

## **ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ 1.4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ**

### **Программа 1.4.1. Математическое моделирование сложных природных и технических систем**

В Институте вычислительной математики и математической геофизики разработан спектральный метод решения двумерных уравнений Максвелла в анизотропных средах с релаксацией параметров среды, основанный на разложении по функциям Лагерра во временной области. Он сводит операцию свертки функций, которая используется для описания каждого механизма релаксации, к простой сумме произведений гармоник. Метод устойчив как в волновой области распространения поля, где проводимость близка к нулю и где спектральный метод Фурье неустойчив, так и в диффузной области распространения поля, где проводимость велика и явный конечно-разностный метод Адамса—Бошфорта требует очень малого шага по времени. Точность решения спектральным методом Лагерра сравнима с точностью решения явным конечно-разностным методом высокого порядка точности.

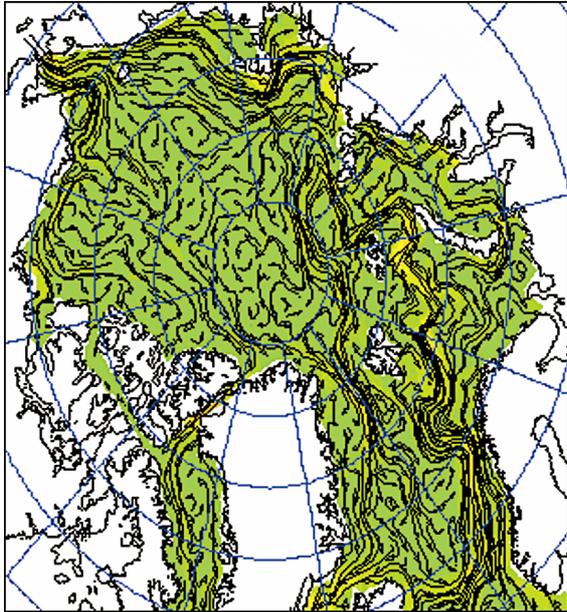
В том же Институте разработана концепция продолжения волнового поля, адаптированная к задаче изучения неоднородностей Земли и вибромониторинга сейсмически опасных зон земной коры. Установлены функциональные связи, существующие в общем случае между процедурой продолжения волновых полей (в обратном направлении времени) и решениями обратных задач рассеяния волн и восстановления источников поля. Продолжение волнового поля в обращенном времени с поверхности наблюдения в глубь Земли моделирует процесс распространения сходящейся системы волн, которая фокусируется в тех точках пространства, где существуют первичные или вторичные источники волн (неоднородности среды, зоны трещиноватости, дилатансии и т. п.). Тем самым пересчет поля напряжений, наблюдаемого в приповерхностном (пограничном) слое дилатансии, в глубь Земли представляет основу для мониторинга зарождения очаговой зоны землетрясения.

Предложена новая методика построения дискретных аналогов моделей геофизической гидродинамики и моделей переноса и трансформации примесей в атмосфере и океане.

Оригинальным элементом является гибридная дискретно-аналитическая система аппроксимаций функционалов вариационного принципа для описания математических моделей и организации методов прямого и обратного моделирования с использованием основных и сопряженных задач. Новые схемы и алгоритмы имеют адаптивную организацию и обладают свойствами абсолютной устойчивости, монотонности, транспортности, дифференцируемости относительно переменных состояния и параметров. Преимуществом предложенных аппроксимаций является отсутствие эффектов «самодиффузии», присущих традиционно используемым схемам с монотонизаторами.

На основе совместной модели, объединяющей модели Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана с учетом динамики льда и шельфовых процессов, создана система вложенных моделей для детального изучения арктических морей. Широкий арсенал средств для изучения разнородных процессов обеспечивается взаимодействием крупномасштабной  $z$ -координатной модели океана с региональной  $\sigma$ -координатной моделью, допускающей подробное описание поверхностного и придонного пограничных слоев, склоновой динамики, генерации и распространения поверхностных волн (рис. 4).

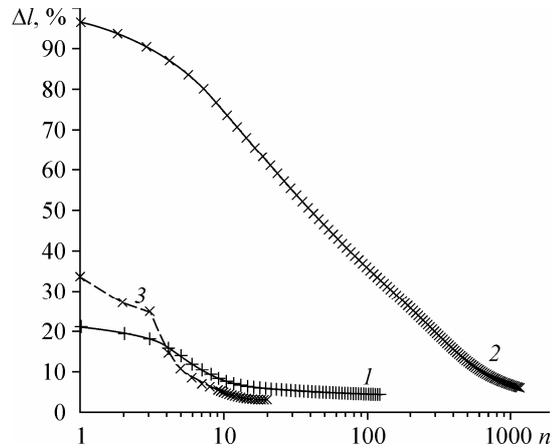
На основе новой модификации теоремы о центральном сечении впервые разработан и исследован итерационный алгоритм Гершберга—Папулиса ( $\Gamma$ — $\Pi$ ) в постановке веерной томографии. Продемонстрированы численные результаты, полученные путем реализации такого веерного итерационного алгоритма. Изучено влияние аддитивного шума в проекциях на точность реконструкции, разработаны критерии применения регуляризации и сглаживания проекций для подавления шумовых компонент. Для сравнительного анализа качества реконструкции веерного алгоритма  $\Gamma$ — $\Pi$  приведены результаты параллельного алгоритма  $\Gamma$ — $\Pi$  с новыми модификациями (способствующими улучшению точности реконструкции) и итерационного алгоритма, основанного



**Рис. 4.** Рассчитанное по модели поле скорости на глубине 250 м.

на разложении обратного оператора в ряд Неймана (NDSL) (рис. 5). Предложенный итерационный алгоритм Г—П может быть применен для обработки экспериментальных данных в задачах физической томографии с малым числом ракурсов.

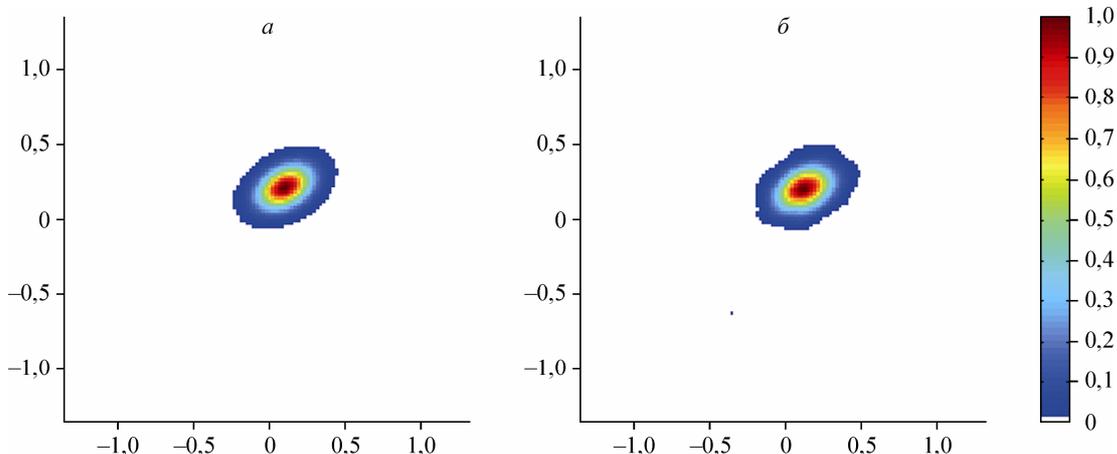
Создана информационно-вычислительная система (ИВС) «Вибросейсмическое просвещение Земли». ИВС основана на данных, полученных в ходе уникальных экспериментов по вибропросвечиванию Земли с помощью мощных управляемых источников, проводившихся на протяжении 1995—2007 гг. в Алтае-Саян-



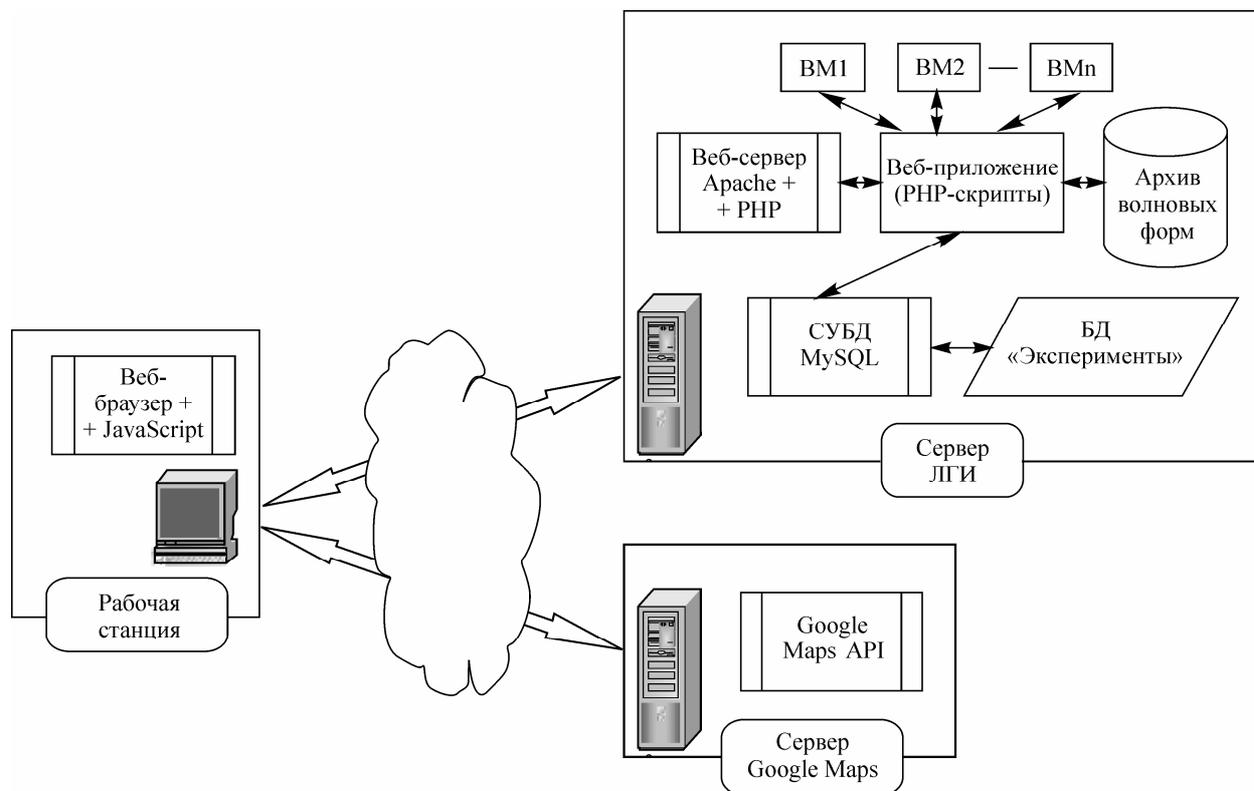
**Рис. 5.** Зависимость ошибок реконструкции от числа итераций для модели в виде повернутой и сдвинутой эллиптической гауссианы (см. ниже рис. 6, *a*) для трех алгоритмов с общими параметрами восстановления. 13 ракурсов.

1 — параллельный Г—П; 2 — NDSL; 3 — итерационный алгоритм Г—П.  $\Delta l$  — отношение рассчитанного размера  $L$  объекта к его истинному размеру  $L_0$ .

ском регионе, Байкальской рифтовой зоне, Таманской грязевулканической провинции. База данных содержит структурированную информацию о экспериментах и включает свыше 20000 сеймотрасс, хранящихся в файловом архиве системы. Пользователи ИВС имеют возможность с помощью стандартного веб-браузера проводить поиск в базе данных по различным параметрам вибропросвечивания, просматривать найденные сеймотрассы, осуществлять интерактивный анализ данных по классическим и разработанным в ЛГИ алгоритмам с выводом результатов непосредствен-



**Рис. 6.** Точная модель в виде повернутой и сдвинутой эллиптической гауссианы (*a*) и ее реконструкция с помощью итерационного алгоритма Г—П (*b*, см. 3 на рис. 5).



**Рис. 7.** Структурная схема ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли».

но в веб-браузер. Система также включает в себя ГИС, позволяющую через веб-браузер

работать с картами и спутниковыми снимками районов проведения экспериментов (рис. 7).