7 и выше, что позволит уточнить строение нашего спутника до глубин 500-600 км [3].

Получить информацию о сфероидальных колебаниях низких степеней по записям сейсмической сети Аполлон не представлялось возможным - сигналы собственных колебаний и поверхностных волн были намного ниже уровня инструментального шума [1, 4]. Чувствительность современных широкополосных сейсмометров для исследования планет [5] выше тех, которые были установлены на Луне миссией Аполлон.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gagnepain-Beyneix, J., Lognonné, P., Chenet, H., Lombardi, D., Spohn, T., 2006. PEPI, 159, 140-166.
- [2] Garsia R.F., Gagnepain-Beyneix J.G., Chevrot S., Lognonné P. 2011. PEPI. 188, 96-113.
- [3] Gudkova, T., Zharkov, V.N. 2002. Planet. Space Sci. 50, 1037-1048.
- [4] Gudkova T.V., Lognonné Ph., Gagnepain-Beyneix J. 2011. Icarus. 211, 1049-1065.
- [5] Lognonné, P., Johnson, C. 2007. Treatise on Geophysics, 10, Elsevier, Oxford, pp.69-122.
- [6] Weber R.C., Lin P., Garner E.J., Williams Q., Lognonné P. 2011. Science, 331. 309.
- [7] Yamada R., Garsia R.F., Lognonné P., Le Feuvre M., Calvet M., Gagnepain-Beyneix J. Planet. Space Sci. 2011. V. 59. P. 343-354.

Палеоземлетрясения, как основа уточнения сейсмического режима Корякского нагорья.

С.Н. Родина (инж. лаб. 900), С.С. Новиков (н.с. лаб. 900).

В зоне сильнейшего Олюторского землетрясения 2006 г. на Корякском нагорье в процессе сеймотектонических полевых работ был выявлен ряд первичных палеосейсмодислокаций с амплитудами вертикальных и горизонтальных смещений от первых десятков сантиметров до 2,5 м. Смещения носили, по всей видимости, импульсный, сейсмогенный характер, о чем говорит формирование древних коллювиальных клиньев вдоль палеоуступов и захороненных горизонтов палеопочв. Эти импульсные подвижки удастся идентифицировать с сильнейшими неизвестными ранее, доисторическими землетрясениями. Магнитуда последних оценивалась по амплитуде сейсмогенной подвижки и размерам области соответствующих палеосейсмодислокаций, возраст – по данным датировок радиоуглеродным методом. Палеосейсмогеологические материалы дали возможность оценить сейсмический режим региона на протяжении почти 7 тысяч лет, то есть для большей части голоцена. Для оценки сейсмического режима были использованы также сведения о землетрясениях инструментального, исторического периодов сейсмологических наблюдений и о современных сильных сейсмических событиях. Средний долговременный сейсмический режим территории отображен статистической функцией распределения частоты возникновения землетрясений по магнитуде, т.е. графиком повторяемости землетрясений, расчеты которого для региона Корякского нагорья проводились способом ортогональной регрессии (рис. 1). Полученные результаты могут свидетельствовать о прямолинейности графика повторяемости в исследованной зоне, что, по-видимому, обозначает устойчивый сейсмический режим на позднечетвертичном этапе развития для рассматриваемого региона.

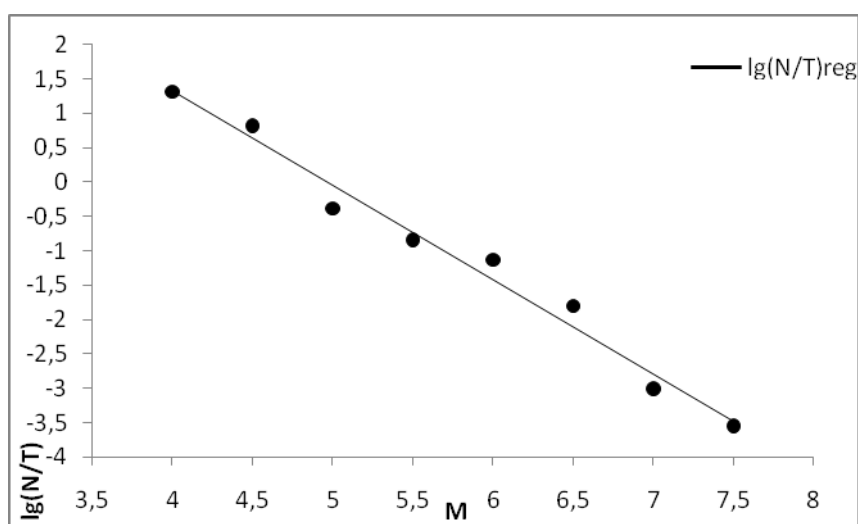


Рис. 1. График повторяемости землетрясений Олюторской очаговой зоны

Литература

- Захарова А.И., Рогожин Е.А. Сейсмический режим Горного Алтая и сильное землетрясение 2003 г. // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2004 г.: материалы предварительного изучения. М.: ИФЗ РАН, 2004. С. 50-54.
- Каталог землетрясений Камчатской Опытной-методической сейсмологической партии Геофизической службы РАН http://data.emsd.iks.ru/dbquaketxt_min/index_r.htm#tops
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М. Наука, 1977. 535 с.
- Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима // Изв. АН СССР. Сер. Геофиз. 1958, № 9 с.1057-1074.
- Рогожин Е.А., Захарова А.И. Палеоземлетрясения и сейсмический режим подвижных систем Северной Евразии.// Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. Тр. Всероссийского совещания «Напряженно-деформированное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность», Иркутск, ИЗК СО РАН, 26-29 августа 2003 г. 2003-б, Новосибирск. Изд-во СО РАН филиал «Гео». С.150-153.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С. Тектоническая позиция и геологические проявления Олюторского землетрясения 2006 г. в Корякии // Геотектоника 2009 № 6 с.3-23.

Сравнение долговременного сейсмического режима Камчатки, Сахалина и Алтая с использованием палеосейсмогеологических данных

С.Н.Родина (инж. лаб.900, аспирант)

Сейсмический режим является важнейшей характеристикой уровня сейсмической опасности и сейсмической активности [1]. Неполнота сейсмостатистического материала заставляет нас для определения верхнего уровня сейсмической активности пользоваться палеосейсмологическим методом [2]. В связи с сильнейшими землетрясениями, произошедшими в последние годы, на территории Корякии, северного Сахалина, а также Монголии были проведены палеосейсмогеологические исследования методом тренчинга [3,4,5]. С получением нового полевого материала появилась возможность рассмотреть более длительный период сейсмической истории изучаемой территории. В связи с этим была поставлена задача уточнения долговременного режима, а также сравнения режимов изучаемых территорий.

В ходе полевых работ была оценена магнитуда палеоземлетрясений и отобраны образцы палеопочв, с помощью которых оценивался возраст. Полученные результаты позволили построить графики повторяемости для различных территорий (рис.1,2,3).

Рис.1 Корякское нагорье

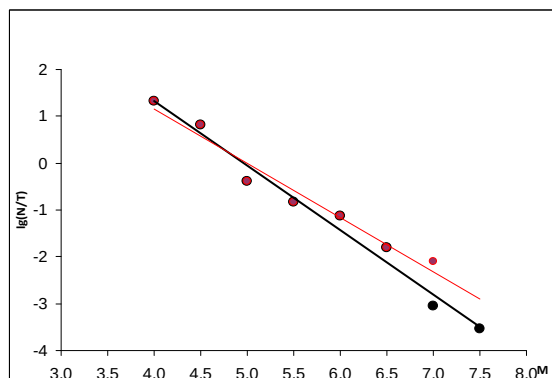


Рис.2 Северный Сахалин

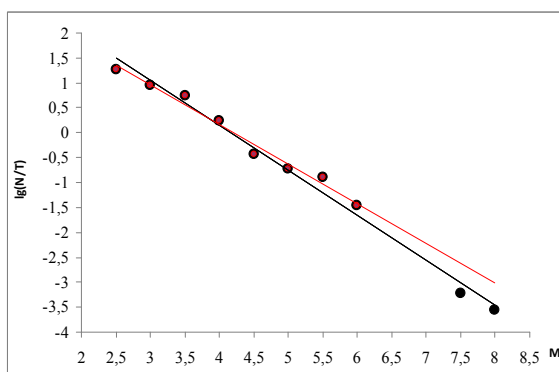
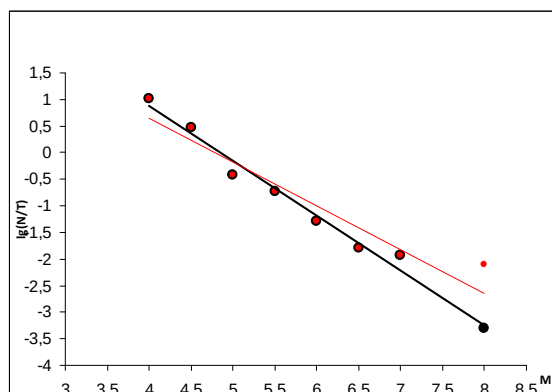


Рис.3 Монгольский Алтай



Условные обозначения

- линия тренда по сейсмологическим, историческим и палеосейсмологическим данным
- линия тренда по сейсмологическим и историческим данным

Из анализа графиков видно, что во всех случаях при добавлении сведений о палеоземлетрясениях линия тренда продлевается и отклоняется, тем самым, увеличивая период повторяемости сильных событий. Также обращает на себя внимание то, что в Корякии, как и в области Монгольского Алтая наблюдается недостаток слабых землетрясений. Это, возможно, связано со слабой оснащенностью территории сеймостанциями, а также небольшим периодом их работы.

Литература

1. Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима // Изв. АН СССР. Сер. Геофиз. 1958, № 9 с.1057-1074.
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., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С. Тектоническая позиция и геологические проявления Олюторского землетрясения 2006 г. в Корякии // Геотектоника 2009 № 6 с.3-23.
4. Рогожин Е.А., Родина С.Н. Палеосейсмологические исследования и долговременный сейсмический режим севера острова Сахалин // Вопросы инженерной сейсмологии 2011 Т.38 №3 с.45-58.
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.

Численное исследование физического предела разрешающей способности метода лучевой сейсмотомографии.

Фокин И.В., Шишкина М.А.

Лучевая сейсмотомография является одним из основных методов изучения внутреннего строения Земли в различных масштабах. Вместе с тем, данный метод основан на представлении о бесконечно большой частоте зондирующего импульса, что практически означает малость длины волны по сравнению с характерным размером неоднородностей. Физический предел разрешающей способности метода лучевой сейсмотомографии приблизительно равен размеру первой зоны Френеля, который может быть оценен как $h = \sqrt{\lambda * L}$, где λ – длина волны, L – длина луча.

Однако на практике зачастую представляют интерес неоднородности размер которых близок к h . Так, при инженерно-геофизических исследованиях с использованием электроискровых источников h может составлять 3-4 метра, а объектом изучения являться, к примеру, заполненные глинистым материалом карстовые полости размером 1-3 метра. Поэтому актуально на основании численного эксперимента исследовать возможность обнаружения подобных объектов методами лучевой сейсмотомографии, а также возникающие при этом искажения, что и составляет содержание настоящей работы.

Исследование выполнено на основе имитационного численного моделирования с параметрами характерными для инженерно-геофизических исследований. Двумерная имитационная модель представляет собой аномалию скорости в форме цилиндра, находящуюся в межскважинном пространстве. На первом этапе расчёт времени пробега сейсмических волн осуществлялся в лучевом приближении с использованием конечно-разностного решения уравнения эйконала. Затем по полученным имитационным данным была решена обратная задача лучевой сейсмической томографии с использованием алгоритма [1]. Полученное решение правильно отражает конфигурацию имитационной модели. На втором этапе была выполнена серия экспериментов в ходе которых распространение сейсмических волн моделировалось методом спектральных элементов [2] для набора длин волн таких, что размер зоны Френеля менялся от величин много меньших размера неоднородности в модели до величин, существенно превосходящих этот размер. В каждом случае определялись времена первых вступлений продольной волны и по ним решалась обратная задача лучевой сейсмотомографии с теми же параметрами, что и на первом этапе. Анализ полученных решений позволяет судить о практических возможностях и ограничениях метода лучевой сейсмотомографии при инженерно-геофизических исследованиях.

1. Тихоцкий С. А., Фокин И. В., Шур Д. Ю. Активная лучевая сейсмическая томография с использованием адаптивной параметризации среды системой вэйвлет-функций // Физика Земли. 2011. No 4. С. 67–86.
2. Komatitsch, D. and Vilotte, J.-P. The spectral element method: an efficient tool to simulate the seismic response of 2D and 3D geological gtructures // BSSA, 1998. Vol. 88, No. 2, pp. 368-39.
3. Nolet G. A Breviary of seismic tomography. Cambridge Univ.Press, 2008. P. 344.

Низкоширотные Pc3-4 пульсации на Земле и в верхней ионосфере по данным сети 210ММ и спутника CHAMP

Сюсюкалов С. А.¹, Ягова Н. В.¹, Пилипенко В. А.^{1,2}, Хейлиг Б.³, Юмото К.⁴

¹ИФЗ РАН

²ИКИ РАН

³Обсерватория Тихань, Венгрия

⁴Университет Кюсю, Япония

- Исследуется эффект экваториального усиления геомагнитных пульсаций диапазона Pc3 на Земле и в верхней ионосфере. Квазирегулярные пульсации диапазона Pc3 с преобладающим периодом 25-40 с периодически наблюдаются на приэкваториальных станциях сети 210 ММ. Пульсации этого же диапазона вне экваториальной зоны на низких широтах не наблюдаются или наблюдаются со значительно меньшей амплитудой. На средних широтах, где частота Pc3 волн близка к частоте альвеновского резонанса в ряде случаев наблюдаются высокоамплитудные пульсации, когерентные с экваториальными колебаниями. Для других событий амплитуда экваториальных пульсаций выше, чем на средних широтах.
- Наблюдаемые экваториальные Pc3-4 пульсации могут быть вызваны двумя механизмами:
 - - экваториальным усилением среднеширотных Pc3-4 пульсаций;
 - - прямым проникновением магнитозвуковой волны из внешней магнитосферы к Земле на геомагнитном экваторе.

Аспирант: Смагличенко Александр Вадимович

Руководитель: Горбатиков А.В.

Название доклада на конференцию аспирантов и тезисы:

Комплексный анализ спутникового и томографического изображений на примере разломной зоны Нагано.

Зона разлома Нагано, которая появилась в 1984 году сразу после землетрясения, произошедшего на западе Нагано с магнитудой $M_{6.8}$ является отличительным примером сложности тектоники. По данным Японского Метеорологического Агенства (1986) смещение после основного толчка имело право -сдвиговый характер, что и привело к образованию разлома. Тем не менее, по данным японского исследователя Shinobu Ito (2001) большая часть событий, которые произошли после мощного землетрясения, имели реверсный тип. Целью нашего исследования является анализ деталей, которые проявляются в спутниковом изображении, сравнение их с результатом инверсии томографических данных и окончательное определение типа землетрясения на базе этого сравнения. Мы использовали карты, которые построены на основе фотографий спутников НАСА, запущенных в течение одиннадцати лет (2001-2010). Дешифрирование разлома выявило его субширотный характер. Мега трещины вдоль этого разлома хорошо определяются небольшими прямолинейными элементами рельефа. Они могут быть опережающими разрывами, возникшими в результате правосдвигового смещения по основному разлому. Для определения сдвигового смещения использован структурно-геоморфологический метод (Сим, 1991, Sim&Sergeev 1996). Взаимная ориентировка мегатрещин между собой и их ориентировка относительно плоскости основного разлома показали, что в рельефе отчетливо отражены признаки правого сдвига. Затем мы сравнили спутниковые данные и изображения сейсмической томографии, которые были построены, применяя дифференцированный подход Смагличенко Т. и др., 2011. Анализ распределения сейсмической скорости выявил высокие скорости в южном крыле разлома в слоях на глубинах от 0,9 до 4,2 км. Эти скорости могут быть объяснены наличием вертикальной составляющей смещения. А именно, южное крыло упало, и это привело к уплотнению обломков горных пород и, следовательно, увеличение скорости там. Увеличение плотности микро-землетрясения в южном крыле должно быть также в пользу этой версии. Спутниковый снимок также показывает нам, что южное крыло опускается. Следовательно, кинематический тип смещения основного удара можно интерпретировать как правый боковой сдвиг. Однако, в то же время мы должны заметить, что томографическое изображение поверхности содержит элементы, которые позволяют рассматривать разлом как разлом реверсного типа.

Доклад стендовый

ОКЕАНИЧЕСКИЙ НАГРУЗОЧНЫЙ ЭФФЕКТ У БЕРЕГОВ ЕВРОПЫ

Проанализировано влияние на суммарный океанический гравиметрический эффект таких факторов как диссипация, анизотропия и вращение. Рассмотрена зависимость результатов от выбранной модели скоростей продольных и поперечных волн, т.е. от особенностей строения коры и верхней мантии.

Для расчета нагрузочного океанического эффекта применен метод разложения высоты прилива по полиномам Лежандра. Данные модели CSR3 были разложены до 720 порядка. Установлено хорошее соответствие полученных таким образом результатов с результатами, рассчитанными при помощи функций Грина по программе LOAD87 (пакет ETERNA). К преимуществам нашей программы расчета следует отнести ее быстродействие и отсутствие необходимости введения ближней зоны. Благодаря применению готовых разложений время счета по сравнению с LOAD87 сокращается более чем в 10 раз. Это особенно важно при анализе географического распределения нагрузочного эффекта в рамках анализа различных моделей.

Учет диссипации при расчете суммарного гравиметрического эффекта для волны M2 у берегов Европы уточняет эффект на 0.1–0.2 мкГал по амплитуде и несколько сотых градуса по фазе. Переход от модели PREM к более подходящей для Европы модели IASP91 изменяет рассчитанную амплитуду на 0.1–0.4 мкГал и фазу на величину от 0.1 до 5–7 градусов.

Таким образом, суммарный вклад диссипации и притяжения уточненных данных строения коры и верхней мантии может в отдельных местах превышать 0.5 мкГал по амплитуде и несколько градусов по фазе. Особое внимание в этой связи следует уделять районам вблизи мыса Ленд-Энд и мыса Сен-Матье.

Геодинамическая природа гранатовых амфиболитов Присакмаро-Вознесенской зоны Южного Урала

Н.В. Зайцева (инженер лаб. 900, аспирантка)

Целью данной работы являлось изучение особенностей геологического строения участков распространения гранатовых амфиболитов и восстановление их геодинамической природы.

Основными задачами исследования были:

1. Составление детальных схем геологического строения участков развития гранатовых амфиболитов.
2. По результатам описания шлифов и микрозондовому анализу минералов, слагающих гранатовые амфиболиты описать их петрологию.
3. Методами минералогической термобарометрии определить РТ параметры, тренд метаморфизма и геотермический градиент при метаморфизме гранатовых амфиболитов с целью восстановления их геодинамической природы.

В итоге проделанной работы автор пришел к следующим выводам:

1. Изучено геологическое строение участков развития гранатовых амфиболитов, расположенных вблизи сел Бурангулово и Ишкильдино.
2. На основе детального изучения химического состава минералов (гранатов, амфиболов, пироксенов, плагиоклазов) из гранатовых амфиболитов с использованием методов минералогической термобарометрии установлены температуры и давления метаморфизма гранатовых амфиболитов.
3. Впервые в гранатовых амфиболитах участка Бурангулово установлен парагенезис гранат-омфацит, характерный для эклогитов.
4. Получены различные правосторонние РТt (clockwise) тренды метаморфизма гранатовых амфиболитов и рассчитаны геотермические градиенты: 9,6°- 7,4°С/км и 19,7°С/км, свидетельствующие о двух этапах метаморфизма.
5. Установлено, что в Присакмаро-Вознесенской зоне Южного Урала на участках Бурангулово и Ишкильдино обнажаются метаморфические комплексы, образовавшиеся непосредственно в зоне субдукции, причем степень метаморфизма достигала термодинамического уровня эклогитовой фации. Второй этап метаморфизма в гранатовых амфиболитах проявился на коллизионном этапе развития зоны.
6. В зоне Главного Уральского разлома выявлен новый участок (Бурангулово) развития метаморфических пород эклогитовой фации.

Литература.

1. Белова А.А., Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Дегтярев К.Е. Раннедевонские надсубдукционные офиолиты в структуре Ю. Урала//ГЕОТЕКТОНИКА, 2010, № 4, с.1–19.
2. Перчук Л. Л. Равновесия порообразующих минералов. Москва: Наука, 1970. 391 с.
3. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении)//Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2010. С. 173-207.
6. Ферштатер Г.Б. “Эмпирический плагиоклаз-роговообманковый барометр // Геохимия. 1990. №3. С. 328-335.
7. Cloos M. Lithospheric buoyancy and collisions) orogenesis; Subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading ridges, and seamounts. // Geol Soc. Am. Bull 1993 V. 105. P 715-737.
8. Ernst W.G., Peacock S. M. A thermotectonic model for preservation of ultrahigh pressure phases for metamorphosed continental crust // Subductions: top to the bottom, Geophys. Monograph 96. 1996. P. 171-178.
9. Miyashiro A. Metamorphism and related magmatism in plate tectonics // Am. J. Sci. 1972. 272. P. 629-656.
10. Thompson A.B. and Ph. C. England. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism. II: Their Inference and Interpretation using Mineral Assemblages in Metamorphic Rocks // J. of Petrology. 1984.Vol. 25. Part 4. PP. 929-955.

Алгоритм распознавания характеристик волновых возмущений на выделенных временных интервалах

*Н.Р. Зелинский (вед. инж. лаб. математического анализа геомагнитных
данных ГЦ РАН), А.А. Соловьев (зав. лаб. математического анализа
геомагнитных данных ГЦ РАН), Р.В. Сидоров (м.н.с. лаб. математического
анализа геомагнитных данных ГЦ РАН)*

Учреждение Российской академии наук Геофизический Центр РАН

Разработан алгоритм выделения пульсаций $Pc3$ на отфильтрованных магнитограммах на основе применения аппарата нечеткой логики, в частности, модифицированного метода нечетких граней. Применен метод вычисления обобщенной дисперсии матрицы ковариации трехкомпонентного сигнала в выбранном временном окне. Выбор оптимального окна при анализе динамики изменения эллипсоида поляризации волн проводился на основе оценки видимого периода волновых возмущений с использованием скользящего окна шириной шесть периодов.

Реализована возможность одновременного поляризационного анализа наблюдений с соседних станций с целью дальнейших исследований корреляционных характеристик волновых пакетах с резкими изменениями параметров эллипсоида поляризации, вычисляемого в скользящем окне. Реализован метод адаптивного выбора уровня волновой активности применительно к анализируемым волновым интервалам. Разработанный подход применяется для определения продолжительности волнового пакета, его начала и конца.

Произведено апробирование разработанного алгоритма на основе обработки одnoseкундных данных сети станций ИНТЕРМАГНЕТ. Разработанная методика может быть применена к данным сейсмологических наблюдений.

Работа выполнена под руководством сотрудников ИФЗ РАН д.ф.-м.н. Клейменовой Натальи Георгиевны и к.ф.-м.н. Козыревой Ольги Васильевны и в.н.с. ГЦ РАН, д.ф.-м.н. Агаяна С.М. Авторы выражают им свою благодарность.

О палеонапряжённости палеопротерозойских пород магматического комплекса Bushveld (Южная Африка)

Жидков Г.В.¹, Щербакова В.В.¹, Лубнина Н.В.²

1 – Палеомагнитная лаборатория «ОБ-1» ГО «Борок» ИФЗ РАН, Ярославская обл.

2 – Геологический факультет МГУ, Москва

Ранняя история геомагнитного поля к настоящему времени изучена очень слабо. На весь докембрий, который занимает почти 9/10 истории Земли, в базе данных по палеонапряжённости геомагнитного поля ($H_{др}$) приходится всего 228 определений, т.е. ~5% всех данных, имеющихся в базе, при этом из них только 63 удовлетворяют минимальным критериям надёжности. Предельная малочисленность данных и разброс их численных величин не позволяют делать какие-либо выводы о динамике развития земного ядра в этот период или говорить о смене режима работы магнитного гидродинамо Земли на рубеже архей - протерозой. Очевидно, что получение новых определений $H_{др}$ в докембрии, с выполнением всех современных требований к надёжности таких данных, является крайне важной и актуальной задачей. В данной работе выполнены палеомагнитные исследования представительной коллекции палеопротерозойских пород из магматического комплекса Bushveld в Южной Африке. Для пород основных сайтов имеются абсолютные определения возраста. В коллекции около 450 ориентированных образцов, отобранных из 27 долевых даек возрастом 2.9, 2.7 и 1.85 млрд. лет. Все образцы прошли стандартную чистку температурой и/или переменным магнитным полем. Рассчитаны палеомагнитные направления и палеополюса. На образцах из 10 даек различного возраста проведен комплекс экспериментов по определению палеонапряжённости, подробно исследованы их магнитные свойства. Температуры Кюри и устойчивость магнитных минералов к нагревам оценивались по сериям температурных кривых намагниченности насыщения M_{si} , снимавшихся при последовательных нагревах образцов до возрастающих температур T_i в магнитном поле $H = 450$ мТл. Для оценки магнитной жесткости и доменной структуры ферромагнитных зёрен – носителей природной остаточной намагниченности NRM – измерялись параметры петли гистерезиса: коэрцитивная сила H_c , остаточная коэрцитивная сила H_{cr} , намагниченность насыщения M_s и остаточная намагниченность насыщения, M_{rs} . Дополнительно доменная структура ферромагнитных зёрен оценивалась по термомагнитному критерию, для чего измерялись «хвосты» парциальных термоостаточных намагниченностей $pTRM$. Определение палеонапряженности проводилось по методу Телье-Коу с обязательной процедурой проверочных нагревов («check-points») после каждого температурного шага. В экспериментах использовались кубики с ребром 1 см, выпиленные из кернов или штуфов. Для экспресс-оценки древнего поля использовался также метод Вильсона, основанный на сравнении кривых терморазмагничивания $NRM(T)$ и $TRM(T)$. Надёжные определения палеонапряженности получены только по одному сайту – **№28 возрастом 1.85 млрд. лет**. Породы, взятые из этого сайта, продемонстрировали чрезвычайную устойчивость магнитных минералов к нагревам, их точки Кюри близки к магнетитовым. Кривые терморазмагничивания $NRM(T)$ и $TRM(T)$ подобны, положения чек-точек на диаграммах Араи-Нагата близки к начальным величинам $pTRM$. Семь образцов (13 кубиков - дублей) показали близкие значения $H_{др}$, которые меняются в интервале 13–23 мкТл со средней величиной **18.0 ± 3.2 мкТл**. Соответствующее значение виртуального магнитного момента Земли (**VDM**) равно **$2.8 \pm 0.5 \times 10^{22}$ Ам²**, что почти в половину меньше его современной величины. Это говорит в пользу гипотезы [Stevenson *et al.* 1983; Buffett *et al.* 1992], согласно которой на ранней стадии эволюции Земли, когда её твёрдое внутреннее ядро ещё не было сформировано, эффективность генерации геомагнитного поля была относительно невелика. Соответственно, невелика была и палеонапряжённость, что может объяснить доминирование низких значений VDM в архее-протерозое.

Stevenson D.J., Spohn T., Schubert G. Magnetism and thermal evolution of the terrestrial planets // Icarus. 1983. V. 54. № 3. P. 466-489. doi:10.1016/0019-1035(83)90241-5.

Buffett B.A., Huppert H.E., Lister J.R., Woods A.W. Analytical model for solidification of the Earth's core // Nature. 1992. V. 356. № 6367. P. 329-331. doi:10.1038/356329a0.

Глубинное строение лакколита Бештау (Пятигорский вулканический центр)

Жостков Р.А.¹, Масуренков Ю.П.¹, Дударов З.И.², Долов С.М.² Данилов К.Б.³

Аспирант

1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

2 – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

3 – Институт экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук

E-mail: shageraxcom@yandex.ru

Пятигорские лакколиты демонстрируют заметное кольцевое расположение тектонических и петро-геохимических признаков, проявляющихся и в особенностях строения гидротермальной системы Кавказских Минеральных Вод как непосредственные и закономерные элементы системы более высокого порядка, а именно, флюидно-магматической системы вулканического центра.

Показано, что такое расположение хорошо аппроксимируется системой концентрических изолиний, образующих в общем изометричную фигуру с центром, расположенным, примерно, в 10 км к западу от вершины Бештау над зоной перегиба поверхности мантии, а концентрация гидрокарбонатов в центре аномального участка превышает концентрацию их на периферии в шесть раз. На основе данных петро-геохимических и геологических исследований проанализирована действующая гидротермальная система с очевидными чертами ювенильного происхождения, длительность существования которой измеряется, по меньшей мере, первыми миллионами лет.

Представлены результаты профильных геофизических исследований лакколита Бештау (Пятигорский вулканический центр), которые были выполнены летом 2011 года с применением метода низкочастотного микросейсмического зондирования. Построен вертикальный геофизический разрез до глубины 30 км с использованием модифицированного алгоритма обработки первичных данных, что позволило улучшить результаты расшифровки и в последующей интерпретации более детально оконтурить глубинные геологические структуры.

Таким образом, выявлены связи гидрохимических свойств Кавказских Минеральных Вод со структурными и петро-геохимическими особенностями строения флюидно-магматической системы Пятигорского вулканического центра и тем самым доказана принадлежность КМВ к гидротермальному элементу этой системы.

Получены новые данные о глубинном строении лакколита Бештау и выполнена их совместная интерпретация с более ранними данными геолого-геофизических и петро-геохимических исследованиями.

Литература

1. Горбатилов А.В. Пат. РФ №2271554 // Бюл. Изобр. 2006, №7.
2. Данилов К.Б. Адаптация метода микросейсмического зондирования для выделения кимберлитовых трубок взрыва на территории Архангельской области // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки, 2010, № 4.
3. Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л. Современная флюидно-магматическая система Пятигорского вулканического центра // ДАН (Геофизика). 2010. Т. 435. № 6. С. 815 – 820.