

ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ 3D ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ

Кочнев В.А., Васильев Д.В., Гоз И.В., Сидоров В.Ю (ИВМ СО РАН)

Технологии являются конечным, важным продуктом научно-исследовательских, конструкторских и опытных работ, направленных на опробование и доводку этого результата. Основой представляемых технологий являются пакеты программ ADG-3D и ADM-3D и рекомендации по их применению. Первая версия пакета ADG-3D была создана в 1992 г и использовалась в производственном режиме в течение 10 лет. Особенности постановки задачи и обоснование метода, его опробование опубликованы в работах [5, 6].

В основу разработки положена слоисто-блочная модель среды, состоящая из набора прямоугольных параллелепипедов с заданными размерами по осям X и Y. Центры параллелепипедов образуют равномерную сетку, в узлах которой находятся аномальные значения гравитационного или магнитного поля. Высота параллелепипедов равна толщине слоя в узле сетки. Число таких параллелепипедов равно $N=n_x \cdot n_y \cdot n_z$, где n_x и n_y – число узлов по осям X и Y, а n_z – число слоев. Каждый блок имеет свою плотность или избыточную плотность. При известной избыточной плотности в блоках прямая задача для любой точки пространства решается однозначно.

$$\Delta g = \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_y} \sum_{k=1}^{n_z} C_{ijk} \Delta \rho_{ijk}$$

где i, j, k – индексы трехмерных матриц C и $\Delta \rho$. C_{ijk} для каждой точки наблюдения своя и может быть рассчитана как

$$C_{ijk} = G \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{z \, dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

где G – гравитационная постоянная, $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ – границы одиночного блока, x, y, z – координаты элементарных точек внутри блока. Начало координат находится в точке, для которой рассчитывается аномальное поле.

Определенные трудности возникают при решении обратной задачи, в которой по значениям избыточного ускорения свободного падения Δg_{ij} определяются $\Delta \rho_{ijk}$. Как правило, число неизвестных значительно больше числа уравнений, следовательно, задача имеет бесконечное множество решений. Для преодоления этой и других трудностей разработан адаптивный метод, позволяющий найти решение, ближайшее к начальному. Причем имеется возможность влиять на уточнение тех или иных априорно известных параметров, задавая погрешности начальных приближений. Можно также решать обратные задачи, в которых избыточные плотности заданы, а необходимо определить положение внутренних границ. Новая версия пакета используется при решении производственных и исследовательских задач [8, 6, 12, 13].

Для решения 3D задач магнитометрии использована та же слоисто-блочная модель, но вместо плотностей каждый блок имеет свою магнитную восприимчивость.

Внешним магнитом, намагничивающим блоки, является магнитное поле Земли с компонентами H_x , H_y , H_z , которые являются входными параметрами. Аналитические формулы для параллелепипедов [1,2] более сложные, чем в гравиметрической задаче. Здесь приходится рассчитывать три компоненты аномального поля и получать из них вектор или скаляр аномалии полного магнитного поля ΔT_a . При известных параметрах модели прямая задача расчета всех компонент ΔH_x , ΔH_y , ΔH_z и ΔT_a решается однозначно. Трудности здесь возникают при исключении аномалий на краях модели. Краевой эффект был преодолен путем продолжения в бесконечность блоков, окаймляющих модель. Основные трудности возникают при решении обратной задачи. Они преодолеваются тем же путем, что и в гравиметрии.

Обратная задача может решаться одновременно по данным, полученным на нескольких уровнях высот, которые могут быть как плоскими, так и криволинейными.

Пакеты программ для решения прямых и обратных 3D задач гравиметрии и магнитометрии и рекомендации по их применению переданы в гравиметрическую экспедицию и используются для решения как региональных, так и детальных задач. Усеченные версии пакетов находятся на сайте <http://www.krasn.ru/geoph> и используются студентами в учебных целях. Учебный вариант отличается от производственного тем, что в нем введены ограничения на массивы. В нем $p_x=20$, $p_y=20$, $p_z=10$. В производственном варианте ограничений нет.

Пакеты используются для уточнения многослойных моделей разреза, полученных по сейсмическим данным и данным бурения по региональным профилям. Фрагмент такого многослойного разреза, полученный в гравиметрической экспедиции №3, видим на рис.1.

Пример результата использования пакета ADM-3D видим на рис.2. Результаты получены по съемкам на трех уровнях с облетом на высоте 150 м с высотами 900 и 2000 м.

Интересен результат использования пакета по съемкам в археологическом заповеднике «Аркаим» (Челябинская область). Эти результаты приведены в работе [11].

Литература

1. Алексидзе М.А., 1987. Приближенные методы решения прямых и обратных задач гравиметрии. – М.: Наука, – 336с.
2. Булах Е. Г., Шуман В. Н., 1998. Основы векторного анализа и теория поля. – Киев: Наукова думка.
3. Страхов В.Н. 1998. Что делать? (О развитии гравиметрии и магнитометрии в России в начале XXI века). РАН, Объединенный институт физики земли им. В.Ю. Шлитта. – М., 24с.
4. Кочнев В.А., 1988. Адаптивные методы интерпретации сейсмических данных (монография) Наука. Сиб.отд. Новосибирск., 152 с.
5. Кочнев В.А., 1995. Адаптивные методы решения обратных задач геофизики. (Учебное пособие). Красноярский государственный университет, ВЦК СО РАН (г.Красноярск). 130 с.
6. Кочнев В.А., Хвостенко В.И., 1996. Адаптивный метод решения обратных задач гравиметрии. - Геология и геофизика, №7, с.120-129.
7. Кочнев В.А., 2000. Путь осознания возможностей математических моделей и алгебраических уравнений в геофизике. Геофизика, №5, 2001 г.
8. Кочнев В.А., Васильев Д.В., Сидоров В.Ю., 2002. Технология решения трехмерных задач гравиметрии. Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравиметрических, магнитных и электрических полей. Материалы 29 сессии международного семинара им. Д.Г.Успенского. Екатеринбург, 28 января – 2 февраля 2002 г.
9. Kochnev V.A., Vasiliev D.V., Sidorov V.Y., 2002. The technique of solving 3-D gravity problems. – SEG International Exposition and Annual Meeting, Salt Lake City, 2002.
10. Kochnev V.A., Goz I.V., 2003. The technology of forward and inverse modeling for 3D and 2D magnetic data. Exp.Abstr. of International Geophysical Conference & Exhibition, Moscow 2003.
11. V. Kochnev, G.Zdanovich, B. Punegov., 2003. The Experiment in Applying 3D Technology of Magnetic Fields Interpretation at the archaeological site “Arkaim”. Proc. of the 31st Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. BAR International Series 1227, 2004. p.64-67

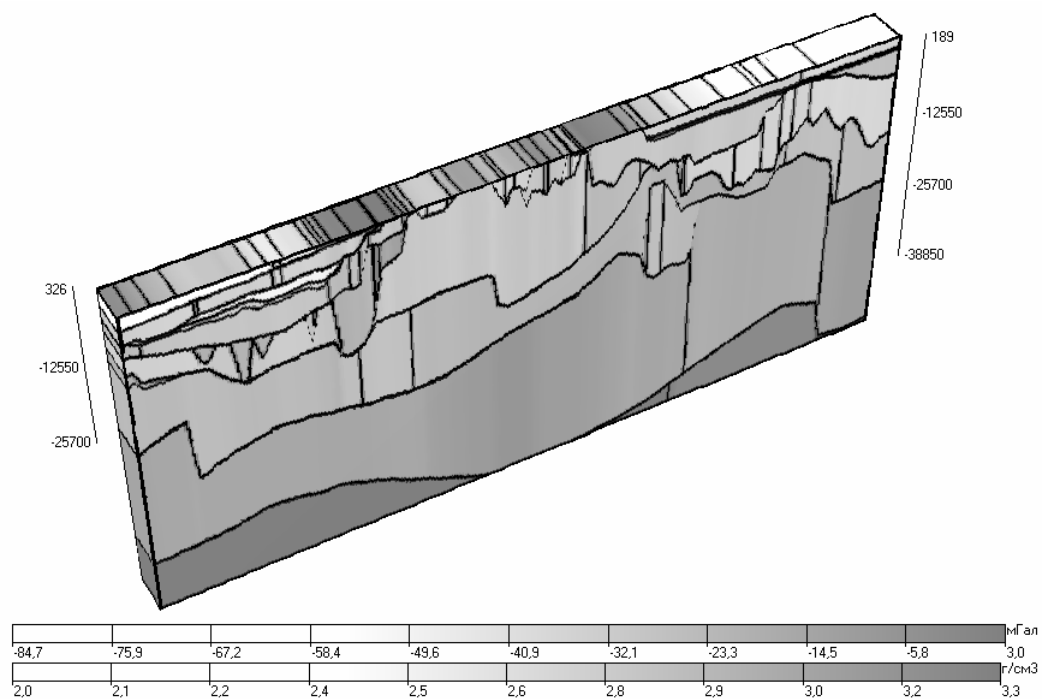


Рис. 1. Плотностная модель и аномальное гравитационное поле по региональному профилю.

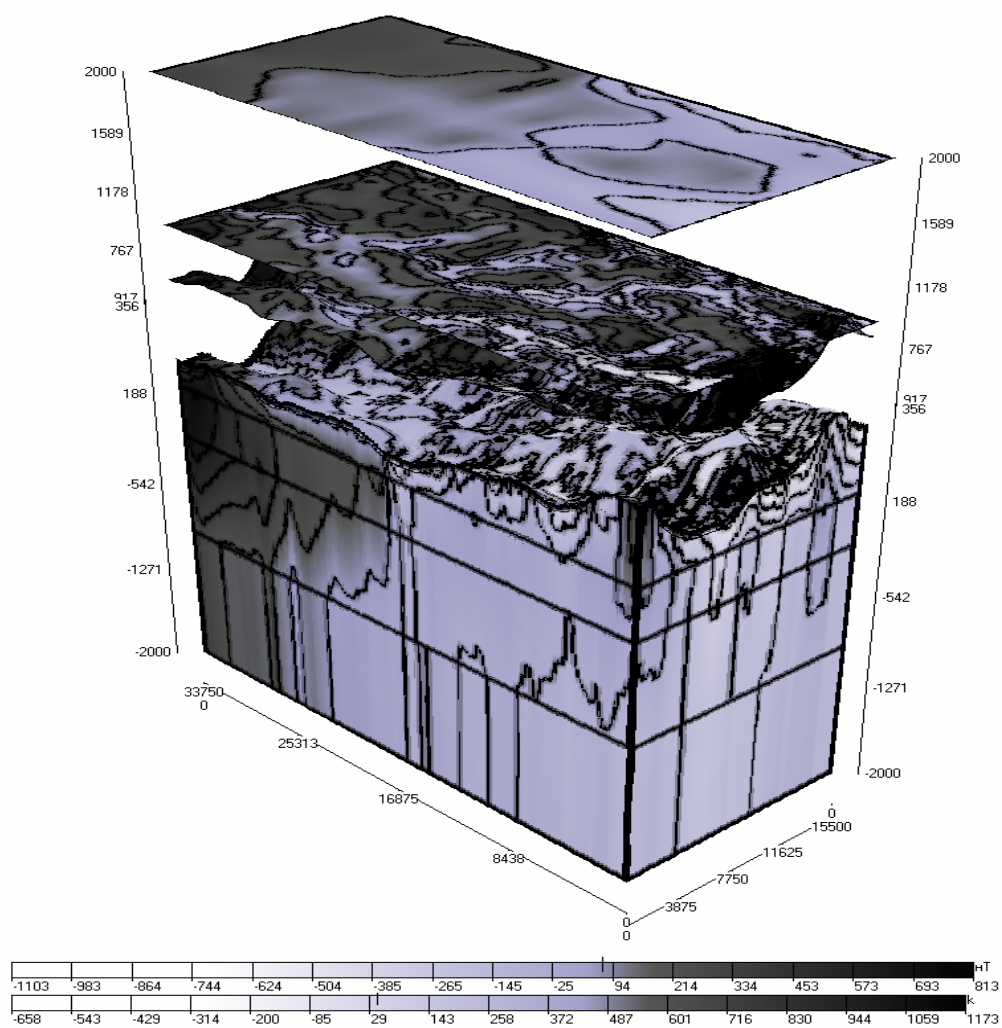


Рис. 2. Трехмерная модель магнитной восприимчивости и магнитные поля, по которым решалась обратная задача.