

Градиентные магнитные съемки на высотах 20–40 км и их использование в программе INTERMAGNET

В. Д. Кузнецов,¹ Ю. П. Цветков,¹ С. В. Филиппов¹ и О. М. Брехов²

Получено 5 апреля 2011 г.; опубликовано 20 апреля 2011 г.

Разработан новый способ поиска мест на поверхности Земли, в которых отсутствуют значимые магнитные аномалии. Для этого на стратосферном аэростате измеряются магнитные поля и их вертикальные градиенты на базе длиной 6 км. Магнитные аномалии и их градиенты выделяются с использованием мировых аналитических моделей нормального магнитного поля Земли (МПЗ). Вертикальные градиенты аномального МПЗ не содержат вклада далеких внутренних и внешних источников. Основываясь на этом положении, находятся места на поверхности Земли, в которых нет значимых магнитных аномалий. Эти места рекомендованы для размещения магнитных обсерваторий по программе INTERMAGNET. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитное поле Земли; магнитные аномалии; INTERMAGNET; магнитные обсерватории; градиентные магнитные съемки.

Ссылка: Кузнецов, В. Д., Ю. П. Цветков, С. В. Филиппов и О. М. Брехов (2011), Градиентные магнитные съемки на высотах 20–40 км и их использование в программе INTERMAGNET, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ5001, doi:10.2205/2011NZ000103.

Введение

Обычно магнитные обсерватории размещаются в местах, исследованных на отсутствие коровых магнитных аномалий или аномального магнитного поля Земли (МПЗ), т.к. такие аномалии являются помехой для магнитных обсерваторий. Локальные магнитные аномалии достаточно уверенно можно выявить с помощью пешеходной магнитной съемки района размещения обсерватории. Затруднения возникают при выявлении в месте расположения магнитной обсерватории региональных магнитных аномалий, т.к. их трудно выделить из среды интенсивных локальных аномалий. Только использование данных, полученных на высотах, численно сопоставимых с вертикальной мощностью магнитоактивного слоя земной коры, где аномальное МПЗ формируется естественным путем из всех ее источников, создает предпосылки для оценки уровня региональных магнитных аномалий. Для этого необходимо иметь аналитическую модель нормального МПЗ, приведенную к моменту магнитных съемок полигона. Непосредственное использование для этого глобальных аналитических моделей нормального МПЗ, построенных по спутниковым магнитным съемкам на определенную эпоху, проблему не решает. Это связано

с тем, что, во-первых, число гармоник модели, описывающей нормальное МПЗ, обычно ограничено первыми 13-ю гармониками, так как более высокие гармоники содержат и аномальное МПЗ (длинноволновые аномалии). Такое ограничение спектра на уровне 13-й гармоники может привести к искажениям нормального МПЗ при его представлении усеченной моделью, что скажется на точности выделения аномального МПЗ из аэростатных съемок. Во-вторых, существует вековая вариация геомагнитного поля, достигающая 150 нТл в год, которая также представлена аналитической моделью, корректируемой каждые 5 лет по мере накопления экспериментальных данных. Модель предусматривает прогноз изменчивости вековой вариации, который может быть весьма приближенным. Следовательно, по этим и другим причинам, на момент аэростатных магнитных съемок возможны ошибки при выделении аномального МПЗ из измеренного.

Далее будут рассмотрены новые подходы к выделению аномального МПЗ и даны принципы поиска мест на поверхности Земли, в которых отсутствуют значимые магнитные аномалии. Такие места могут быть рекомендованы в качестве районов размещения магнитных обсерваторий по программе INTERMAGNET.

Оценка величины аномального МПЗ

В настоящее время задача оценки величины аномального МПЗ для какого-либо района поверхности Земли может быть решена путем организации временного магнитного пункта, в котором выполняются магнитные из-

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Россия

²Московский авиационный институт (МАИ), Москва, Россия

мерения, подобные измерениям на пунктах векового хода (ПВХ), которые можно соотнести с обновленной аналитической моделью нормального МПЗ, как это сделано в [Langel and Estes, 1985] для магнитных обсерваторий.

В первую очередь любая оценка результата выделения аномального МПЗ основывается на анализе погрешности представления нормального МПЗ. Со второй половины XX века проводятся регулярные спутниковые магнитные съемки, по которым строятся аналитические модели нормального МПЗ. Использование таких моделей для выделения региональных и длинноволновых (до длин волн, равных 3000 км) магнитных аномалий накладывает условие необходимости ограничения ряда гармоник спектра поля первыми 13-ю гармониками, что приводит к заметным ошибкам представления нормального МПЗ. Существуют также ошибки прогностических моделей вековой вариации, ошибки за счет влияния внешнего поля и за счет протекания геофизических процессов глобального характера. Изучить погрешности этих моделей можно в местах, в которых отсутствуют значимые магнитные аномалии. Такое изучение следует проводить после того, как время на моменты измерений будет входить внутрь интервала между корректировками модели вековой вариации на очередную эпоху. Найти такие места, не содержащие значимых магнитных аномалий, по имеющимся материалам, например картам аномального МПЗ, весьма проблематично. Это объясняется тем, что эти карты построены в основном по аэромагнитным данным, в которых из-за специфики маловысотной съемки заметно искажена региональная составляющая аномального МПЗ, а она играет существенную роль в формировании магнитных аномалий (в среднем они составляют 200 нТл для всей поверхности Земли).

Рассмотрим решение задачи по данным, полученным на высотах, численно сопоставимых с вертикальной мощностью земной коры, где аномальное МПЗ формируется естественным путем практически равнозначно из всех ее источников. Геомагнитные съемки на высотах 20–40 км можно выполнять на борту стратосферных аэростатов, способных в зональных воздушных течениях совершать кругосветные полеты, и такие съемки практикуются достаточно широко [Ejiri et al., 1994]. Подобные съемки выполнялись и авторами настоящей статьи, но выделение из них аномального МПЗ с использованием современных аналитических моделей нормального МПЗ не привели к успеху. В ряде выполненных нами полетов аэростатов с магнитометрами на борту было показано, что в выделенном аномальном МПЗ присутствует тренд порядка 200 нТл даже на коротком (600 км) участке трассы. Найденный тренд превышает величину большинства магнитных аномалий, существующих на высотах 30 км, он объяснен погрешностями аналитической модели нормального МПЗ и его вековой вариации [Цветков и др., 2011].

В работе [Цветков и др., 1997] показано, что задача выделения магнитных аномалий надежно решается для вертикальных магнитных градиентов, если их измерение выполнять в стратосфере. Практика таких измерений авторами статьи отработана, они выполнялись на измерительной базе длиной 6 км. Эффект строгого выделения

магнитных аномалий в их градиентах объясняется тем, что градиенты нормального МПЗ, получаемые по аналитическим моделям для точек, разнесенных на 6 км, не содержат систематической погрешности моделей, в том числе и моделей вековой вариации МПЗ. На таком относительно малом расстоянии эти погрешности практически идентичны и уничтожаются при вычислении градиентов. При этом уничтожаются и все другие градиенты полей далеких внешних и внутренних источников. Участки профиля аномальных магнитных градиентов длиной не менее чем 100 км, на которых отклонение параметра от оси абсцисс не превышает 10% от среднего значения градиента (2,2 нТл/км), следует считать не аномальными.

На Рис. 1 приведен профиль вертикального градиента аномального МПЗ, полученный на высоте $h = 30$ км. Из рисунка видно, что не аномальные участки, в которых можно производить коррекцию нормального МПЗ, чередуются в среднем через 1000 км. Учитывая это, а также и то, что длина волны 13-й гармоники нормального МПЗ составляет 3000 км, предложенный способ коррекции пригоден для любых длин гармоник спектра нормального МПЗ по территории всего земного шара. Заметим, что уже созданы стратосферные аэростаты “сверхдавления”, способные находиться в непрерывном полете на высотах 20–40 км свыше 100 дней. Предполагается запускать в целях геофизических исследований сотни таких аэростатов (см. K. T. Nock et al., Global constellations of stratospheric satellites, http://www.gaerospace.com/projects/StratoCon/pdf_docs/StratConESA2001_Nock.pdf).

Переноса абсциссы этих участков на найденный путем исключения из измеренной индукции МПЗ аналитического нормального МПЗ профиль магнитных аномалий, получим на них ординаты этого профиля, соответствующие погрешности аналитической модели. Затем найденные места соединяем прямыми отрезками и весь профиль разворачиваем так, чтобы соединяющие отрезки совпадали с осью абсцисс. Значения развернутого профиля в отклонениях от оси абсцисс показывают величины магнитных аномалий на высоте полета аэростата вдоль трассы магнитной съемки. После проведенной таким образом подготовки данных можно выбрать подходящие места для развертывания обсерваторий по программе INTERMAGNET, в которых нет значимых магнитных аномалий.

Заключение

Показано, что задача поиска мест на поверхности Земли, в которых отсутствуют значимые магнитные аномалии, надежно решается, если выполнять градиентные магнитные съемки в стратосфере. В перспективе такая задача практически решается для территории всего земного шара. Найденные предложенным способом места, в которых отсутствуют значимые магнитные аномалии, могут быть рекомендованы для развертывания магнитных обсерваторий по программе INTERMAGNET.

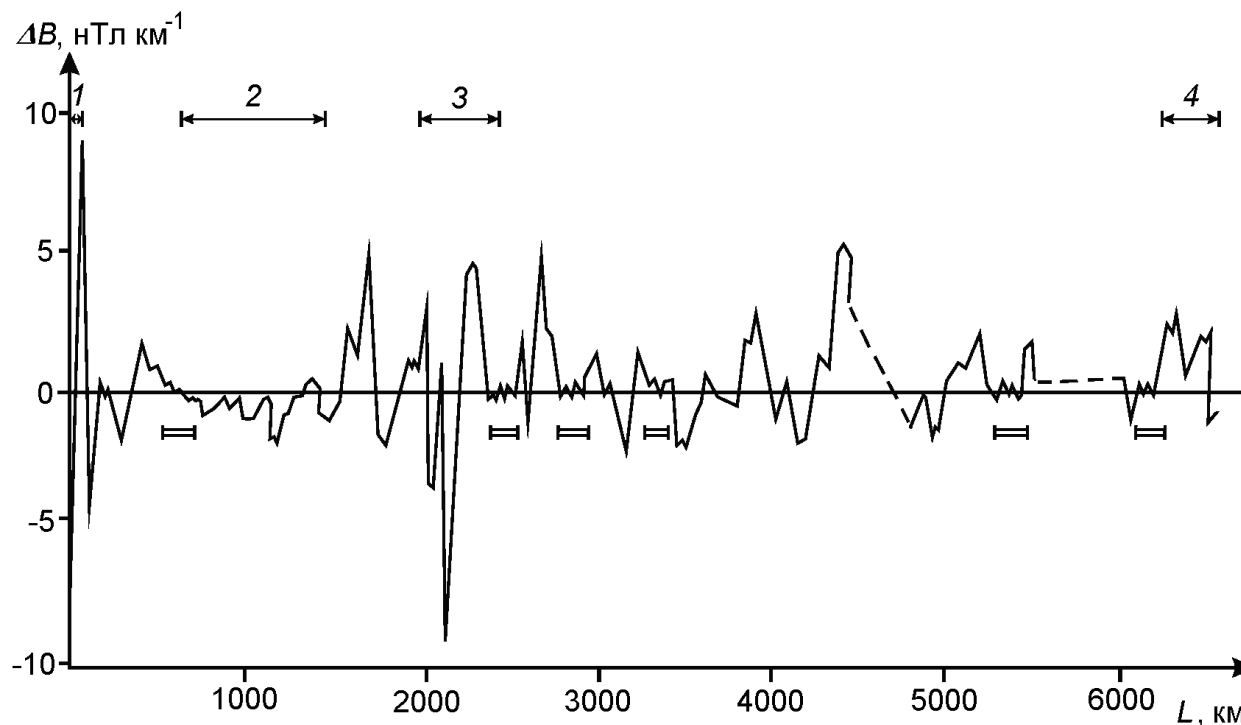


Рис. 1. Вертикальный градиент аномального МПЗ, полученный на высоте $h = 30$ км.

▬ – участки профиля, на которых отсутствуют магнитные аномалии.

↔ – участки профиля, секущие территории, на которых расположены:

1 – Ключевская группа вулканов; 2 – Охотское море;

3 – Алданский щит; 4 – Камско-Эмбенская магнитная аномалия.

Литература

Цветков, Ю. П., Н. М. Ротанова, Т. Н. Бондарь (1997), О разделении поля магнитного градиента на нормальную и аномальную части, *ДАН*, 354, 5, 679–682.

Цветков, Ю. П., и др. (2011), Выделение аномального магнитного поля из аэростатных магнитных съемок на высотах 20–40 км, *ДАН*, 436, 2, 262–266.

Ejiri, M., et al. (1994), Polar Patrol Balloon Project in Japan, *Adv. Space Res.*, 14, 2, (2)201–(2)209.

Langel, R. A., R. H. Estes (1985), The near-Earth magnetic field at 1980 determined from Magsat data, *J. Geophys. Res.*, 90, B3, 2495–2509.

О. М. Брехов, Московский авиационный институт (МАИ), Москва, Россия

В. Д. Кузнецов, С. В. Филиппов, Ю. П. Цветков, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Россия. (tsvetkov@izmiran.ru)