

УДК 550.383

Результат эксперимента по уточнению намагниченности шара с неоднородным ядром

Кочнев В.А., Гоз И.В., kochnev@icm.krasn.ru.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Введение

Новые возможности решения обратных задач магнитометрии [2, 11] позволили приступить к экспериментам по построению различных моделей намагниченности шара, дающих магнитное поле, близкое к нормальному полю Земли. На конференциях были представлены результаты нескольких экспериментов уточнения 6-слойной модели шара. В первых экспериментах [3,4,5] уточнялись слои модели однородно намагниченного шара, в последующих – неоднородно намагниченного [6,7], с вертикальным и боковым намагничиванием. Во всех экспериментах основное влияние на глобальное поле оказывали верхние и, частично, средние слои шара. В данной работе получена модель, в которой ядро является существенно неоднородным, а намагниченность в нем меняется от 0 до 55000 нТл (44 А/м).

Условия эксперимента

Модель шара включает 6 слоев. Первые три слоя моделируют северное полушарие, остальные – южное. Радиусы границ слоев – 6400, 6000 и 3200 км. Каждый слой аппроксимируется прямоугольными призмами с горизонтальными размерами 400x400 км. Высота призмы определяется вертикальной толщиной слоя в центре призмы. Таким образом, центральные призмы слоев имеют высоту 400, 2800 и 3200 км. Принята декартова система координат с началом в центре шара. Положительные направления по оси Z – к северному полюсу, ось X пересекает поверхность шара в точке 90° восточной долготы, ось Y – в точке 180°. Модель в плане, с учетом дополнительных боковых блоков, имеет размерность 35x35x6 блоков. Таким образом, модель, с которой мы будем оперировать, включает модель шара и дополнительные «лепестки», расширяющие пространство в области экватора до квадрата. За пределами сферы их мощности приняты равными 0.1 км. В технологии ADM-3D, используемой для моделирования и решения обратной задачи, предусмотрено расширение краевых блоков в бесконечность. По этой причине плоские тонкие однородно намагниченные блоки, пронизывающие модель в области экватора, создают нулевое поле, то есть не влияют на результаты эксперимента.

Точки расчета магнитного поля находятся на центральной вертикальной оси блоков на заданной высоте от поверхности модели. Всего поверхностей расчета поля принято 2. Одна над северным полушарием, другая – над южным.

На рис.1а,б видим нормальные магнитные поля IGRF-2005 на высоте 1 км. На рисунке, кроме полюса (POL) нанесены примерные положения городов мира: Лондон (LON), Екатеринбург (EKT), Красноярск (KRS), Токио (ТОК), Оттава (ОТВ), Канберра (СНВ), Пуэрто-Аренас (PAR), Дели (DEL). Города северного полушария обозначены заполненным кругом, южного – пустым. Как видно, оба поля являются асимметричными и меняются в пределах от 8000 до 67000 нТл. В поле северного полушария выделяются два максимума. Условно назовем их «якутский» (на рисунке – справа) и «канадский» (слева). Поле южного полушария имеет сильный максимум («южноавстралийский») и четко выраженный относительный минимум («южноатлантический»).

Обратная задача

Обратную задачу будем решать с использованием пакета ADM-3D-Earth [2]. Следует заметить, что в пакете ADM-3D используется адаптивный метод, который позволяет уточнять неизвестные параметры, не только учитывая априорные данные но и их априорные погрешности, а также и погрешности исходных данных.

Начальные приближения эффективной магнитной восприимчивости k после пробных экспериментов приняты равными $1000 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ для всех блоков модели. Намагничивающее поле H в экспериментах принято 1 эрстед. Зная k и H , можно получить намагниченность $I = kH$, выраженную в тесла. Для перехода к единицам СИ используем соотношение $1000 \text{ нТл} \approx 796 \text{ мА/м}$. Погрешности исходных данных приняты равными 1100 для слоев 1 и 6, 2200 для 2 и 5 слоев и 90000 для 3 и 4 слоев (ядра). Ниже приведены среднеквадратические невязки после 21 итерации решения обратной задачи.

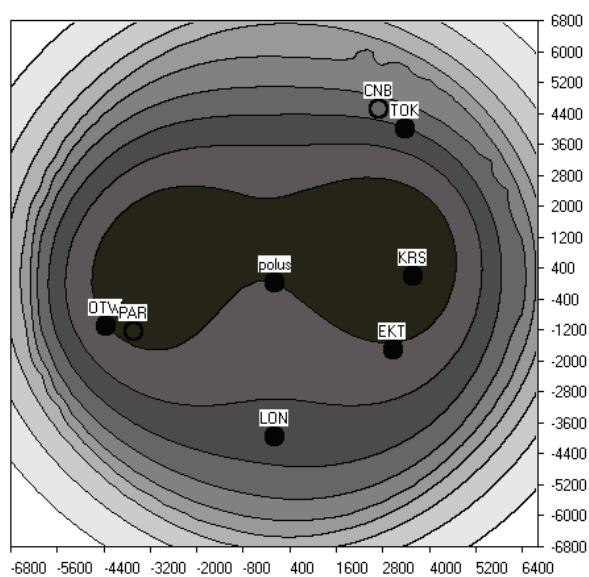
Уровни наблюдения	1	2	3	4	...	20	21
Северный	14801	8389	5076	3229		1286	1286
Южный	18382	7352	3459	1915		1241	1245

Как видно, процесс уточнения сходится. На рис.1 с,d видим, что разности исходного и модельного полей находятся в основном пределах 1000 нТл. Большие разности, достигающие 11000 нТл, наблюдаем за пределами шара.

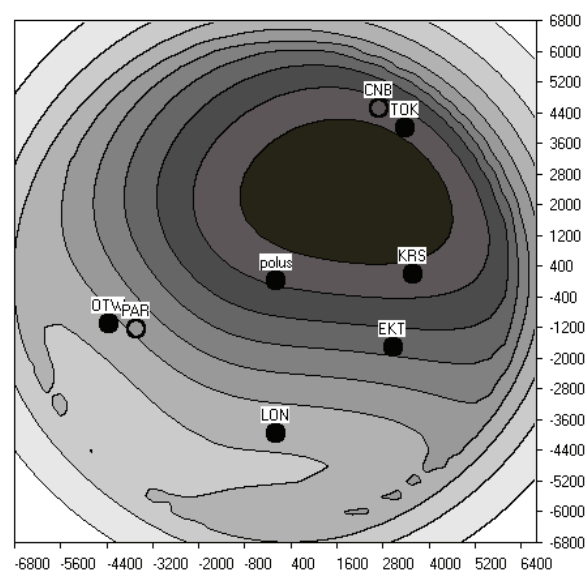
На рис.1 e,f видим, что исходные и модельные кривые практически точно совпадают и отличаются только в краевых частях. На разрезе модели, проходящих по меридиональному сечению $-90+90$ (рис.2a,b) видим, что незначительно изменились магнитные свойства слоев 2 и 5 и значительное изменение слоев ядра и внешних слоев. В северном полушарии магнитная восприимчивость первого слоя меняется от 1000 до $12740 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ. На нем выделена относительно отрицательная аномалия на северном полюсе и положительная вблизи экватора. В южном полушарии относительно отрицательная аномалия, более обширная и протяженная по широте. Аномалия повышенных значений эффективной магнитной восприимчивости с максимумом $13900 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ. выделяется вблизи экватора в интервале от 0 до 90 меридиана. Таким образом, северная и южная положительные аномалии, по-видимому, соединяются, создавая существенно асимметричную модель намагниченности верхнего слоя. Наиболее важной в приведенном эксперименте является модель ядра. В северном полушарии ядра выделяется две положительные аномалии, из которых более интенсивной и обширной является восточная. В южном полушарии сильно намагниченным является сектор от 0° до 90° .

В результате эксперимента получена трехмерная модель намагниченности шара. Это дает возможность рассмотреть модель в большом количестве сечений, из которых мы рассмотрели только два.

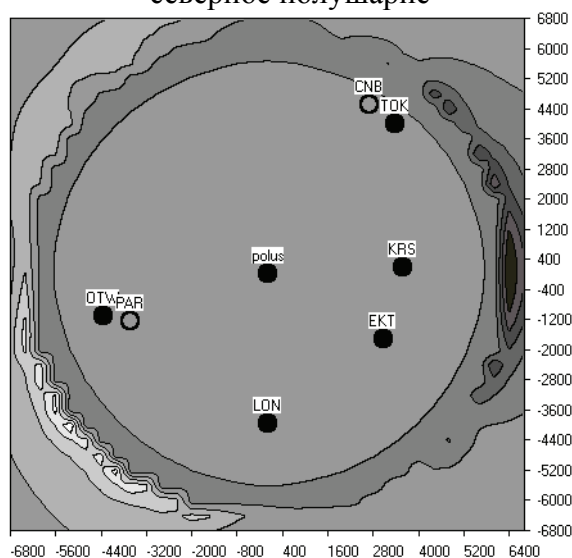
Более подробный анализ результатов приводится в докладе.



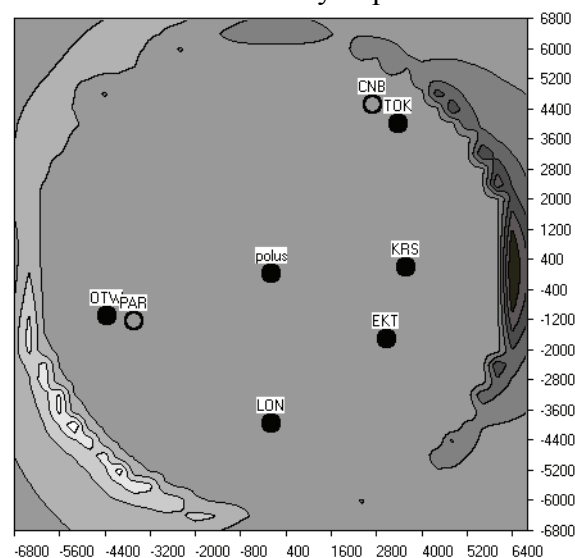
а. Магнитное поле IGRF-2005,
северное полушарие



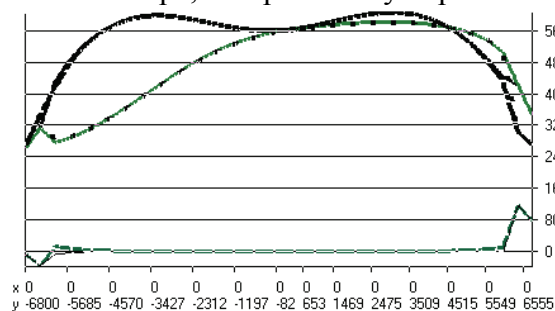
б. Магнитное поле IGRF-2005,
южное полушарие



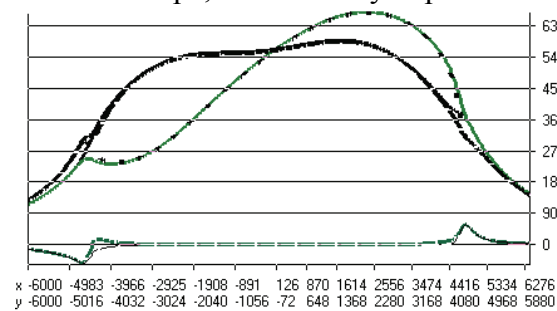
с. Разность исходных и модельных полей от
шара, северное полушарие



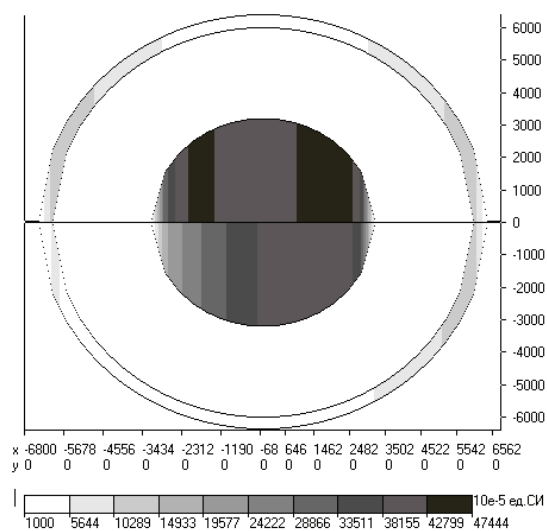
д. Разность исходных и модельных полей от
шара, южное полушарие



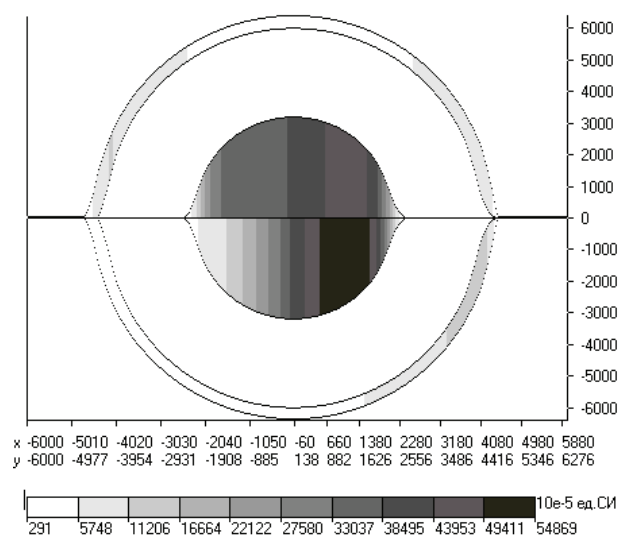
е. Графики исходных и модельных полей по
сечениям -90



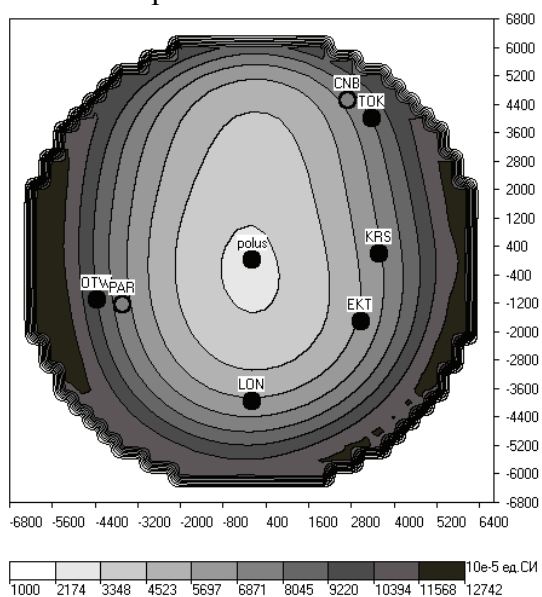
ф. Графики исходных и модельных полей по
диагональному сечению



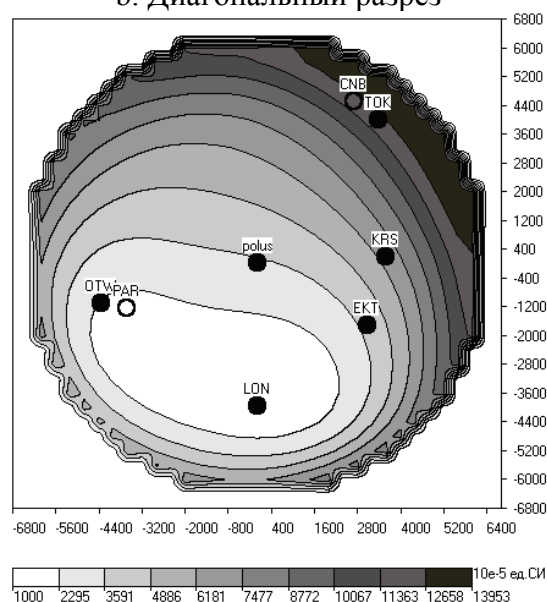
а. Разрез по сечению -90-270



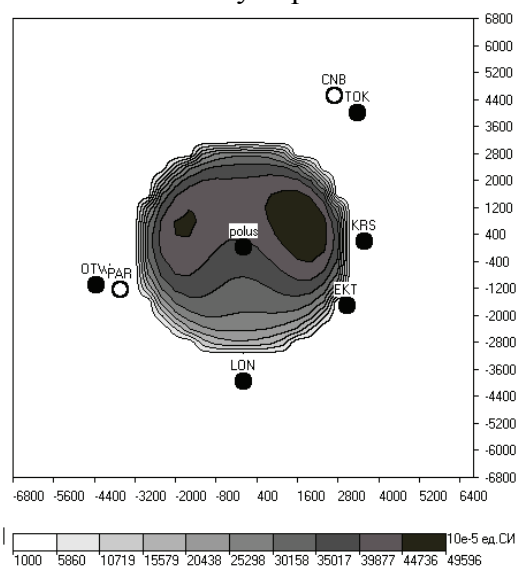
б. Диагональный разрез



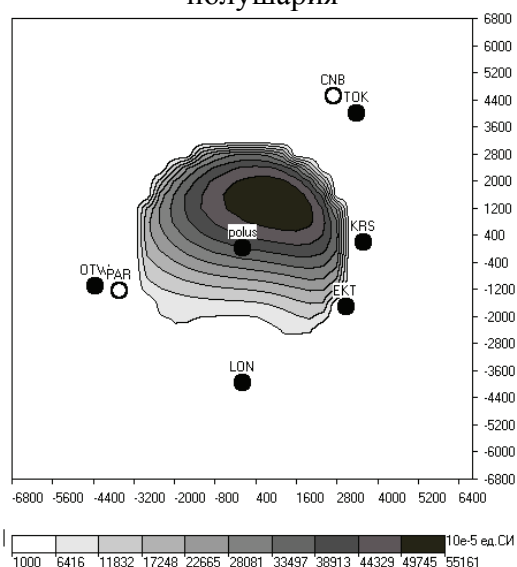
с. Намагниченности верхнего слоя северного полушария



д. Намагниченности верхнего слоя южного полушария



е. Намагниченность ядра в северном полушарии



ф. Намагниченность ядра в южном полушарии

Литература:

1. Кочнев В.А., 1993. Адаптивные методы решения обратных задач геофизики. ВЦ СО РАН, Красноярск, учебное пособие.
2. Кочнев В.А., Гоз И.В., 2006. Нераскрытые возможности магнитометрии. Геофизика, №6, с.51-55
3. Кочнев В.А., Адамцева О.А., Довыденко О.С. Некоторые результаты моделирования магнитного поля Земли. IV научные чтения им. Ю.П.Булашевича. Екатеринбург, 2-6 июля 2007 г. с.160-163
4. Кочнев В.А., Гоз И.В. Эксперимент по уточнению однородно намагниченного 6-слойного шара по магнитному полю земли. Международная конференция «Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов», посвященная 50-летию Института геофизики УрО РАН. Екатеринбург, 4-8 февраля 2008 г., стр.115-118.
5. Кочнев В.А., Гоз И.В. Новые технологии в геофизике, созданные на основе адаптивного метода решения систем алгебраических уравнений. Сб. научн. тр. XXVIII Российской школы «Наука и технологии». Миасс, 2008.
6. Кочнев В.А., Гоз И.В. Обзор моделей намагниченности земной коры, мантии и ядра и эксперименты по ее уточнению. XIV международная конференция "Связь поверхностных структур земной коры с глубинными". Петрозаводск, 27-31 октября 2008 года, стр.290-293
7. Кочнев В.А., Гоз И.В. Эксперименты по уточнению параметров неоднородной 6-слойной модели шара по магнитному полю Земли. Мат. 36-й сессии Международного семинара им Д.Г.Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». Казань, 2009 г.
8. Яновский Б.М. , 1978. Земной магнетизм. Изд. Ленинградского университета., 526 с.
9. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Под ред. Н.Б.Дортман. М, Недра, 1984.
10. The World Magnetic Model, 2005. <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/WMM/DoDWMM.shtml>
11. Kochnev V.A., Goz I.V., 2003. The technology of forward and inverse modeling for 3D and 2D magnetic data. Exp.Abst. of International Geophysical Conference & Exhibition, Moscow 2003.