

ИЗМЕНЕНИЯ Z-КОМПОНЕНТЫ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ IGRF В ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ В ПЕРИОД 1980-2005 Г

В.А. Кочнев

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск
E-mail kochnev@icm.krasn.ru

Аннотация. Z-компонента магнитного поля Земли (МПЗ) в геоцентрической системе координат наиболее наглядно и полно отображает глобальные свойства МПЗ. По разности Z-компонент анализируется динамика изменения напряженности поля и решена обратная задача для оценки изменения интенсивности источников МП в ядре.

В настоящее время вековые вариации рассчитываются по данным глобальных магнитных съемок за каждые 5 лет. На поверхности Земли можно выделить несколько различающихся по характеру областей вековых вариаций. Средняя скорость вековых вариаций составляет около 45 нТл/год [1], однако в отдельных областях отмечена скорость до 170 нТл/год. Основными характерными особенностями вековых вариаций в настоящее время являются ослабление главной дипольной компоненты (примерно на 6.3% за сто лет) геомагнитного поля и смещение на запад линии нулевого магнитного склонения (в среднем примерно на 0.2° в год). Выявлено также [2] несколько резких изменений тренда вековых вариаций (джерков), последний из которых относится к 1992 году.

Обширная литература посвящена проблеме прогноза вековых вариаций геомагнитного поля. Экстраполяция наблюдаемых изменений, включенная, например, в модели поля IGRF [3] и WMM [4], позволяет прогнозировать изменения на несколько лет вперед, однако задача прогноза долгосрочных изменений пока не решена.

Предложен [5] метод прогноза вариаций на основе модели установившегося потока жидкости в ядре (в предположении «вмороженности» магнитного поля в жидкость). Делаются также попытки объяснить различные особенности вариаций процессами, происходящими в ядре [6] [7] и др.

Особенность данной работы в том, что изменение поля рассматривается по Z-компоненте и иллюстрируется в плане со стороны северного полюса и по результатам решения обратной задачи демонстрируется изменение источников в ядре.

На рис.1 слева показана Z-компонента магнитного поля IGRF-80 северного полушария на высоте 1 км, а справа – Z-компонента магнитного поля IGRF-2005. Вид со стороны северного полюса. Для ориентации на поверхности помещены сокращенные символы POL-полюса и городов: TOK – Токио, KRS – Красноярск, EKT – Екатеринбург, LON – Лондон, OTV – Оттава. Светлыми кружками отмечены два пункта в южном полушарии: CNB – Канберра (Австралия), PAR – Пунта-Аренас (южная оконечность Южной Америки).

Как видно, особых отличий в полях нет. На обоих полях видим вытянутый в направлении 270-90 эллипс в области максимума. В средней части рис.1 слева видим разность полей Z2005-Z1980. Судя по шкале, разностное поле меняется от -3070 (темная часть в области OTV, где располагается канадский глобальный максимум) до 1370 нТл. Максимум приращения располагается в восточной и южной части северного полушария. На рисунке показано криволинейное сечение, идущее против часовой стрелки и пересекающее минимум разности, а затем идущее по гребню максимума. Справа расположены 5 графиков, соответствующих разностям $\Delta Z_1 = Z_{1985} - Z_{1980}$, $\Delta Z_2 = Z_{1990} - Z_{1985}$, и так далее. Как видно, графики разности ведут себя практически одинаково. Сильно уменьшаются в области общего минимума до 500-600 нТл и увеличиваются до 100-200 нТл не столь синхронно в области максимума. В нижнем ряду рис.1 видим соответствующие разности в южном полушарии. Минимум разности располагается в южной части Атлантического океана. Аномалия уменьшения поля протягивается в субширотном направлении, захватывая Южную Америку и Южную Африку, примыкая к южному полюсу. Аномальное разностное поле в начальной – западной части меняется от -2360 до 2800 нТл. Положительная часть аномалии оконтуривает отрицательную.

Графики по сечению (в нижнем ряду справа в рис.1), захватывающему на краях две положительные и в центре отрицательную аномалию, также синхронны в левой части, где максимальная скорость роста МП составляет 100-120 нТл/год.

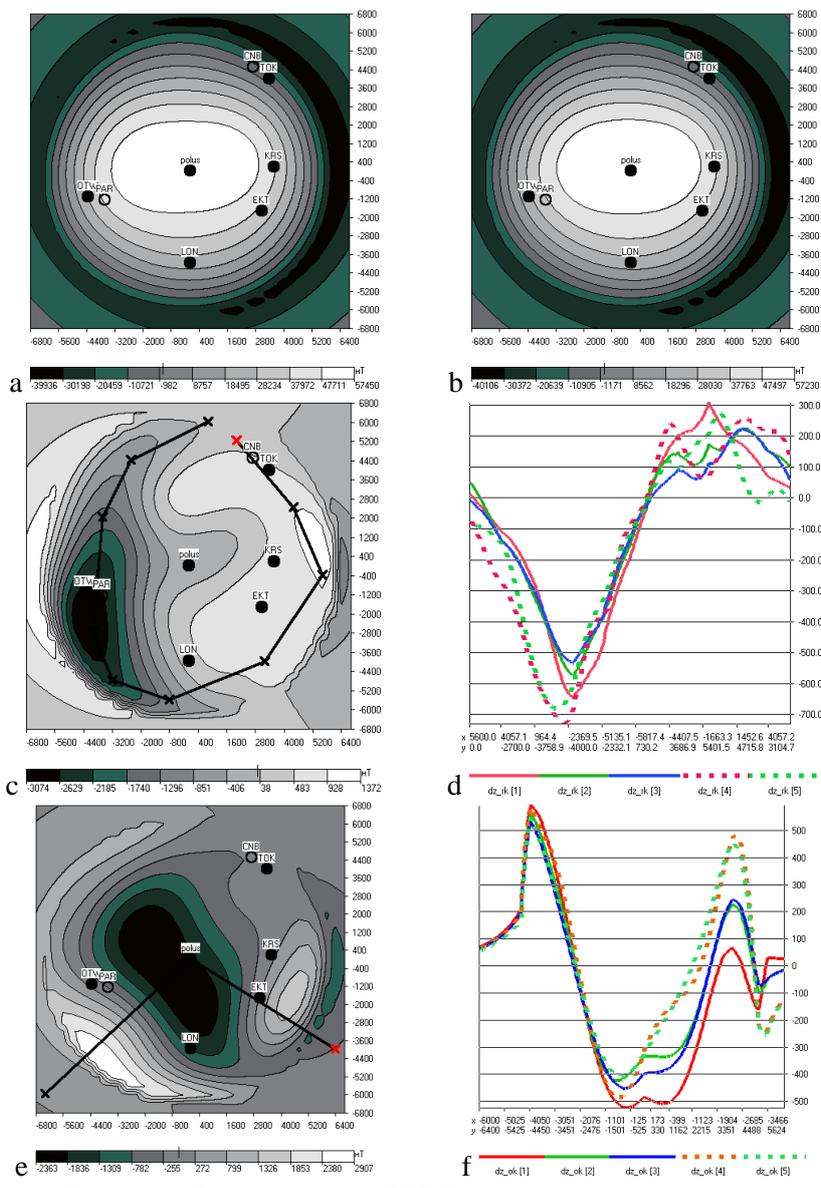


Рис.1 а) Z-компоненты IGRF в геоцентрической системе, северное полушарие, 1980; б) то же, 2005; в) Z(2005-1980) северного полушария, д) графики Z(1985-1980), Z(1990-1985) ... по сечению с, е) Z(2005-1980) южного полушария, ф) графики Z(1985-1980), Z(1990-1985) ... по сечению е.

В правой части отмечается сильное изменение скорости увеличения роста магнитного поля. Если максимальная скорость роста в интервале 1980-1985 была близка к 0, то в интервале 1985-1995 г она составляла 50 нТл/год, а в 1995-2005 г 90-100 нТл/год. В итоге общий максимум роста МП составил около 1500 нТл за 20 лет. Такое ускорение роста равное 100 нТл/год характерно для джерков. Область аномального роста поля находится в Тихом океане в интервале долгот от 30° до 60° и от 30° до 60° южной широты. В среднем скорость изменения магнитного поля в южном полушарии составляла от -95 до 115 нТл в год. В северном полушарии от -120 до 55 нТл в год. В узкой экваториальной зоне картина обратная: увеличение поля в западной и уменьшение в восточной.

Попытаемся оценить возможное положение источников, увеличивающих или уменьшающих МП. Если источники находятся на поверхности планеты, то их местоположение совпадает с положением аномалий разности.

Наиболее вероятным является вариант изменения интенсивности источников ядра. Решая обратную задачу с помощью пакета ADM-3D-earth [8] [9], получим вариант интенсивности источников, приведенные на рис.2. В восточной части видим дугообразную аномалию изменения эффективной намагниченности (ЭН) с максимумом 231 А/м. Уменьшение ЭН проявляется в меньшей степени и составляет -86 А/м. В южном полушарии ядра преобладают уменьшение источников ядра, находящихся в средних широтах ядра с центром на 0° долготы, с минимумом -197 А/м, а максимум увеличения источников, находящихся в восточной части, равен 126 А/м. В целом для всей модели ядра Земли максимальный рост интенсивности источников составляет в восточной части ядра -231 и 126 А/м и уменьшается в западной с минимумами -86, -197 А/м.

На рис.3 приведена модель эффективной намагниченности ядра северного и южного полушария. Сравнивая эти модели с моделями изменения ЭН, расположенными выше, замечаем, что они подобны. Максимуму ЭН соответствует максимум роста. Исключение составляет западная часть северного полушария, где максимуму интенсивности источников соответствует уменьшение ЭН модели ядра со скоростью около 3.5 А/м в год. При таком темпе убывания западный источник, создающий Канадскую глобальную аномалию, может исчезнуть примерно через 500 лет.

За это же время восточные источники будут увеличивать свою интенсивность, что приведет в северном полушарии примерно к такой же асимметрии, что есть сейчас в южном полушарии.

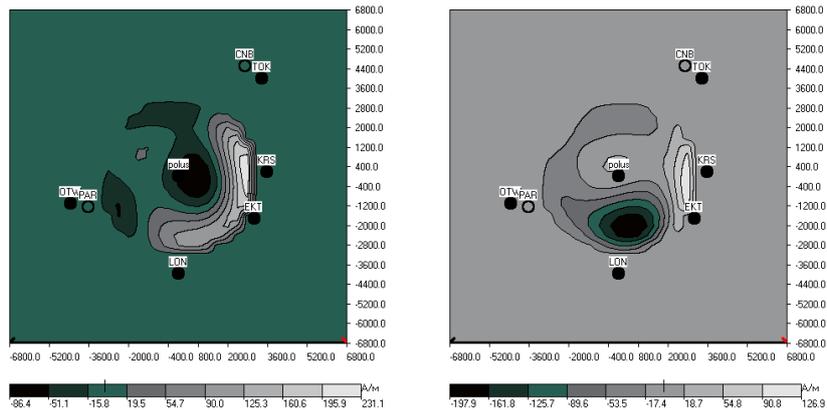


Рис.2. Изменение напряженности источников в северном и южном полушариях ядра

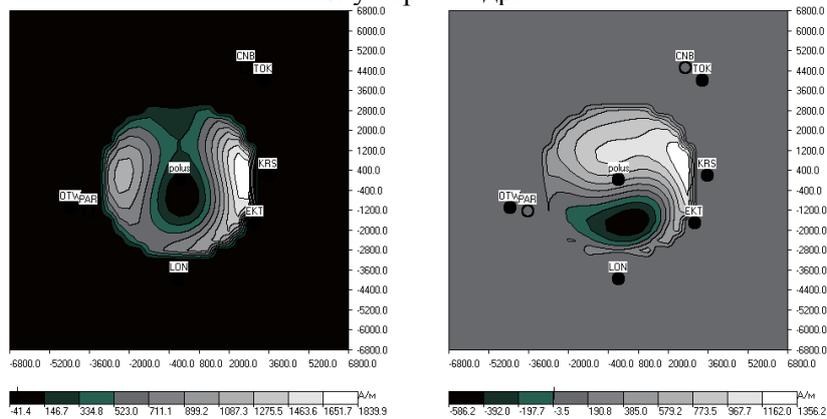


Рис.3 Эффективная намагниченность северного и южного полушария ядра (вид со стороны северного полюса).

Такое неравномерное изменение источников может быть вызвано двумя основными причинами: изменением скорости и направления движения жидкой субстанции и температуры в разных частях ядра.

Выводы

1. По Z-геоцентрической компоненте вектора магнитного поля при наблюдении со стороны северного полюса наглядно выделяются аномалии МП Земли.
2. В северном полушарии наблюдается плавное увеличение МП Сибирско-Азиатской аномалии и интенсивное уменьшение Канадской глобальной аномалии.
3. В южном полушарии отмечено интенсивное уменьшение Южно-Атлантической аномалии (около 100 нТл/год) и увеличение МП западнее и восточнее этой аномалии. Причем наблюдается увеличение скорости роста восточной аномалии.
4. По разности Z-компонент в период 1980-2005 г. решена обратная задача для определения изменения эффективной намагниченности ядра. Выделены аномалии изменения ЭН от -200 до 230 А/м.

Литература

1. Government of Canada N.R.C. Secular variation [Электронный ресурс]. 2010. URL: <http://geomag.nrcan.gc.ca/mag fld/sec-eng.php> (дата обращения: 06.12.2013).
2. Courtillot V., Le Mouél J.-L. Geomagnetic secular variation impulses. // Nature. 1984. Т. 311. С. 709–716.
3. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Working Group V-MOD. и др. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation // Geophysical Journal International. 2010. Т. 183, № 3. С. 1216–1230.
4. Maus S., Macmillan S., McLean S., Thomson A.W.P., Nair M., Rollins C. The US/UK World Magnetic Model for 2010-2015, NOAA Technical Report NESDIS/NGDC. 2011.
5. Beggan C.D., Whaler K.A. Forecasting secular variation using core flows // Earth, Planets and Space. 2010. Т. 62, № 10. С. 821–828.
6. Aubert J., Finlay C.C., Fournier A. Bottom-up control of geomagnetic secular variation by the Earth's inner core // Nature. 2013. Т. 502, № 7470. С. 219–223.
7. Finlay C.C., Dumberry M., Chulliat A., Pais M.A. Short Timescale Core Dynamics: Theory and Observations // Space Sci Rev. 2010. Т. 155, № 1-4. С. 177–218.
8. Кочнев В.А., Гоз И.В. Нераскрытые возможности магнитометрии // Геофизика. 2006. № 6. С. 51–55.
9. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 4. С. 3–15.