

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО УТОЧНЕНИЮ НЕОДНОРОДНО НАМАГНИЧЕННОГО 6-СЛОЙНОГО ШАРА ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ ЗЕМЛИ

Кочнев В.А.¹, Гоз И.В.¹

¹ — *Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск*
kochnev@icm.krasn.ru

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 400х400 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 боковых блоков, имеет размерность 35х35х6 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.

Если в предыдущих экспериментах [Кочнев и Гоз, 2008] намагниченность всех блоков принята вертикальной и равной 7440 нТл, то есть средней намагниченности земного шара, то в данных экспериментах принята априорная модель намагниченности в нулевом приближении удовлетворяющая сформировавшимся представлениям. Так, предполагается, что основным носителем (источником) магнитного поля является ядро (модель геодинамо). Земная кора и прилегающая литосфера создает основные аномалии магнитного поля, а простарнство ниже указанного слоя до ядра имеет температуру выше точки Кюри и является парамагнитным, то есть намагниченность его значительно меньше. С учетом этого априорно приняты следующие магнитные восприимчивости: $k_1=k_6=7500 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ, $k_2=k_5=1500 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ и $k_3=k_4=40000 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ. Кроме того, принято наклонное намагничение, создаваемое внешним магнитным полем со следующими параметрами: $H_x=H_y=0.3$ эрстед, $H_z=0.9$ эрстед. С учетом этого намагниченности блоков будут равны $I_{vi} = k_i H_v$, где v принимает значения x, y, z , а i соответствует номеру слоя.

Для обозначения единиц намагниченности будем использовать нанотесла, которая, на наш взгляд, более естественна для магнитометрии (вместо А/м, которая применяется в электротехнике). В пакете ADM-3D нормальное намагничивающее поле также задается в эрстедах, а свойства среды в эффективной магнитной восприимчивости (k , каппа).

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.1a,b видим модельные поля, рассчитанные от неоднородного наклонно намагниченного шара на высоте 1 км. Как видно, минимальные значения имеем в диагональной части модели, а максимальные смещены на северном полушарии в юго-западном направлении, а в южном полушарии – в северо-восточном направлении.. Пределы изменения от 9000 до 61400 нТл. Магнитное поле, рассчитанное в этих же точках по модели WMM (эпоха 2000 г) [NGDC, 2008], видим на рис. 1c и 1d.

На рисунке, кроме полюса (POL) нанесены примерные положения городов мира: Лондон (LON), Екатеринбург (EKT), Красноярск (KRS), Токио (TOK), Оттава (OTW), Канберра (CNB), Пуэнт-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), который со сдвигом соответствует модельному максимуму (рис. 1с). Поле южного полушария имеет сильный максимум («южноавстралийский»), который соответствует модельному максимуму (рис. 1d) и четко выраженный относительный минимум («южноатлантический»).

Обратная задача

Обратную задачу будем решать с использованием пакета ADM-3D [Кочнев, 1993, 2008]. 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. Погрешности начального приближения после пробных экспериментов приняты равными 1000 для 1 и 6 слоев, 1400 для 2 и 5 и 4000 для слоев 3 и 4. Погрешность исходных данных примем равными 3000 нТл. Время счета составило 12 мин. Ниже приведены невязки после каждой итерации.

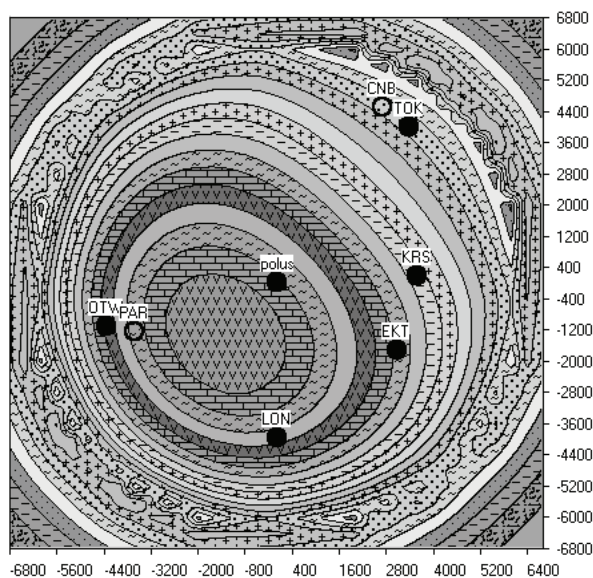
	1 итерация	2 итерация	3	4	5
Северный	6852	3490	2431	2232	2186
Южный	5400	2827	2345	2245	2213

Как видно, процесс уточнения сходится. На рис.1 e,f видим, что исходные и модельные кривые практически точно совпадают и отличаются только в краевых частях. Наибольшая разность между исходным и модельным полем в области локального минимума в южном полушарии. Здесь разность достигает 2500 нТл. На разрезе модели, проходящих по меридиональному сечению -90+90 (рис.2с) видим, что незначительно изменились магнитные восприимчивости внутренних слоев значительное изменение внешнего слоя. В северном полушарии магнитная восприимчивость первого слоя меняется от 5430 до $15000 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ. На нем выделена относительно отрицательная аномалия в интервале между полюсом и Лондоном и положительная, вытянутая на запад от Токио. В южном полушарии также выделена относительно отрицательная аномалия, достигающая $3200 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ, и протяженная по широте аномалия повышенных значений эффективной магнитной восприимчивости с максимумом $13500 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ. Таким образом, северная и южная положительные аномалии, по-видимому, соединяются (рис. 2f), создавая существенно асимметричную модель намагниченности верхнего слоя. Сектор, ограниченный меридианами от 90 до 180, является сильно намагниченным, а сектор от 300 до 45 – слабо намагниченным.

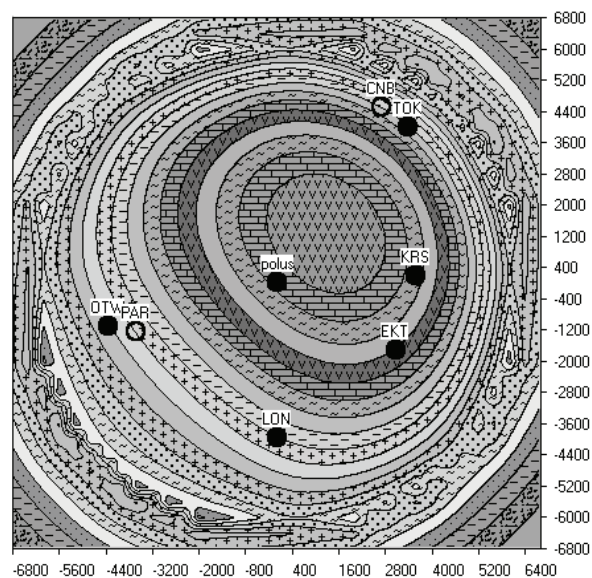
В результате получена трехмерная модель намагниченности шара. Это дает возможность рассмотреть модель в большом количестве сечений, из которых мы рассмотрели только два.

Литература:

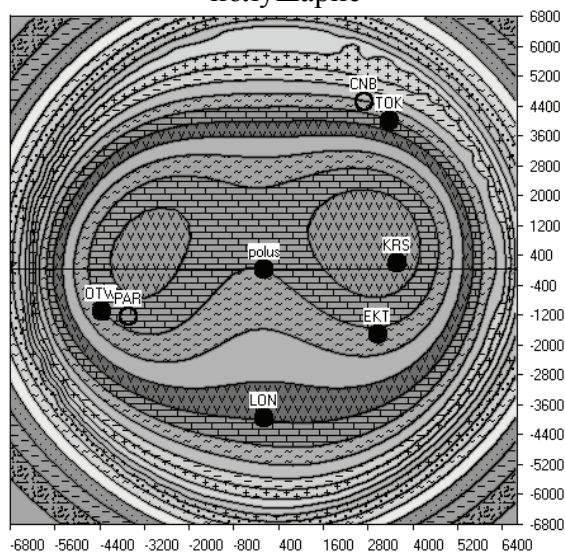
1. Кочнев В.А., 1993. Адаптивные методы решения обратных задач геофизики. ВЦ СО РАН, Красноярск, учебное пособие.
2. Кочнев В.А., Гоз И.В., 2006. Нераскрытые возможности магнитометрии. Геофизика, №6, с.51-55
3. Кочнев В.А., Гоз И.В. Эксперимент по уточнению однородно намагниченного 6-слойного шара по магнитному полю Земли. V научные чтения им. Ю.П.Булашевича. Екатеринбург, 2008 г.
4. 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.
5. Яновский Б.М. , 1978. Земной магнетизм. Изд. Ленинградского университета., 526 с.
6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Под ред. Н.Б.Дортман. М, Недра, 1984.
7. The World Magnetic Model, 2005. <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/WMM/DoDWMM.shtml>
8. 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.



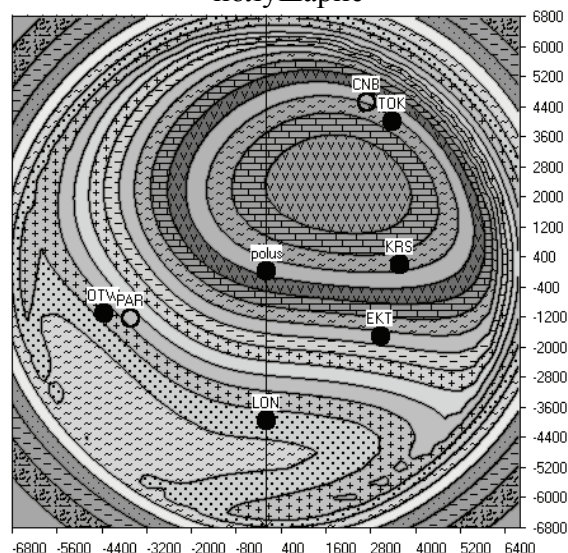
а. Поле от исходной модели, северное полушарие



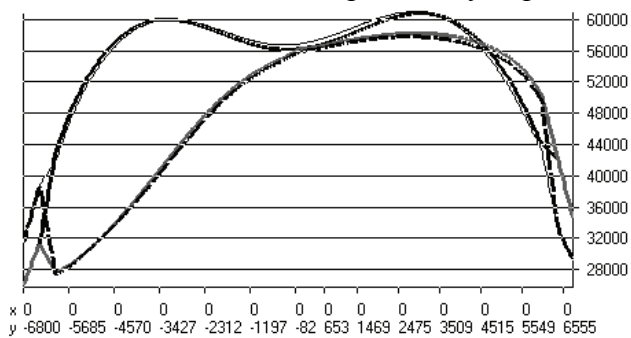
б. Поле от исходной модели, южное полушарие



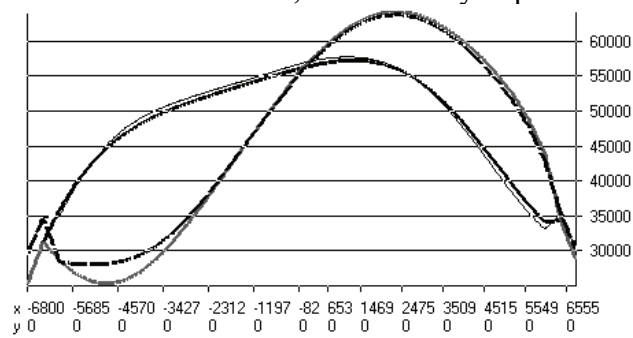
с. Поле WMM, северное полушарие



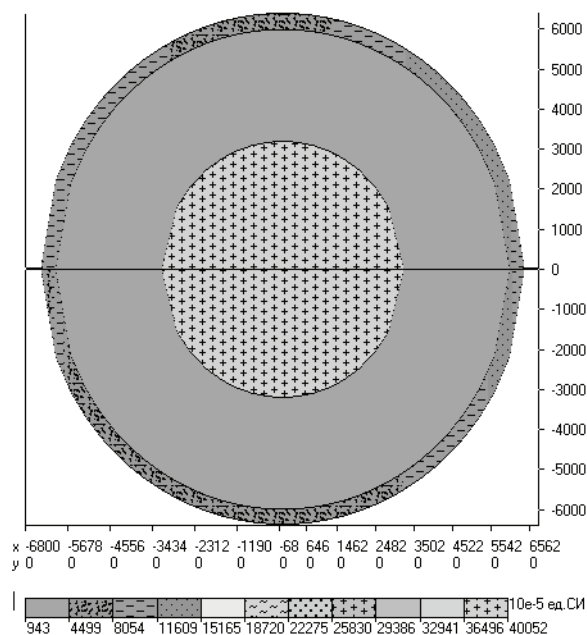
д. Поле WMM, южное полушарие



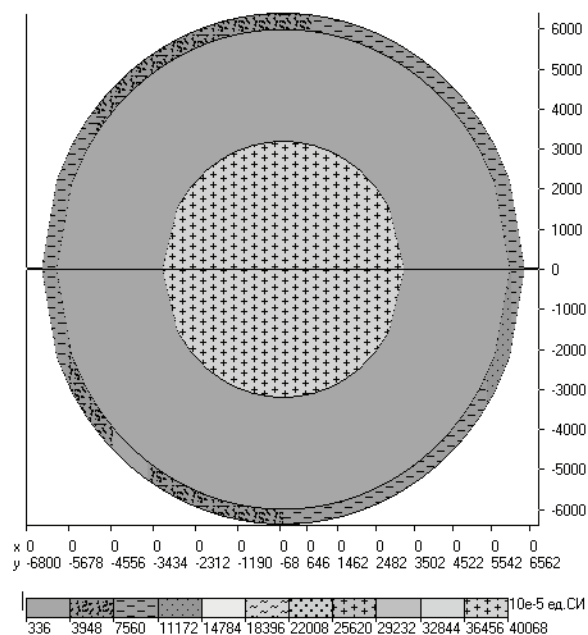
е. Графики исходного и модельного поля, северное полушарие



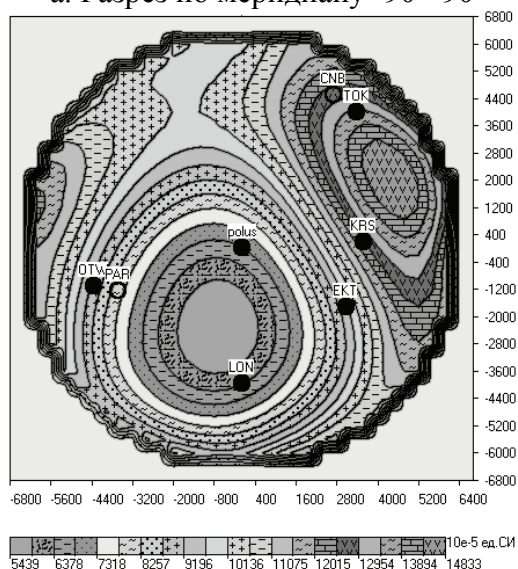
ф. Графики исходного и модельного поля, южное полушарие



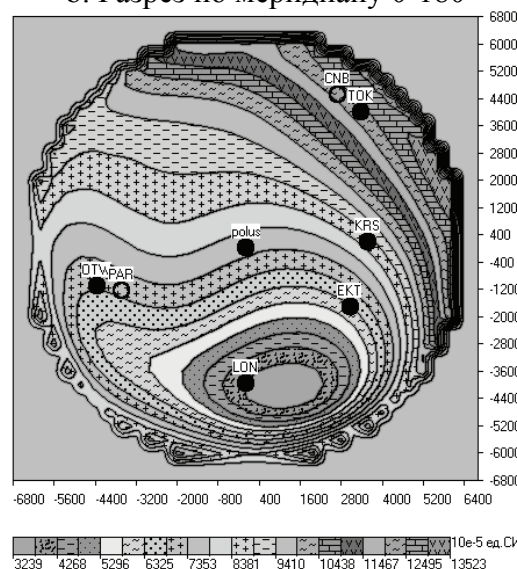
а. Разрез по меридиану -90 +90



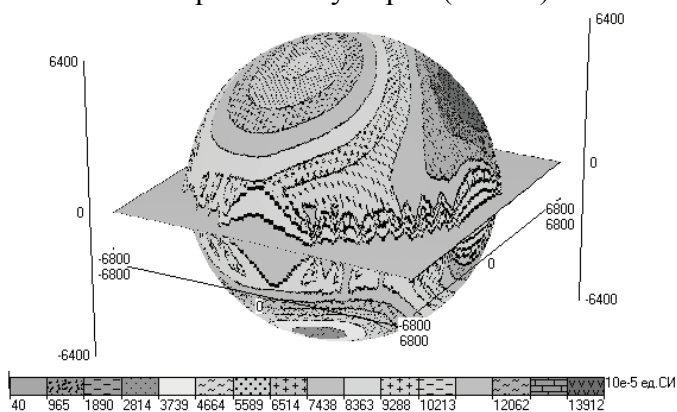
б. Разрез по меридиану 0-180



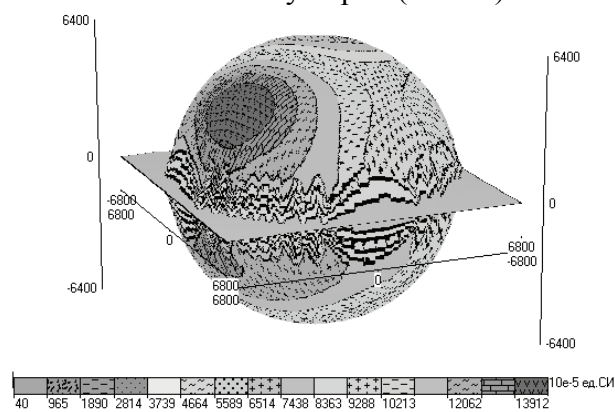
с. Уточненная модель намагненности северного полушария (слой 1)



д. Уточненная модель намагненности южного полушария (слой 6)



е. 3D-модель намагненности западного полушария



ф. 3D-модель намагненности восточного полушария