

Основные результаты законченных работ (или крупных этапов работ), полученные ИФЗ РАН в 2007 г. (том II)

Внутреннее строение и динамика Земли

1. По результатам интерпретации сейсмологических данных установлено, что Индийский субконтинент, который по геологическим признакам является архейским кратоном, не имеет высокоскоростного мантийного кия, характерного для докембрийских кратонов. Непосредственно под корой Индийского щита залегают породы со скоростью поперечных волн около 4.5 км/с вместо 4.7– 4.8 км/с, характерных для кратонов. Отсутствие мантийного кия объясняет сверхмобильность Индийской литосферы в мезозое. Предложена модель субдукции индийской литосферы в районе Гималаев и построена скоростная модель коры и мантии западного Тибета. (Лаб.201. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Л.П Винник.)

2. Разработана теория низкочастотных колебаний земного ядра, позволившая существенно уточнить физические модели свободной и вынужденной нутации Земли, суточных земных приливов и длиннопериодных вариаций продолжительности суток. Исследована частотная зависимость динамической связи жидкого ядра с мантией Земли, возникающая из-за возбуждения вихревых течений в столбах Прудмена-Тэйлора. (Лаб.202. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Молоденский С.М.)

3. Выполнены определения палеонапряженности магнитного поля Земли, удовлетворяющие

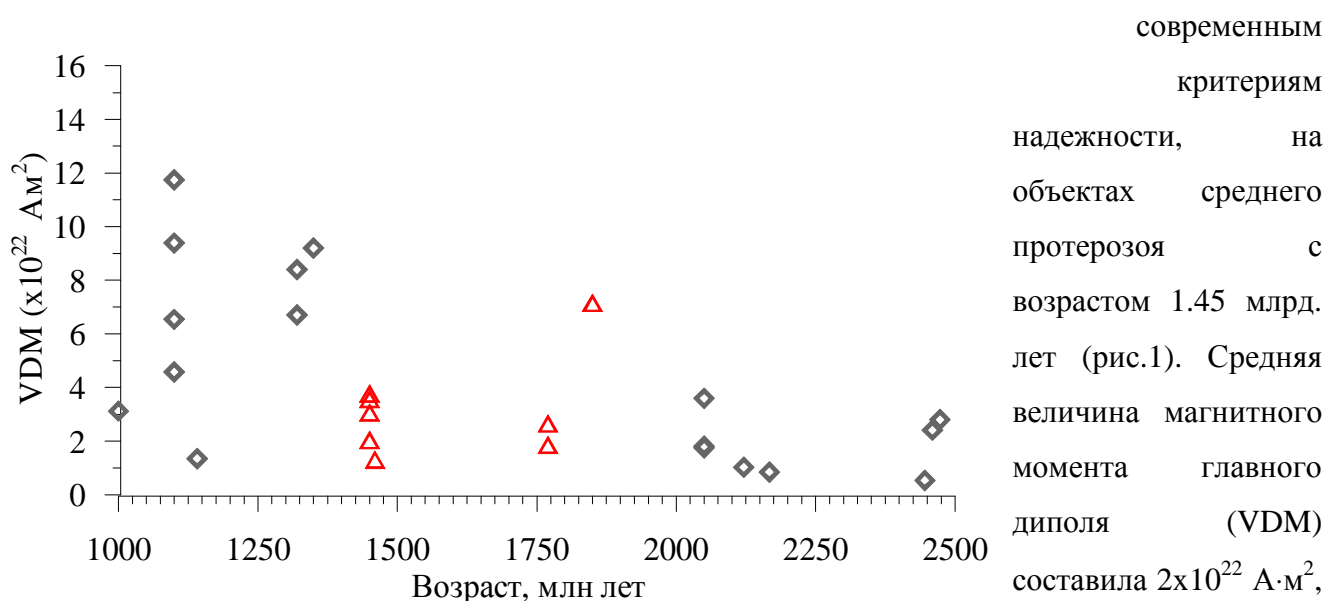


Рис. 1. Определение палеонапряженности главного геомагнитного поля в протерозое (треугольниками показаны определения, полученные в ГО «Борок» ИФЗ РАН).

соответствующей величины для последнего миллиона лет. Возможное объяснение этому явлению дано в рамках гипотезы, согласно которой на ранней стадии эволюции Земли, когда её внутреннее ядро ещё не было сформировано, эффективность генерации геомагнитного поля была относительно невелика, что объясняет доминирование низких значений VDM в археопротерозое. Возникновение и рост внутреннего ядра резко усиливает эффективность генерации, что должно отразиться в увеличении VDM при движении по оси времени справа налево, и такая тенденция, действительно, просматривается на рубеже 1400 млрд. лет. (ГО “Борок”. Научный руководитель – д.ф.-м.н. В.П.Щербаков)

4. Проведена оценка температур, необходимых для полного превращения лепидокрокита в гематит (рис.2). Оказалось, что полная гематизация при достаточно разумных геологических временах (1-10 млн лет) требует регионального прогрева породы до температур не ниже 275-300°C. (ГО “Борок”)

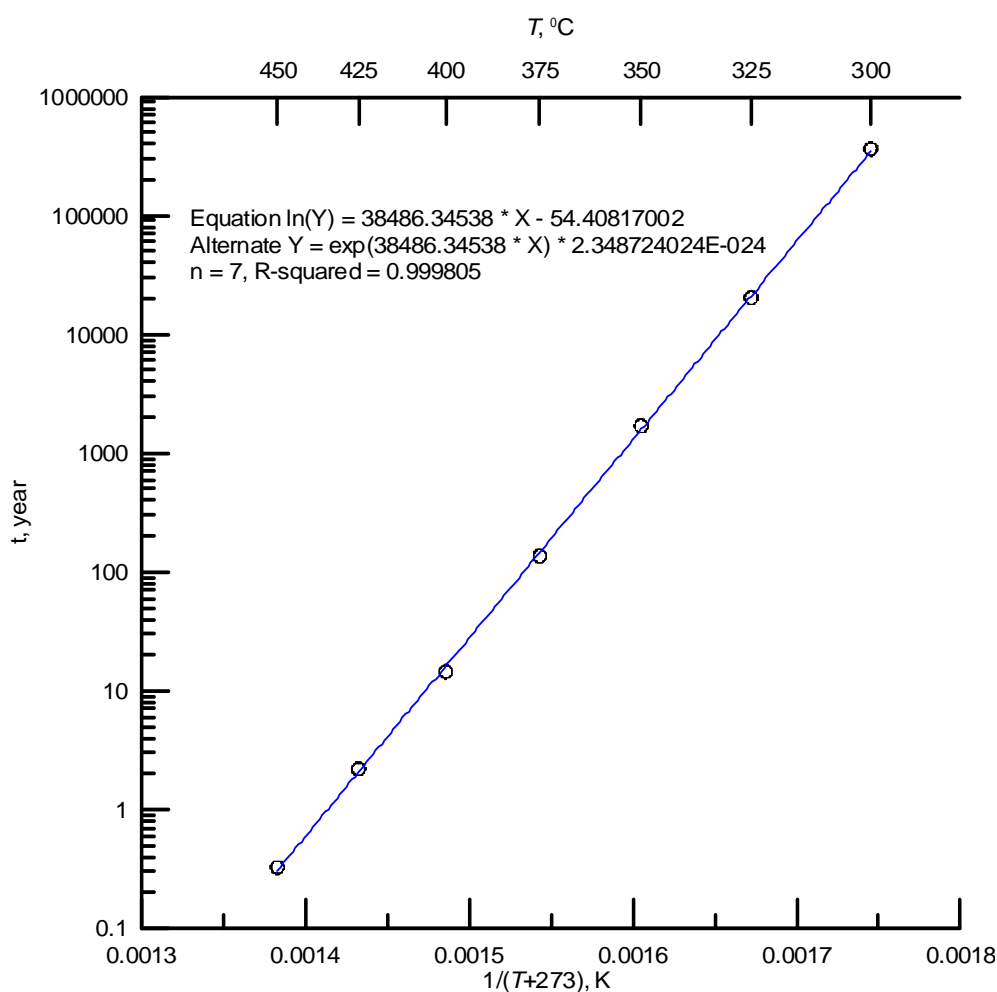


Рис. 2. Изменение времени, необходимого для завершения превращения лепидокрокита в гематит при разных температурах.

5. Путём нейросетевого анализа магнитотеллурических и температурных данных, выполненного с использованием оригинальных алгоритмов и программ, построены модели электропроводности геотермальных зон Травале (Италия), Татапани (Индия). Построена альтернативная трехмерная модель электропроводности земной коры территории Грузии (совместно с Лабораторией геотермики Института геофизики Грузии). (ЦГЭМИ. Научный руководитель – В.В.Спичак.)

6. Выполнена одномерная инверсия амплитудных и фазовых кривых магнитотеллурического зондирования в Тобол-Ишимском регионе Западной Сибири, и по фазовым кривым впервые в этом регионе получены оценки верхней кромки корово-мантийной аномалии электропроводности и её удельной электропроводности: $\sim 70 \pm 10$ км и $10 \div 50$ Омм соответственно. (ЦГЭМИ)

Сейсмология: физика сейсмического процесса, сейсмичность, прогноз.

7. Установлена аналогия развития сейсмического процесса перед двумя сильнейшими за последние 10 лет землетрясениями России: Кроноцким 1997 г. с магнитудой $M=7.8$ и Симуширским 2006 г. с $M=8.2$. В обоих случаях за несколько лет до этих землетрясений в области их очагов возникли аномалии сейсмического затишья с линейными размерами 200 км, сменившиеся затем аномалиями активизации с размерами 100 км. За несколько дней до землетрясений отмечалось резкое ускорение сейсмичности, позволявшее рассчитать время и энергию ожидаемого землетрясения. Результат свидетельствует о возможности поэтапного уточнения сейсмического прогноза от долгосрочного к краткосрочному. (Лаб. 301. Научный руководитель – чл.-корр. РАН Г.А.Соболев)

8. Выявлены значительные изменения сейсмического режима Земли в период 1982–1993 гг., заключающиеся в уменьшении в три и более раз частоты возникновения крупных землетрясений (магнитуды $M=7.0-8.0$), а также в интенсивной активизации планетарной сейсмичности после этого относительного сейсмического затишья (рис. 3). Совместные исследования особенностей развития сейсмогеодинамических и гидрогеодинамических процессов позволили обнаружить определенный синхронизм между изменениями сейсмического режима Земли и уровня водной поверхности в Мировом океане. Природа обнаруженных явлений может быть объяснена сейсмогеодинамическим режимом зон

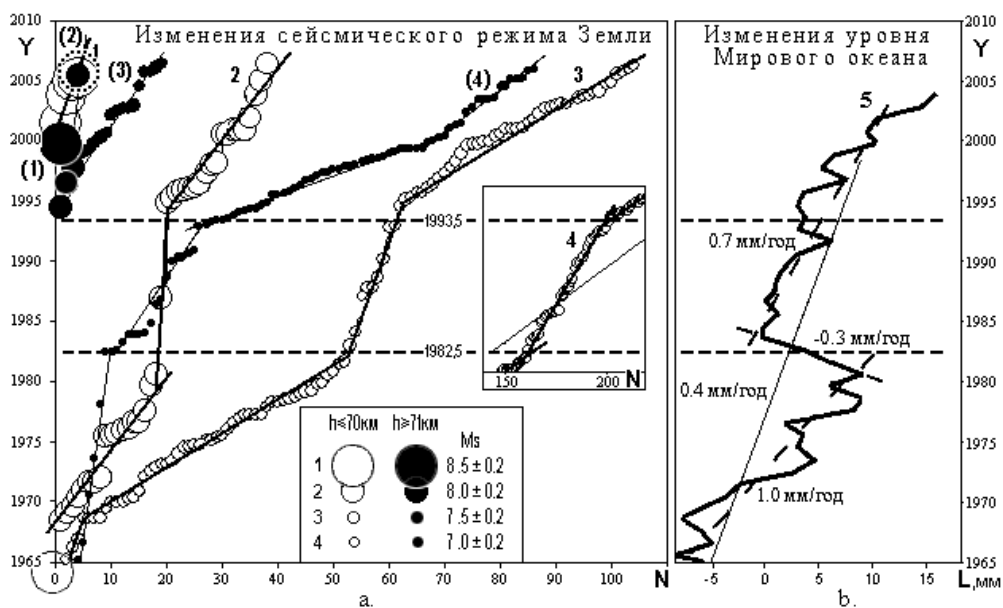


Рис.3. а). Графики накопления планетарных сейсмических событий с магнитудами 8.5 ± 0.2 , 8.0 ± 0.2 , 7.5 ± 0.2 и 7.0 ± 0.2 в период 1965–2006 гг. 1 – 4 – тренды возникновения землетрясений с гипоцентрами не глубже $h = 70$ км; пунктиром показан эпицентр землетрясения с $M=8.3$, подтвердившего развиваемую концепцию; (1) – (4) – то же для сейсмических событий с гипоцентрами на глубине $h > 70$ км. б). Изменение уровня Мирового Океана, отражающее изменение сейсмического режима Земли.

поглощения (субдукции) литосферных плит по периферии Тихого и Индийского океанов. (Лаб. 307. Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Д.Завьялов)

9. Выполнены фундаментальные исследования динамики параметров сейсмического режима для уточнения сейсмической опасности участка трассы нефтепровода Алдан–Сковородино. Они включили: уточнение исторического и инструментального каталогов землетрясений; оценку глубины землетрясений, влияющих на результаты расчетов ожидаемых максимальных ускорений; анализ графиков повторяемости землетрясений в различном диапазоне магнитуд; разделение сейсмичности на сосредоточенную и рассеянную компоненты. В дополнение к этим исследованиям в рамках хозяйственного договора были выполнены полевые сейсмологические наблюдения. Установлено, что на участке трассы нефтепровода Алдан–Сковородино нет областей с ожидаемыми сейсмическими воздействиями 9 и выше баллов. На наиболее опасном участке в районе Чульман–Тында граница в 8.5 баллов расположена дальше от трассы по сравнению с картой общего сейсмического районирования ОСР-97. Это в практическом плане означает большую вероятность безопасной прокладки нефтепровода. (Лаб. 305. Научный руководитель – д.ф.-м.н. С.С. Арефьев)

10. Построены схемы пространственного распределения современных геодинамических режимов, стадий их проявления, фаз активности и сейсмического потенциала для подвижных

областей Евразии. Выполнено исследование палеосейсмодислокаций, связанных с сильными древними, доисторическими землетрясениями в Сочи-Краснополянском районе и северо-осетинском секторе предгорий Большого Кавказа. Проведено детальное исследование сейсмически активных геологических структур Сочи-Адлерской депрессии и Таманского полуострова а также зоны сочленения Большого Кавказа с Кубанским прогибом. (Лаб. 701. Научный руководитель – д.г.-м.н. Е.А. Рогожин)

11. Отработана методика оценки M_{\max} для территории юга Западной Сибири. Изучено проявление современных и древних землетрясений на территории Горного Алтая и южном обрамлении Сибирской платформы и Корякском АО. Получены новые материалы по геодинамической позиции и механизму очага Олюторского землетрясения 2006 г. Установлен период повторяемости сильных сейсмических событий в очаговых зонах катастрофических землетрясений произошедших в последние годы - Алтайского и Олюторского (Корякия). С новых позиций оценен уровень сейсмической опасности ряда крупнейших сейсмоактивных областей Евразии (России, стран СНГ и Центральной Европы). Проведено сопоставление альпийских и палеозойских (эпигерцинских) подвижных систем с точки зрения их геологической и сейсмической активности. (КПЦ. Научный руководитель – д.г.-м.н. Е.А. Рогожин)

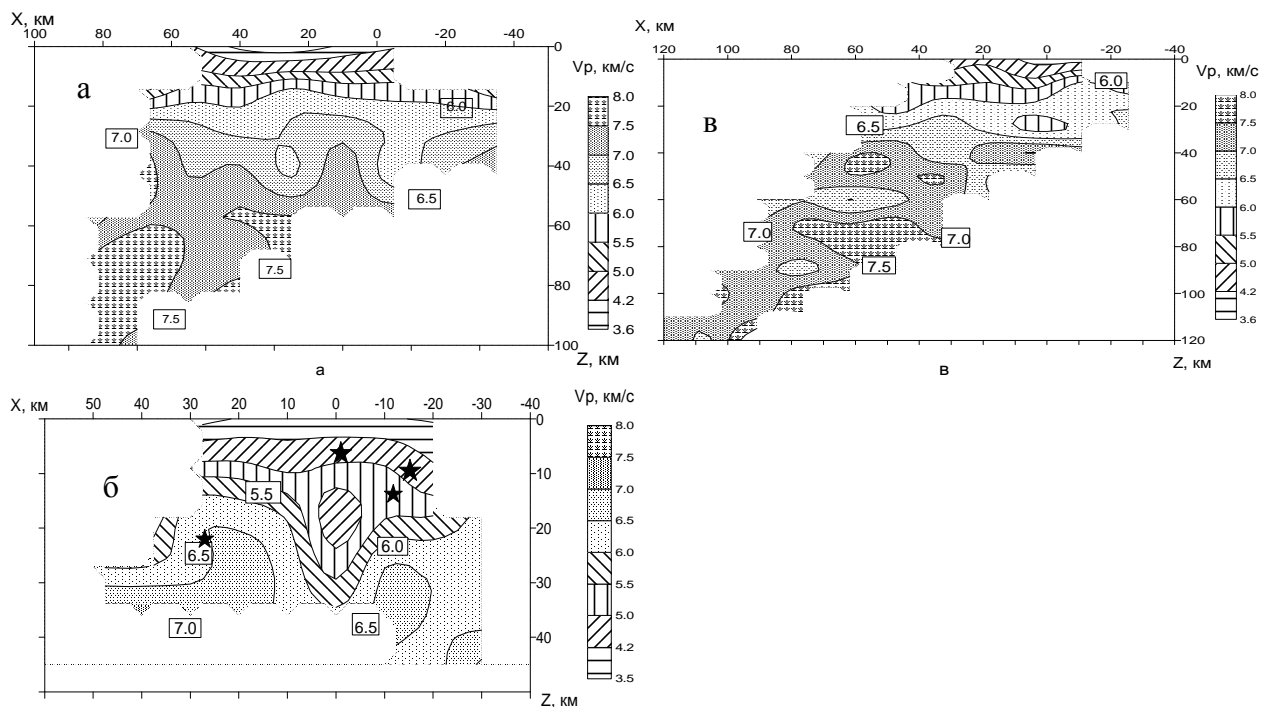


Рис. 4. Вертикальные разрезы $V_p(Z)$ в очаговой области по данным:

а) – 1976-1986 гг.; б) - 7.12.97 – 20.12.97; в) -1999 – 2004 гг. Звездочками показаны афтершоки $K_s \geq 13.0$,

12. Выполнены исследования скоростного строения очаговой зоны сильного Кроноцкого землетрясения ($M_w=7.8$) за длительный период. Расчеты показали, что скорость V_p претерпевает изменения как в период, предворявший сильное событие, так и в афтершоковый период, а также в последующий временной интервал затухания процесса активизации. (Рис.4) В зонах активизации отмечены низкие, значения скорости и их проникновение на большие глубины. Результаты расчетов поля скоростей свидетельствуют об отсутствии единой очаговой зоны, т.е. единого разрыва. А главный толчок и его два сильнейших афтершока, произошедших на юго-западе через 9 мин. и 7 ч. после главного события, вполне вероятно представляют собой самостоятельные землетрясения, произошедшие на Юго-западной границе подвинувшегося блока Тихоокеанской плиты в процессе перераспределения напряжений после главного толчка. (КПЦ. к.ф.-м.н. Л.Б.Славина)

Физические поля Земли: наблюдения и интерпретация.

13. По результатам натуральных наблюдений определены скорости переноса неоднородностей электрического поля в приземном слое, которые отличны от горизонтальной приземной скорости ветра и предположительно связаны с высотными профилями объемного заряда и компонент скорости ветра в погранслое. Показано, что максимум кросскорреляционной функции вариаций напряженности аэроэлектрического поля в приземном слое ΔE_z и вертикальной компоненты скорости ветра w в погранслое соответствует интервалу высот 80÷150 м (Рис.1). Утверждается, что скорость переноса неоднородностей электрического поля в приземном слое определяется горизонтальной скоростью ветра на высоте максимума кросскорреляционной функции величин ΔE_z и w . Предполагается, что наличие слоя кросскорреляционного максимума ΔE_z и w в условиях развитой конвекции обусловлено наличием аэроэлектрических структур и формированием слоев повышенной плотности

объемного заряда. (ГО “Борок”.
Научный руководитель – д.ф.-м.н.
С.В,Анисимов)

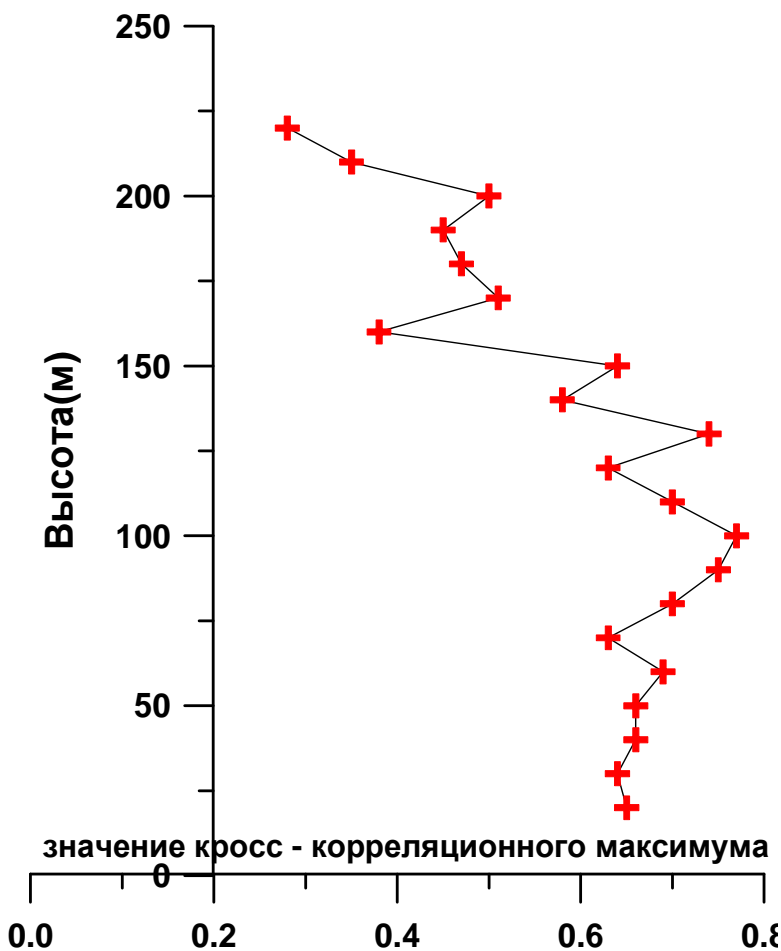


Рис. 7. Максимумы функции взаимной корреляции 10-ти секундных средних значений напряженности поля и вертикальной скорости ветра на различных высотах по данным 03.06.06 за интервал 08:00 – 09:00 UT.

14. Обнаружено явление приливных вариаций электрического поля Земли и дано его объяснение на основе теории электрокинетического эффекта. С этой целью рассмотрена задача о вариациях порового давления в поронасыщенной среде, возбуждаемых объёмными деформациями в приливных (лунно-суточных) волнах. Использовались уравнения Френкеля для сферической Земли с поронасыщенной средой. Получено аналитическое решение этих уравнений на примере суточной и полусуточной волны и рассчитано электрическое поле, в соответствии с электрокинетическим эффектом.

(Лаб. 401. Гохберг М.Б., Колосницын Н.И.).

15. На основе статистического анализа спутниковых сбоев и измерений космической радиации показано, что релятивистские электроны представляют собой один из основных факторов, негативно воздействующих на функционирование геостационарных спутников. Возможным механизмом ускорения магнитосферных электронов до релятивистских энергий может служить резонансное взаимодействие с ультра-низкочастотными (УНЧ) волнами. Для создания количественных моделей радиации в космическую геофизику были введены новые геомагнитные волновые индексы, характеризующие уровень УНЧ турбулентности в магнитосфере и солнечном ветре. УНЧ индекс лучше, чем какой-либо из параметров околоземной среды, предсказывает за 1-2 дня появление интенсивных потоков электронов релятивистских энергий в районе геостационарной орбиты. Новые индексы оказались также важными для широкого круга задач солнечно-земной физики (Лаб. 402. Научный руководитель – Пилипенко В.А.).

16. Разработана нелинейная теория магнитных депрессий (“магнитных дыр”), наблюдаемых в окрестности орбиты Земли и других планет земной группы. Рассмотрен процесс остановки магнитного коллапса, присущего таким системам, с образованием квази-стабильных уединенных магнитных структур. Результаты теории находятся в полном соответствии с современными наблюдениями на космических аппаратах (Лаб. 403. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Похотелов О.А.).

17. Путём селективного анализа равноденственных эпох подтверждена достоверность существования вариации Ригера (146-дневного периода повторяемости солнечных гамма-вспышек), выявленной как доминирующая вариация в спектре вертикальной составляющей электрического поля в водной толще оз. Байкал. Достоверно выделена вторая гармоника этой вариации (73 дня), которая не может быть объяснена ни теллурическим, ни магнитогидродинамическим полем. (ЦГЭМИ)

18. Выполнен крупный этап работ по уточнению гравитационного поля Земли в российском секторе Арктики. Разработаны предложения по уточнению методики проведения аэрогравиметрических съемок с учетом специфики высокоширотных арктических условий. Выбраны аэрогравиметрические комплексы для самолета – лаборатории, отработана схема расположения гравиметрической аппаратуры и антенн приемоиндикаторов GPS, решена задача

термостатирования помещения лаборатории на борту самолета- лаборатории. Решена сложная задача расположения базовых станций на арктическом побережье при выполнении аэрогравиметрической съемки южной части острова Новая Земля. Отработаны методические приемы аэрогравиметрической съемки с различным расположением контрольно-координирующих станций. Проведена крупномасштабная аэрогравиметрическая съемка в южной части Новой Земли. По результатам съемки была построена гравиметрическая карта масштаба 1:200 000. (Лаб. 801. Научный руководитель – д.ф.-м.н. В.Н.Конешов)

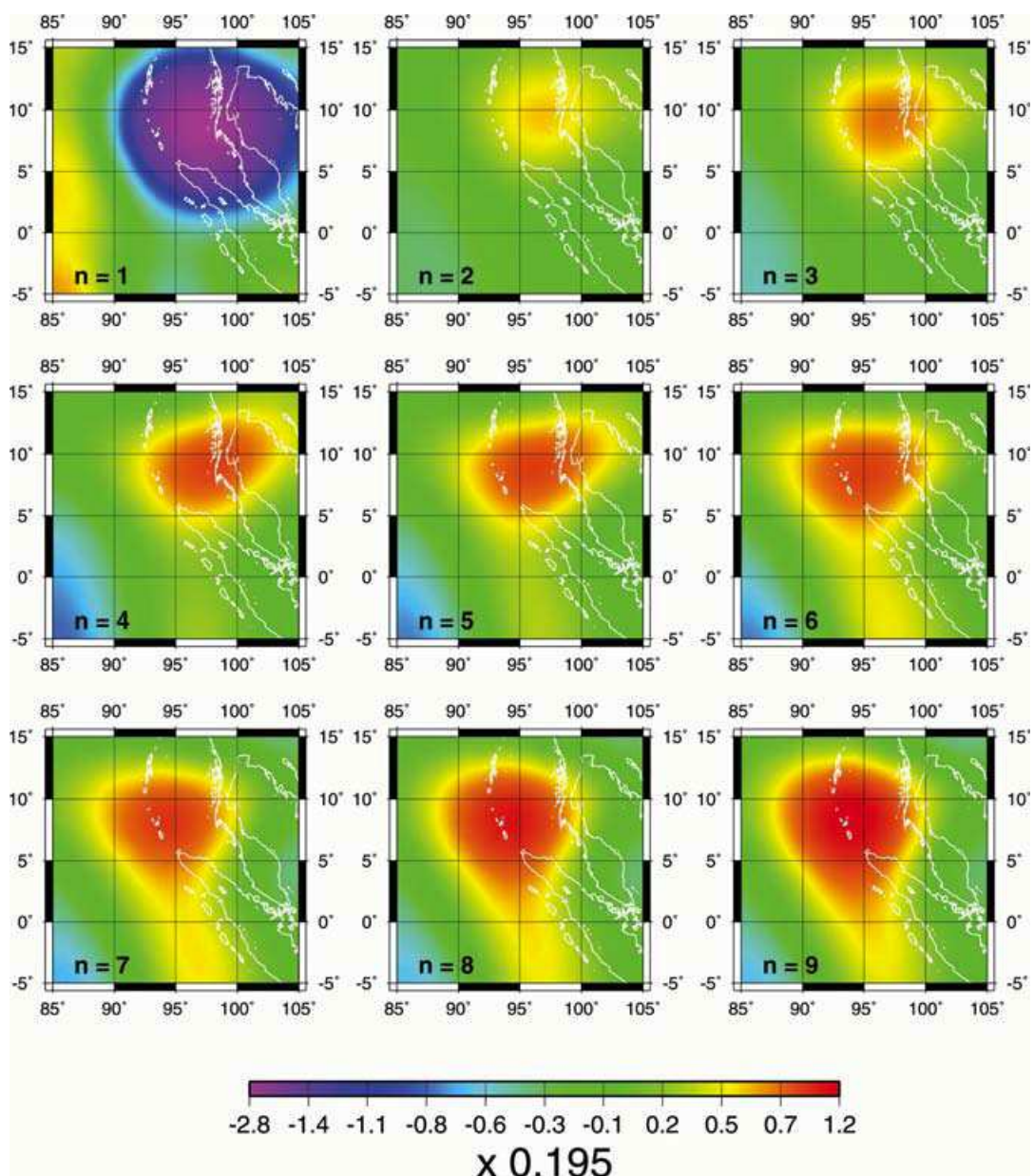


Рис. 5. Коэффициенты непрерывного вейвлет-преобразования масштаба 1000 км для разности высот геоида, осредненных за n месяцев до и после землетрясения на Суматре в декабре 2004 г. (значение n указано на рисунках, для получения высот в мм надо умножить значения на масштабный коэффициент 0.195). Первый рисунок демонстрирует изменение высот геоида во время землетрясения. Это величина была вычтена из остальных рисунков, которые показывают релаксацию ко-сейсмического сигнала во времени.

19. С использованием специально разработанной методики вейвлет-анализа на сфере проведен анализ временных вариаций глобального гравитационного поля от землетрясений на Суматре в декабре 2004 и марте 2005 г (рис.5.). Проведено сопоставление полученного сигнала с теоретическим, рассчитанным от модели поверхности разрыва. При исследовании эволюции сигнала во времени обнаружена его аномально быстрая релаксация в течение первых 10 месяцев после землетрясения. (Лаб. 507. Научный руководитель - В.О. Михайлов; в сотрудничестве с сотрудниками Института физики Земли Парижа).

20. Разработан алгоритм совместной инверсии данных активной сейсмической томографии и аномалий силы тяжести с автоматической адаптивной вэйвлет-параметризацией трёхмерной скоростной модели среды и глубин преломляющих и отражающих границ. Данная технология позволяет значительно снизить размерность задачи и построить модель переменной детальности, которая определяется разрешающей способностью конкретных сейсмических данных. Алгоритм опробован на серии теоретических примеров (рис.6) и применён к изучению

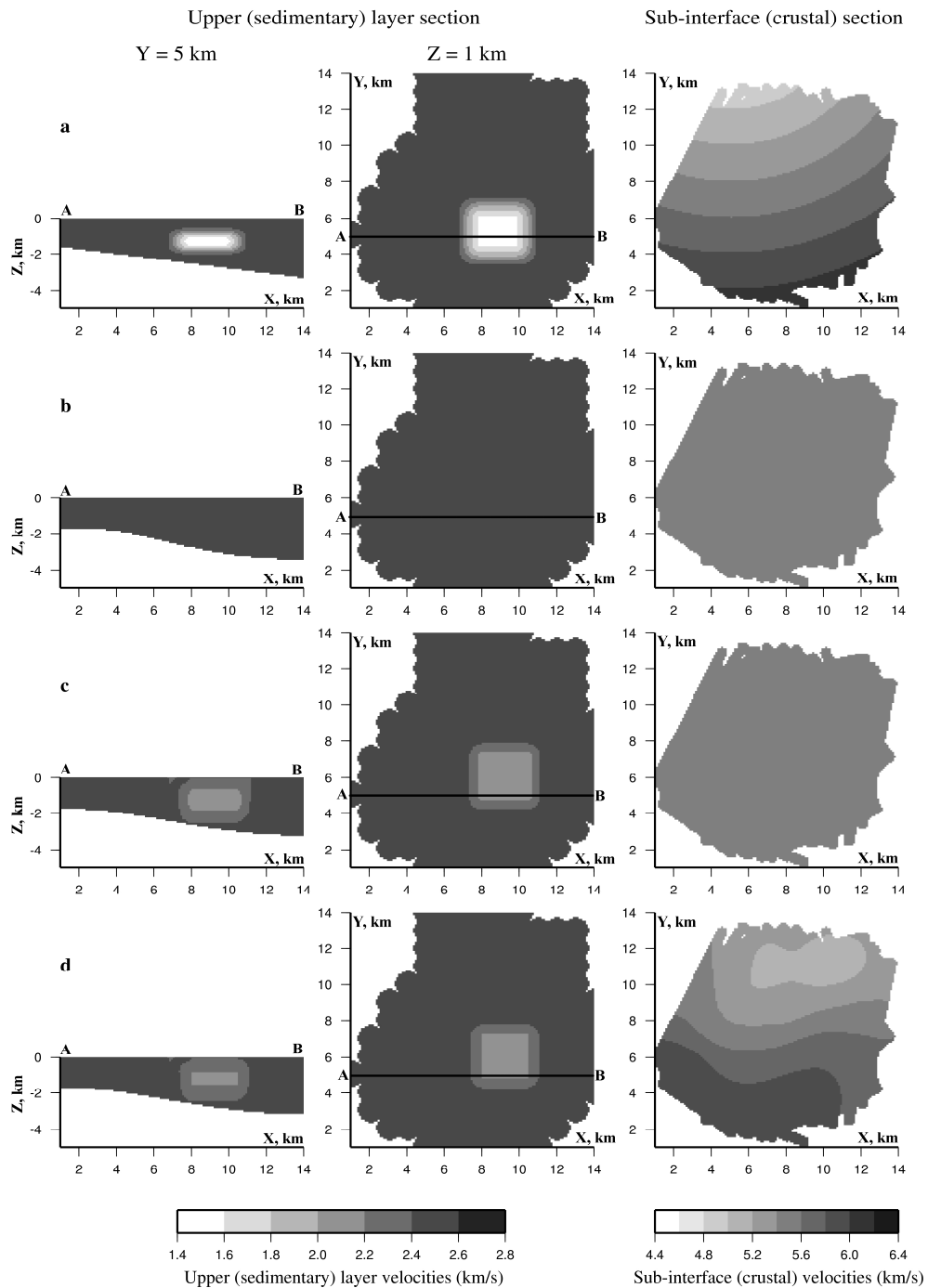


Рис.6. Построение трёхмерной скоростной модели среды по данным активной сейсмической томографии с применением адаптивной вэйвлет-параметризации. а - теоретическая модель, б-г - реконструкция модели по итерациям.

строения вулкана Везувий по результатам проекта TOMOVES. (Лаб. 507. С.А. Тихоцкий, в сотрудничестве с У.Ахауером, Институт физики Земли в г. Страсбурге, Франция).

21. Предложен новый метод интерпретации данных тензорной градиентометрии - метод тензорной деконволюции. На ряде численных примеров продемонстрирована его эффективность по сравнению с существующими методами (Лаб. 507. В.О. Михайлов в сотрудничестве с сотрудниками Института физики Земли Парижа).

22. Разработан новый алгоритм многоуровневой аппроксимации аномалий потенциальных полей, демонстрирующий высокую точность восстановления полей в условиях их значительной частотной и амплитудной неоднородности по площади, неравномерной сети наблюдений и горного рельефа. С помощью этого алгоритма построена аппроксимационная модель аномального магнитного поля для региона Северного Кавказа и Предкавказья в масштабе 1 : 1 000 000. На основе этой модели впервые созданы сводные карты аномального магнитного поля для данного региона, приведённые к единой высоте, а также с обтеканием рельефа и комплект карт трансформант аномального поля. (Лаб. 507. Д.Ю.Шур, С.А.Тихоцкий).

23. Выполнен комплекс работ по созданию на Северном Кавказе в районе Эльбрусского вулканического центра современной геофизической обсерватории, включающей наклонометрическую и магнитовариационную станции, стационарный кварцевый гравиметр, сейсмостанцию, распределённые прецизионные датчики температуры. Обсерватория оснащена современными цифровыми регистраторами с системой удалённого управления и автоматизированной передачи суточных данных. В обсерватории также установлены источники резервного электропитания, альтернативные каналы связи для удалённого управления, система контроля доступа в помещения. (Лаб. 703. Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Е.Собисевич)

24. В результате анализа результатов электромагнитных зондирований методом переходных процессов и обширного численного трёхмерного моделирования разработана геоэлектрическая модель кимберлитовых трубок, встречающихся в пределах Восточно-Европейской платформы, и выделен ряд характерных особенностей в измеряемых полях, позволяющих оптимизировать технологию измерений, интерпретации и обнаружения таких трубок. (ЦГЭМИ)

25. Создание комплекса программ по совместному анализу большого числа временных рядов и представлению результатов анализа в виде наглядных частотно-временных диаграмм эволюции

решающих статистик синхронного поведения, помогающих при принятии решений о приближении анализируемых объектов к критическим состояниям. Разрабатываемый комплекс может найти свое применение при прогнозе землетрясений, долгосрочном прогнозе развитии опасных природных (геологических) процессов, прогнозе социологических параметров, долгосрочном планировании потребления природных ресурсов, оценке риска и ущерба от опасных природных явлений и планирования страховых мероприятий, смягчающих их последствия. (Лаб. 803. д.ф.-м.н. А.А.Любушин)

Геофизическое приборостроение.

26. В результате теоретических исследований завершен важный этап в получении полного решения уравнений движения сложной колебательной системы с пятью степенями свободы – маятника Кавендишевского типа, используемого как спектр-анализатор микросейсмического фона. Устройство может быть эффективно применено в системах прогноза землетрясений. По результатам совместных с ЦНИИ «Электроприбор» исследований на эту тему подана заявка на патент. (Лаб. 802.)