

УДК 550.384.3

ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ АНТАРКТИКИ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ

Г.В. Мельник, В.Г. Бахмутов, О.Я. Шендеровская

*Институт геофизики им. С.И. Субботина, Национальная Академия наук Украины
Палладина, 32, 03680 Киев, Украина, melnykgv@gmail.com*

Определены особенности изменения геомагнитного поля в Антарктике в XX столетии по данным расчетов по модели IGRF (International Geomagnetic Reference Field) и наблюдений на обсерваториях. Получено, что в Южном полушарии полный вектор геомагнитного поля F уменьшается быстрее, чем в Северном. Амплитуда и скорость изменений возрастают к низким широтам в Северном полушарии и к высоким в Южном. В Южном полушарии в структуре векового хода выделяются три периода изменений, аналогичные таким в Северном. Западная и Восточная Антарктика имеют различную динамику изменения геомагнитного поля. Его напряженность растет на востоке и уменьшается на западе. Наиболее интенсивное уменьшение напряженности геомагнитного поля фиксируется по данным обсерватории AIA, которая находится в отрицательном фокусе векового хода в Западной Антарктике.

Зміни геомагнітного поля Антарктики в останньому сторіччі

Г.В. Мельник, В.Г. Бахмутов, О.Я. Шендеровська

Реферат. Визначено особливості зміни геомагнітного поля в Антарктиці у XX сторіччі за даними розрахунків по моделі IGRF (International Geomagnetic Reference Field) і спостережень на обсерваторіях. Отримано, що в Південній півкулі повний вектор геомагнітного поля F зменшується швидше, ніж у Північній. Амплітуда та швидкість змін зростають в напрямі низьких широт у Північній півкулі і високих – у Південній. У Південній півкулі в структурі вікового ходу виділяються три періоди змін, аналогічні подібним у Північній. Західна й Східна Антарктика мають різну динаміку зміни геомагнітного поля. Його напруженість зростає на сході і зменшується на заході. Найбільш інтенсивне зменшення напруженості геомагнітного поля фіксується за даними обсерваторії AIA, яка знаходиться у негативному фокусі вікового ходу в Західній Антарктиці.

Antarctic geomagnetic field changes in the last century

G. Melnyk, V. Bakhmutov, O. Shenderovska

Abstract. The features of the geomagnetic field changes in the Antarctic in the XX century have been defined, according to calculations by the IGRF (International Geomagnetic Reference Field) and observations at the observatories. It is found that in the southern hemisphere, the full vector of the geomagnetic field F decreases faster than in the north. The amplitude and rate of change increases toward lower latitudes in the northern hemisphere and to the highest in the south. In the southern hemisphere in the structure of the secular variation are three period changes similar to those in the north. West and East Antarctica have different dynamics of change of the geomagnetic field. Its intensity increases in the east and decreases to the west. The most intensive decrease of the geomagnetic field intensity is fixed according to the observatory AIA, which is in the negative focus of secular variation in Western Antarctica.

Keywords: Antarctica, geomagnetic field intensity, secular variation

1. Введение

Информация о колебаниях магнитного поля Земли широко используется для оценки изменения различных факторов состояния окружающей среды, в частности климатических,

сейсмической опасности и др. Вековые вариации геомагнитного поля входят в состав глобальных трендовых геофизических процессов, определяющих состояние экосистемы Земли. В связи с этим важно иметь достоверные данные наблюдений, роль которых сложно переоценить. Основным источником информации о вековых вариациях магнитного поля Земли (secular variation – SV) являются магнитные обсерватории и данные периодических наблюдений на пунктах векового хода (ПВХ). С началом космической эры появилась возможность выполнять геомагнитные съёмки с использованием искусственных спутников Земли. Применение теории Гаусса во время анализа результатов наблюдений на космических аппаратах с использованием реперных обсерваторских данных разрешает строить аналитические модели геомагнитного поля (International Geomagnetic Reference Field – IGRF) на всю эпоху наблюдений, а также осуществлять прогноз временных изменений поля на несколько лет вперед. Международные модели геомагнитного поля IGRF дают возможность описать поле с точностью до нескольких десятков нТл относительно наблюденного, что для многих случаев вполне удовлетворительно.

Инструментальные наблюдения геомагнитного поля в Антарктике начались во второй половине прошлого века, поэтому наиболее длинные ряды некоторых обсерваторий составляют около 60 лет. С помощью модели геомагнитного поля IGRF можно рассчитать значения полного вектора напряженности геомагнитного поля и его компонент начиная с 1900 года.

Ранее по данным обсерватории Аргентинские острова AIA были установлены довольно высокие скорости изменения компонент геомагнитного поля как для Западной Антарктики, так и для всего Антарктического региона (Яременко и др., 2000, Третьяк и др., 2002). Выяснилось, что в Антарктике вековые изменения значительней, чем в Арктике (Яременко и др., 2001), а также отмечены общее уменьшение геомагнитного поля в Антарктике и сильные различия векового хода на близко расположенных обсерваториях (Яременко и др., 2006). Отметим, что для Антарктики (и для всего Южного полушария) количество обсерваторий и полученных на них данных меньше, чем для Северного полушария: на сегодня в сеть INTERMAGNET входят 36 обсерваторий в Южном полушарии и 105 в Северном. В данной работе мы рассмотрим изменения модуля полного вектора геомагнитного поля F в XX столетии как по модельным данным, так и по данным обсерваторий Антарктиды.

2. Методика и результаты

2.1. Данные модели IGRF

Модель геомагнитного поля IGRF позволяет вычислить магнитное поле Земли в заданных координатах с учетом источников поля, которые находятся внутри Земли, но без учета магнитных полей внешних токовых источников в магнитосфере и ионосфере. В основу модели положены экспериментальные наблюдения на геомагнитных обсерваториях, кораблях, самолетах и искусственных спутниках Земли. На основании этой информации были рассчитаны коэффициенты сферического гармонического ряда Гаусса, позволяющие синтезировать компоненты геомагнитного поля и их вековой ход через каждые 5 лет с начала XX столетия (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/index.html>) и в любой точке пространства рассчитать их для каждого года (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>).

Для изучения пространственно-временных особенностей геомагнитного поля использованы данные расчетов модуля полного вектора геомагнитного поля F , нТл по модели IGRF в узлах координатной сетки с шагом 10° по широте и долготе на земной поверхности для каждого года периода 1900–2010 гг.

В пространственной структуре геомагнитного поля в Северном полушарии выделяются Канадская (геомагнитный полюс) и Сибирская аномалии, в Южном – Бразильская и геомагнитный полюс (рис. 1).

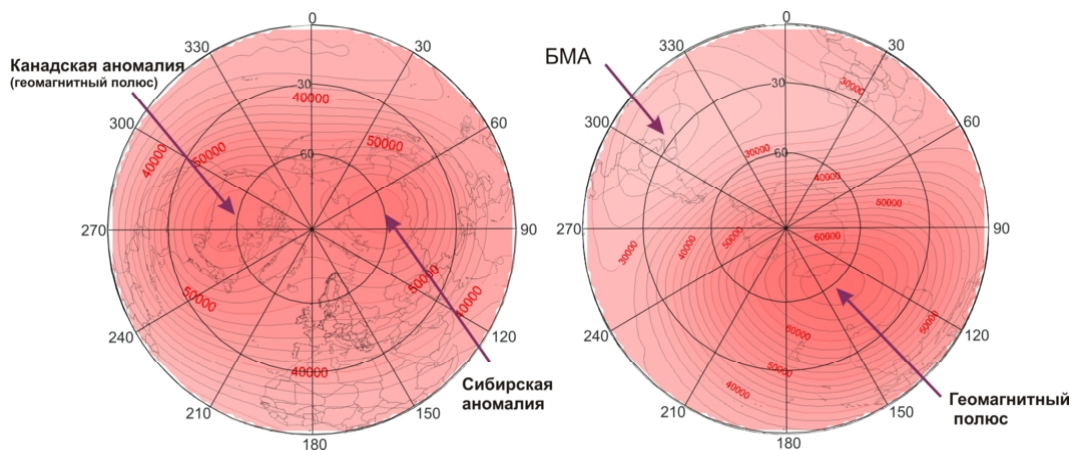


Рис. 1. Пространственная структура модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля F в Северном (левая панель) и Южном (правая панель) полушариях.

Изменения F во времени (его вековой ход) также для разных полушарий различаются: в Северном F уменьшается медленнее, чем в Южном. За 110 лет его среднее значение уменьшилось на ~ 470 нТл в Северном полушарии и на ~ 5200 нТл в Южном.

Для анализа изменений F в различных широтных диапазонах построены графики его средних значений, определены их линейный тренд и значения с вычетом линейного тренда (рис. 2). В Северном полушарии амплитуда и скорость изменений возрастают к низким широтам (1258 нТл для диапазона $70\text{--}90^\circ\text{N}$ и 1410 нТл для $20\text{--}40^\circ\text{N}$), в Южном – к высоким (8039 нТл для диапазона $70\text{--}90^\circ\text{S}$ и 3167 нТл для $20\text{--}40^\circ\text{S}$). В Южном полушарии основная роль принадлежит изменениям, период которых намного превышает длительность рассчитанного по данной модели ряда значений F , амплитуда же изменений с квази-60-летним периодом больше в Северном полушарии (~ 600 нТл), чем в Южном (~ 290 нТл), и возрастает от экватора к полюсам. (Рис. 2, 5 см. на цв. вкл. 2).

Карты вековых вариаций F построены для каждого десятилетия рассматриваемого периода (рис. 3). Для Южного полушария сохраняется та же тенденция, что и для Северного (Бахмутов и др., 2014): условно можно выделить три периода изменений в структуре векового хода – от начала прошлого столетия до его 40-х годов, с середины 40-х до 70-х, с середины 70-х до настоящего времени. Области на картах, где скорость изменений максимальная, называют фокусами векового хода. Первый период характеризуется наличием крупных фокусов векового хода – отрицательного на юге Индийского океана и положительных в Атлантическом океане и в районе Австралии. Отрицательный фокус разделяется на два более мелких, и в 30–60-х годах наиболее сильное уменьшение F отмечено в районе Западной Антарктики. Во второй период наблюдается «мелкофокусная» картина векового хода с последующим восстановлением крупных фокусов начиная с 70-х годов прошлого столетия, т.е. с начала третьего периода. Следует отметить, что тенденция к уменьшению напряженности геомагнитного поля в Западной Антарктике сохраняется, и к эпохе 2005 года можно говорить о том, что отрицательный фокус из Индийского океана переместился в эту область, а положительный – из Австралии в Индийский океан.

В целом нужно отметить, что западная и восточная части Антарктики имеют различную динамику геомагнитного поля: величина его напряженности уменьшается на западе и возрастает на востоке.

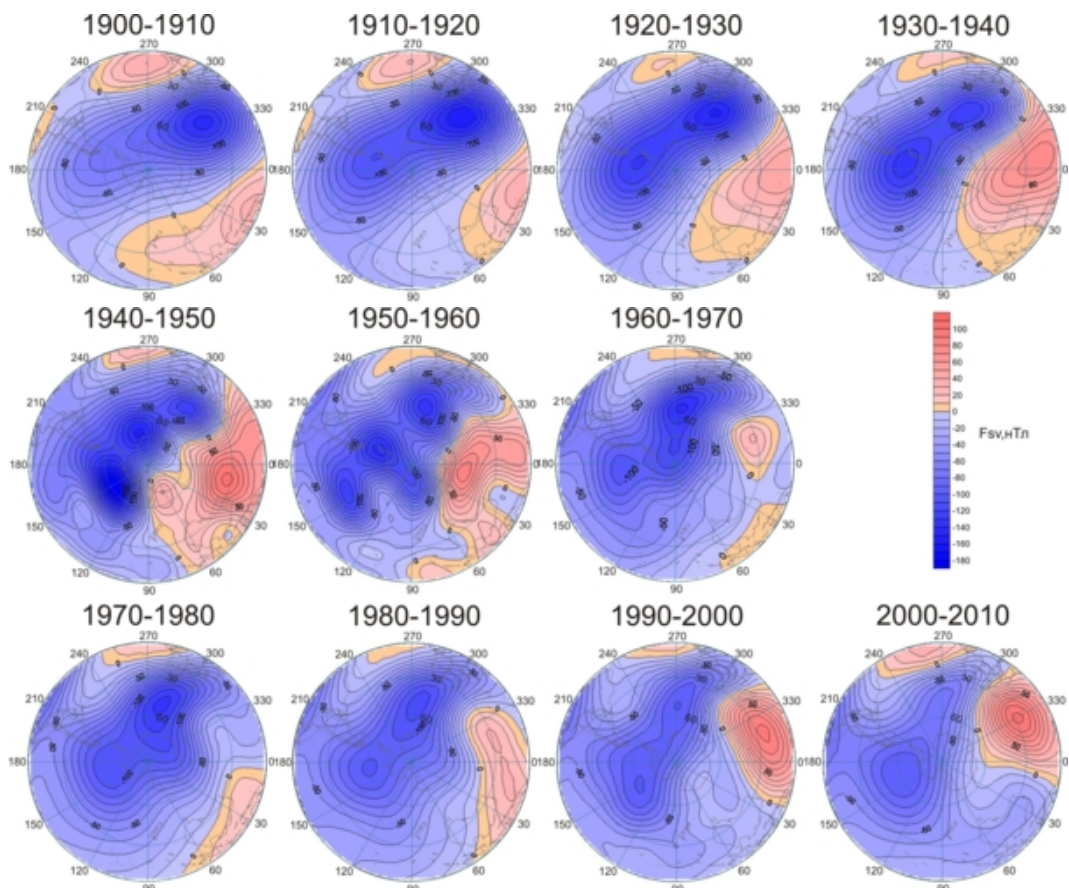


Рис. 3. Вековые вариации dF (nT) в Южном полушарии для каждого десятилетия периода 1900–2010 гг.

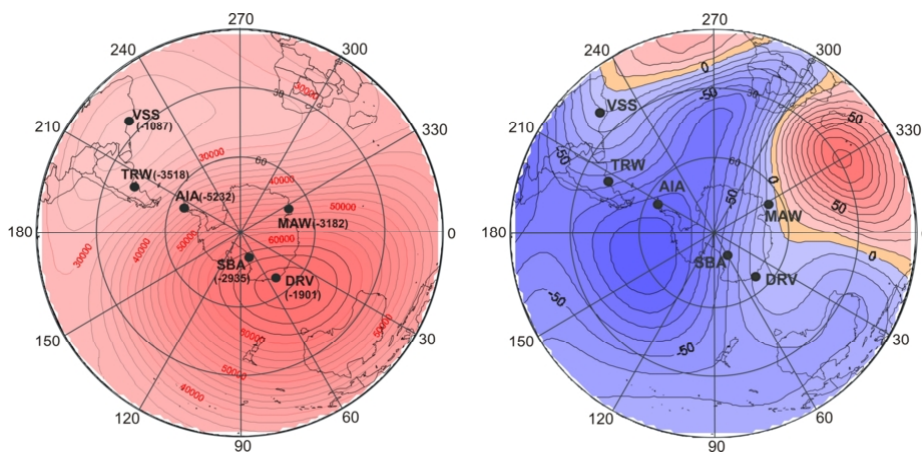


Рис. 4. Расположение обсерваторий, данные которых анализировались, относительно основных структур геомагнитного поля Южного полушария (левая панель) и фокусов его векового хода в первом десятилетии XXI столетия (правая панель) по данным IGRF. Цифрами в скобках показано изменение F_n в нТл за период 1957–2010 (для обсерватории TRW за 1958–2010, SBA за 1964–2010).

2.2. Данные наблюдений на обсерваториях

Наблюдения магнитного поля Земли на обсерваториях в Антарктиде в основном начались в конце 50-х годов прошлого столетия. Более длинные ряды имеют обсерватории Южной Америки. Рассмотрим изменения модуля полного вектора геомагнитного поля, наблюдаемого на обсерваториях F_n, в западной (VSS, TRW, AIA) и восточной (DRV, MAW, SBA) частях Южного полушария (рис. 4). Обсерватории выбраны исходя из их положения относительно основных структур геомагнитного поля в Южном полушарии: VSS находится в районе Бразильской аномалии, DRV – возле геомагнитного полюса, TRW, AIA, SBA и MAW – в зонах наибольших градиентов F. Для анализа использованы среднегодовые значений из базы данных British Geological Survey (http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/annual_means.shtml).

Изменения наблюдаемых значений F_n за период 1957–2010 подтверждают общее уменьшение напряженности геомагнитного поля за последнее столетие. Наиболее интенсивно оно происходит в районе Западной Антарктики – 5232 нТл за 53 года по данным обсерватории AIA. На обсерваториях, находящихся в центре Бразильской аномалии (VSS), и на геомагнитном полюсе (DRV) уменьшение F_n происходит медленнее, чем за аналогичный период на остальных.

На графиках по каждой обсерватории (рис. 5) кроме линейного тренда уменьшения F_n можно выделить более короткопериодные изменения (с предполагаемым периодом 60 лет). 60-летняя вариация известна давно, она имеет наибольшую амплитуду среди известных в этой части спектра вековых вариаций и выделяется по имеющимся рядам данных наблюдений. С середины 80-х годов прошлого столетия наблюдается фаза роста этой вариации. Поскольку на обсерватории мы наблюдаем суммарное значение F_n, включающее линейный тренд и 60-летнюю вариацию, это проявляется как замедление уменьшения величины F_n. Наибольшую амплитуду эта вариация имеет в Восточной Антарктике, где уже сейчас она положительна, что отражается на графиках F_n обсерваторий SBA, DRV и особенно MAW как отклонение от линейного тренда. Последняя обсерватория расположена наиболее близко к положительному фокусу векового хода геомагнитного поля (рис. 4, правая панель).

В западной части Южного полушария фаза роста 60-летней вариации наиболее видна на графике обсерватории VSS, расположенной в районе Бразильской аномалии и вблизи другого положительного фокуса векового хода в Атлантическом океане. Она наблюдается на фоне более слабого, чем на других обсерваториях, линейного тренда. На обсерваториях TRW и AIA наблюдается сильный линейный тренд, на фоне которого эта вариация едва заметна на графике для AIA, где её значение выше, чем на VSS и TRW (рис. 5). Обсерватория AIA находится в отрицательном фокусе векового хода, TRW и SBA – ближе к его окраинам, что и объясняет довольно большие линейные тренды наблюдаемых на этих обсерваториях значений F_n (рис. 4, правая панель).

3. Заключение

Анализ данных наблюдений и модельных расчетов геомагнитного поля показал, что в Южном полушарии геомагнитное поле за последние 110 лет уменьшается быстрее, чем в Северном. В Северном полушарии амплитуда и скорость изменений возрастают к низким широтам, в Южном – к высоким. В Южном полушарии основная роль принадлежит изменениям, выраженным линейным трендом, в Северном большую амплитуду имеют изменения с квази-60-летним периодом. Амплитуда последних возрастает от низких широт к полюсам в обоих полушариях. В структуре векового хода геомагнитного поля в течение прошлого столетия выделяются три периода изменений, аналогичные подобным в Северном полушарии (Бахмутов и др., 2014). Напряженность геомагнитного поля уменьшается на западе и возрастает на востоке Антарктики, что видно на картах векового хода F. Обсерватория AIA находится в отрицательном фокусе векового хода в Западной

Антарктике, и по её данным наблюдается наиболее быстрое уменьшение геомагнитного поля в этом регионе. Несмотря на наличие достаточно хороших моделей, описывающих геомагнитное поле, несомненную важность представляют собой данные непосредственных постоянных наблюдений, поскольку только они обеспечивают наиболее достоверную информацию о состоянии магнитного поля Земли. На 2010 год обсерватория AIA осталась на Антарктическом полуострове и прилегающих островах единственной, соответствующей критериям международной сети INTERMAGNET. Ближайшая к ней обсерватория PST находится на Фолклендских островах, и её ряд наблюдений значительно короче: он начинается с 1994 года.

Наблюдаемые изменения геомагнитного поля на поверхности Земли несут в себе информацию как о глубинных процессах, так и о состоянии её внешних оболочек. В рамках гипотезы гидромагнитного динамо считается, что источниками вековых вариаций геомагнитного поля являются токи на границе ядро – мантия. Возникновение и движение фокусов векового хода – отклик на изменение местоположения неоднородностей на границе мантии и внешнего ядра (Третьяк и др., 2002). Различие в динамике геомагнитного поля в Западной и Восточной Антарктике может служить одним из возможных объяснений температурных различий между этими регионами – одновременного охлаждения Восточной и потепления Западной Антарктики (Kilifarska et al., 2013).

Авторы выражают благодарность: World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/index.html>) за коэффициенты IGRF для синтеза полного вектора напряженности геомагнитного поля, **National Geophysical Data Center of NOAA** (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>) за возможность расчета ежегодных значений F и **British Geological Survey** (http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/annual_means.shtml) за ежегодные данные обсерваторий.

Работа выполнена при поддержке Государственного учреждения Украинский антарктический научный центр с использованием данных, полученных во время проведения украинских антарктических экспедиций на УАС Академик Вернадский.

Литература

Бахмутов В.Г., Мартазинова В.Ф., Килифарска Н.А., Мельник Г.В., Иванова Е.К. Связь изменений климата с геомагнитным полем. 1. Пространственно-временная структура магнитного поля Земли и климата в XX веке // Геофизический журнал. – 2014. – №1. – С. 81–104.

Бахмутов В.Г., Яременко Л.Н., Мельник Г.В., Шендеровская О.Я. Магнитное поле Антарктики по результатам обсерваторских наблюдений и модельных расчетов IGRF // Украинський Антарктичний Журнал. – 2006. – №4-5. – С. 64–71.

Третьяк А.Н., Яременко Л.Н., Бахмутов В.Г. Геомагнитные вековые вариации в Антарктике // Бюлетень Українського Антарктичного Центру. – 2002. – Випуск 4. – С. 83–89.

Яременко Л.Н., Мищенко Ю.П., Шендеровская О.Я. Вековые изменения геомагнитного поля в Антарктике // Бюлетень Українського Антарктичного Центру. – 2000. – Випуск 3. – С. 88–191.

Яременко Л.Н., Мищенко Ю.П., Шендеровская О.Я. О различиях вековых вариаций в Арктике и Антарктике // Геофизический журнал. – 2001. – №2. – С. 67–72.

Kilifarska N.A., Bakhmutov V.G., Melnyk G.V. The mystery of Antarctic climate change and its relation to geomagnetic field // Украинський Антарктичний Журнал. – 2013. – № 12. – С. 45–55.