

ТОРМОЖЕНИЕ В СМЕЩЕНИИ ЮЖНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЮСА ЗЕМЛИ

© 2021 г. А.В. Тertyшников¹

¹ ФГБУ ИПГ, Москва, Россия,

* E-mail: atert@mail.ru

Скорость смещения Южного магнитного полюса Земли (ЮМПЗ) за последние 60 лет уменьшилась втрое. С такими темпами возможны кардинальные изменения в траектории смещения ЮМПЗ в ближайшие 10-20 лет. Приведены результаты эксперимента в Южном океане по оценке положения ЮМПЗ на основе решения обратной задачи с использованием данных модели Международного геомагнитного аналитического поля IGRF13. Разобран пример с оценкой магнитной девиации судовых наблюдений магнитных склонений.

Ключевые слова: компас, магнитометрия, полюс, эксперимент, магнитная буря, волнение, модель, позиционирование

Введение.

Россия внесла значительный вклад в историю открытия Южного магнитного полюса Земли (ЮМПЗ). В первой Русской антарктической экспедиции 1819-1821 г.г. экстраординарным профессором Казанского университета И.М. Симоновым проводились магнитные наблюдения, определения девиации компасов на различных курсах корабля. Их не включили в отчет экспедиции для морского ведомства, но в 1830 г. результаты измерений удалось опубликовать в «Казанском вестнике». Через несколько лет К. Гаусс обнаружил эту статью и перевел её на немецкий, а в 1840 г. запросил через И. Крузенштерна у Ф. Беллинсгаузена материалы экспедиционных измерений и рассчитал положение ЮМПЗ. Расчеты были подтверждены после возвращения из Антарктиды Джеймса Росса, которому был отдан приоритет определения координат ЮМПЗ в 1841 г., хотя в своей экспедиции он прошел в 250 км от него [Яновский, ЛГУ. 1978, Тertyшников и др., 2014].

Координаты Южного магнитного полюса Земли (ЮМПЗ), определенные в экспедиции Э.Г. Шеклтона 15.01.1909 г., подтвердили смещение магнитного полюса, продолжающееся до сих пор (рис. 1).

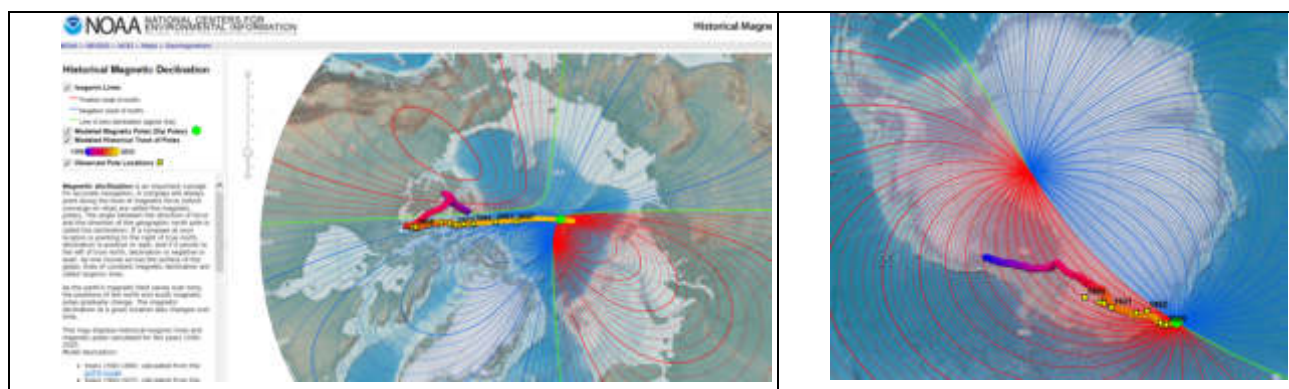


Рис. 1 Движение полюсов по модели IGRF12 [<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/SP.xy>].

Северный МПЗ в начале прошлого века показал разворот в своем движении. Может ли подобное проявиться с движением ЮМПЗ, скорость которого за последние 60 лет уменьшилась втрое? При такой тенденции можно ожидать остановку и разворот в смещении ЮМПЗ в

ближайшие 10-20 лет. Нынешняя скорость смещения ЮМПЗ оценивается примерно в 6 км в год. При этом, в течение суток вариации положения ЮМПЗ достигают до 30 км [Тарасов, 2012].

При столь значительных ошибках в потенциальных оценках положения магнитных полюсов вполне понятна дискретность расчетов раз в 20-30 лет. по данным высокоточных наблюдений сети магнитных обсерваторий и спутниковых измерений [Love, 2013]. А в моделях используется корректировки каждые 5 лет, например, по Международной геомагнитной опорной модели IGRF (International Geomagnetic Reference Field [Finlay, 2010]), где особенно заметна значительная невязка с данными измерений. Оценка этой невязки также может использоваться для оценки аномального торможения ЮМПЗ.

Магнитные полюса – это проявление главного магнитного поля Земли, в моделях которого используется модель магнитного диполя в центре Земли. Ось диполя, например, в модели World Magnetic Model (WMM [<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>]) наклонена, примерно, на $9,41^\circ$ к оси вращения Земли и пересекает поверхность Земли в двух противоположных точках, называемых геомагнитными полюсами. Положение фактических зон магнитных полюсов, где магнитное поле на поверхности Земли квазивертикально, не совпадает с зонами геомагнитных полюсов.

Координаты магнитных полюсов Земли (МПЗ) есть во всех моделях магнитного поля Земли, в том числе в коммерческой Британской глобальной геомагнитной модели BGGM (British Global Geomagnetic Model, [Macmillan, 1993]) Британской геологической службы.

Зоны с МПЗ остаются труднодоступными для прямых измерений из-за сложных гидрометеорологических условий, затрудняющих проведение магнитных съемок высокоточной и дорогостоящей аппаратурой.

Для оценки положения МПЗ активно используются спутниковые технологии (КА CHAMP, Swarm и др.) [Петрова, 2020]. Принципы магнитной дальнометрии активно используются в глубинном бурении скважин [Дондериси, 2013, Гвишиани, 2018] и могут быть использованы в расчетах положения МПЗ по измерениям магнитных склонений на значительных удалениях от них, чтобы преодолеть масштаб явления, а также труднодоступность зон МПЗ.

Известные прямые гидромагнитные исследования аномального магнитного поля с помощью двух буксируемых трехкомпонентных магнитометров с торсионным и магниторезистивным датчиками [Иванов, 2021] при штормовых скоростях ветра до 30 м/с и волнах до 6 м при скорости судна 8-12 узлов использовались в назначенной зоне ЮМПЗ. При выборе зоны измерений был использован метод «артиллерийской вилки» – нахождения центра между координатами полюса по моделям IGRF и WMM на примерное время эксперимента. Первые оценки положения ЮМПЗ в 2020 г. были получены ранее в другом эксперименте.

Схема эксперимента.

Эксперимент по оценке положения ЮМПЗ был проведен в первой декаде апреля 2020 г. по данным информационно-аналитической системы (ИАС) судна «Маршал Геловани». Для сравнения использована модель IGRF13 [Finlay, 2010]. Удаленные измерения положения ЮМПЗ позволяют реализовать принцип «большое видится на расстоянии», а зона с ЮМПЗ превращается в точку.

В состав использованного оборудования для получения данных измерений вошли штатный судовой: навигационный приемник сигналов ГНСС, гирокомпас, ориентированный на географический полюс, магнитный компас. Точность гирокомпаса и магнитного компаса на значительном удалении от зоны ЮМПЗ оказалась вполне достаточной для проведения эксперимента и превышала точность картированных изогон (линий равных магнитных склонений) по модели IGRF. Дискретность измерений составляла 1 час.

Для отрезка наблюдений с 17-00 по московскому времени 06.04.2020 до 13-00 09.04.2020 маршрут измерений представлен на рис. 2 в прямоугольной проекции координат на фоне веера изогон по модели IGRF13 на 01.01.2020 г. в спокойных геомагнитных условиях.

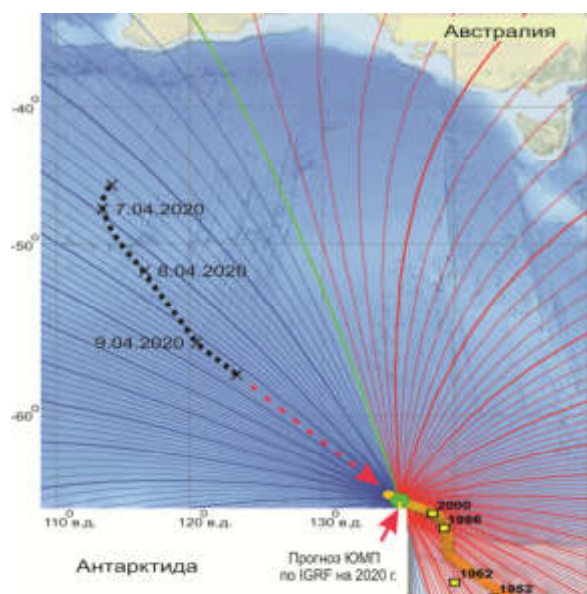


Рис. 2 – Маршрут эксперимента

Синий цвет изогон указывает на отклонение модельного магнитного склонения на север, красный – на юг, зеленая линия – граница между ними. Красная стрелка в продолжение маршрута измерений ориентирована на предполагаемое положение ЮМПЗ. Желтые квадраты соответствуют рассчитанному положению ЮМПЗ по данным высокоточных измерений магнитных обсерваторий на указанный год. Оранжевая кривая – результаты моделирования смещения ЮМПЗ по модели IGRF13.

Разница показаний магнитного компаса и гирокомпаса в точке измерений с поправкой на аномальное магнитное поле соответствует магнитному псевдосклонению, потому что в нем не учитывается магнитная девиация судна, которая должна регулярно корректироваться циркуляциями по маршруту следования.

Минимизации невязки между псевдосклонением и картированным по модели главного магнитного поля Земли на разные годы позволяет оценить примерное положение ЮМПЗ и качество используемой модели магнитного поля Земли. Решения подобных простейших обратных задач для гладких функций не представляют сложности.

Результаты измерений.

Аномальное магнитное поле по маршруту эксперимента на фоне главного магнитного поля было незначительным в соответствии с данными модели магнитных аномалий WDMAM (World Digital Magnetic Anomaly Map [EMAG3, 2020]). Эта модель была создана в рамках международного научного проекта под эгидой IAGA и CGMW (Commission for the Geological Map of the World) для обобщения и картографирования характеристик магнитных аномалий, вызванных литосферой. Для сравнения использовались также данные магнитных аномалий по модели EMAG2 из [Maus, 2009, EMAG2, 2018]. Вариации аномального магнитного поля по маршруту судна в Южном океане по модели, фактически по данным КА CHAMP и Swarm (высоты 400-450 км), составили +/- 150 нТл. Прибрежные аномалии магнитного поля у Антарктиды по данным [Di Segnidalcielo, 2017] оцениваются в +/- 5 нТл.

Вывод о малом вкладе горизонтальных составляющих аномального магнитного поля в показания компаса по трассе эксперимента и на большом удалении от ЮМПЗ подтверждается оценкой вклада внутреннего магнитного поля Земли в полный вектор магнитной индукции (B), наблюдаемого на земной поверхности (более 95% от общего уровня) вблизи магнитных полюсов, где вектор поля ориентирован квазиперпендикулярно земной поверхности с оценкой, порядка 60000 нТл, а в районе экватора, где вектор направлен горизонтально – около 30000 нТл. Для сравнения, в Норвежском море (~65° с.ш.) величина полного вектора поля составляет примерно 52000 нТл, а горизонтальная (главным образом азимутальная) составляющая этого векто-

ра – около 11000 нТл. На Аляске (~70° с.ш.) полный вектор равен 53000 нТл, а азимутальная составляющая – примерно 8000 нТл [Гвишиани, 2018]).

Результаты расшифровки маршрутных измерений представлены графиками на рис. 3.

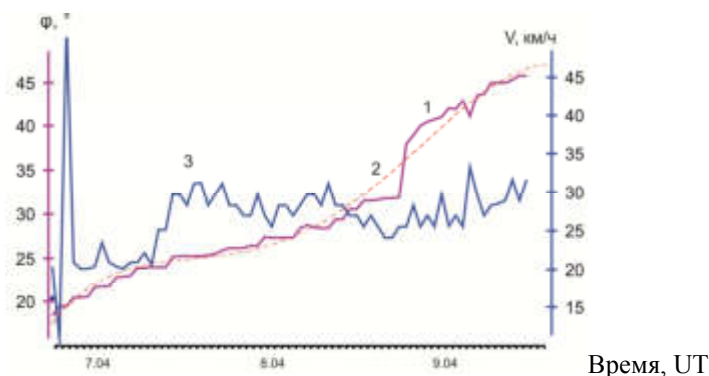


Рис. 3 – Результаты измерений: 1 - фиолетовая кривая – оценка магнитного склонения (градусов от направления на север), 2 - штриховая кривая – аппроксимация кривой 1, 3 - синяя кривая – оценки скорости компаса (км/ч).

В определении скорости по визуальным навигационным измерениям выбраковывались ошибки из-за сложных гидрометеорологических условий. Для верификации измеренных магнитных склонений был подобран аппроксимирующий полином 4 степени с высоким уровнем достоверности $R^2= 0,9822$ в виде: $y=-9E-06x^4+0,0013x^3-0,0596x^2+1,1546x+16,35$, где x – номер часа от начала эксперимента. На его фоне чётче проявились аномальные изменения магнитного склонения 8.04.2020 г.

Резкое увеличение склонения пришлось на конец суток 8.04.2020 г. Оно не вписывалось в динамику оценок трехчасовых к-индексов, рассчитанных по данным магнитных измерений на французской антарктической станции Дюпон-Д'Юрвиль, которая находится на побережье Антарктиды и ближе всего к зоне ЮМПЗ. Эти оценки представлены по расчетам ААНИИ в табл. 1.

Таблица 1. Оценки трехчасовых к-индексов по данным измерений на станции Дюпон-Д'Юрвиль,

Дата	Оценки трехчасовых к-индексов							
	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-00
06.04.2020	2	1	1	0	2	1	1	1
07.04.2020	1	1	1	0	0	0	0	2
08.04.2020	3	3	2	2	2	2	1	2
09.04.2020	2	1	0	0	2	1	1	1
11.04.2020	2	2	0	0	2	3	1	2
12.04.2020	2	1	0	1	3	2	2	2
13.04.2020	2	0	0	1	0	2	1	2

Данные о трехчасовых к-индексах по станции Москва представлены на рис. 4.

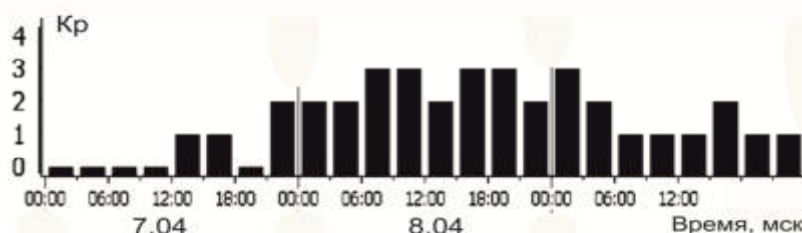


Рис. 4 – Изменение трехчасового к-индекса магнитной активности по станции Москва.

На рис. 5 представлены невязки оценок магнитных склонений по результатам судовых измерений и по модели IGRF12 для эпох 2000 и 2020 г.

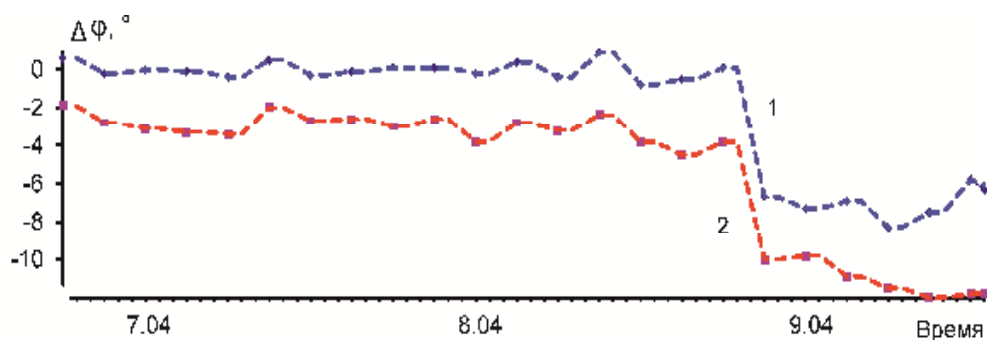


Рис. 5 – Оценки разности магнитных склонений:
1 – по модели IGRF13 2000 г., 2 – по модели IGRF13 2020 г.

Резкие изменения невязок возникли при выходе корабля из зоны холодного фронта. Изменились ветер и волнение. Килевая качка сменилась бортовой. Сильная волна начала бить в борт корабля. Высота отдельных волн достигала 8-10 м (рис. 6).

Удар аномальной волны привел к повреждению крепежа судового оборудования и ошибкам измерений. Поэтому после 09.04.2020 г. эксперимент был прекращен, так как убрать аномальную девиацию не удалось [Тертышников, 2020].



Рис. 6 – Волна при боковой качке.

Оценки систематических ошибок измерений.

Магнитные компасы, использованные в измерениях, находились на верхней палубе и в ходовой рубке. Оценки курса по гирокомпасу соответствовали определениям курса по данным навигационного приемника. Для оценки возможной систематической ошибки измерений (в том числе магнитной девиации судна) были использованы оценки невязок магнитных склонений в Арктике по маршруту научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов» 10 – 30 июня 2021 года [Тертышников, 2022], где использовалась та же схема измерений, что и в Южном океане [Тертышников, 2020] и на судне «Профессор Молчанов» в [Тертышников, 2021].

Рассчитанный маршрут проведения экспериментальных исследований потенциальной систематической ошибки магнитных судовых измерений представлен на рис. 7.

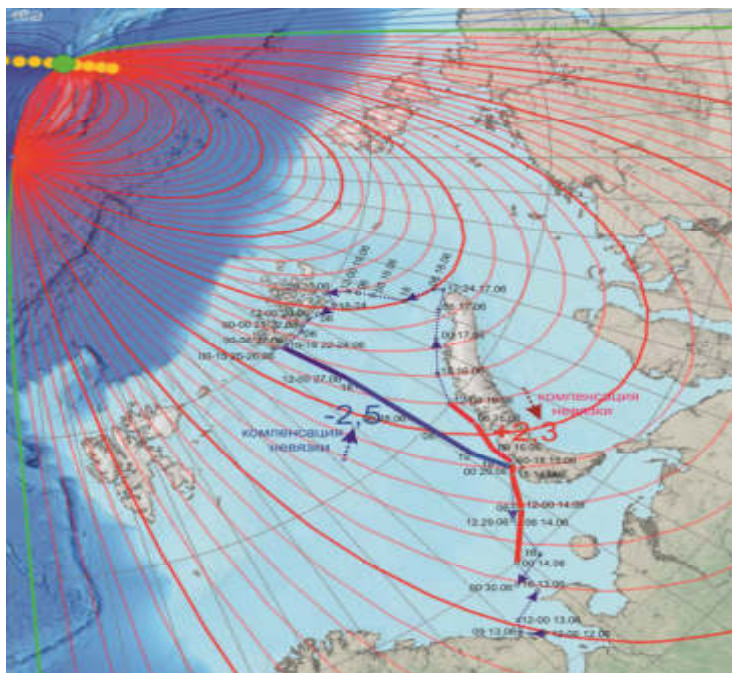


Рис. 7 – Маршрут и аномальные невязки эксперимента на НЭС «Михаил Сомов»

Маршрут судна представлен на фоне рассчитанных по модели IGRF13 изогон на 01.01.2021 г., модельное ежегодное положение магнитного полюса показано желтыми и зеленой (на 01.01.2021 г.) точками. Зеленые линии – нулевые изогоны. На участках маршрута отмечена временная привязка судна. Толстые линии на участках маршрута соответствуют средним аномальным невязкам – отклонениям расчетных магнитных склонений от модельных в среднем на +2,3 градуса (красные) и -2,5 градуса (синие). Эти оценки получены при выбраковке измеренных магнитных склонений, отличающихся не менее 5 градусов от картированных. Стрелками показано потенциальное смещение изогон в градусах магнитных склонений, необходимое для компенсации аномальных невязок. Полученные оценки средних аномальных невязок могут использоваться при оценке результатов рис. 5.

Результаты рис. 6 можно трактовать как проявление намагниченности корабля во внешнем магнитном поле Земли. Если не учитывать береговой эффект в магнитном поле Земли у побережья Новой Земли и пересечение аномалий магнитного поля, для компенсации магнитной девиации корабля модельный СМПЗ должен быть ближе к кораблю от своего истинного положения при следовании на север. На обратном маршруте корабля проявилась обратная картина. Похоже, что судно не перемагнитилось во внешнем магнитном поле. Это обуславливает необходимость измерений невязок по протяженным замкнутым маршрутам.

Дискуссия о псевдокоординатах Южного магнитного полюса.

Определение положения МПЗ – работа с огромными массивами данных под руководством известных в магнитометрии специалистов, авторитет которых гарантирует качество результатов [Куденко, 2021]. Результаты эксперимента в Южном океане стали основой для первого в истории современной России оценки положения ЮМПЗ. Шедшей «вслепую» магнитометрической группе на «Адмирале Владимирском» было предложено участие в эксперименте и переданы координаты точки встречи в зоне модельного положения ЮМПЗ по IGRF: на 01.01.2020 г. 135.866 в.д. и 64.081 ю.ш. [Data Poles, 2020]. По модели WMM: 135.877 в.д. и 64.073 ю.ш. [Data Poles WMM2020]. Подстраховка с «Маршала Геловани» оказалась необходимой.

Для измерений с «Маршала Геловани» в Южном океане просматривается тенденция увеличения невязки между положениями ЮМПЗ по эпохе 2000 г. и 2020 г. Это может быть

обусловлено не учетом магнитной девиации судна и завышением скорости смещения модельного положения ЮМПЗ на 2020 г. На фоне небольших скоростей смещения за год можно ограничиться этим выводом, так как по амплитуде суточного перемещения положение ЮМПЗ варьирует в интервале до +/- 5 лет.

С учетом поправки на оценку потенциальной магнитной девиации, определенной для судна «Михаил Сомов», можно определить положение ЮМПЗ между прогностическими значениями на 2000 г. и на 2020 г. и ближе к последнему, что означает возможность изменений в смещении ЮМПЗ. Прояснить задачу с оценкой магнитной девиации могли бы измерения с подходящего из Атлантики судна «Адмирал Владимирский».

Модели главного магнитного поля статистические. В них используются данные измерений наземных магнитных обсерваторий и специальных магнитных спутниковых наблюдений. Модель IGRF объединяет комплекс математических моделей Главного магнитного поля Земли и скорости его изменения, основана на методе сферического гармонического анализа [Finlay, 2010]. Коэффициенты модели рассчитаны рабочей группой IAGA V-MOD. Программная реализация модели доступна, как и результаты моделирования, в том числе по положению МПЗ, где используется подбор огибающей предыдущих координат и их экстраполяция. Ошибки экстраполяции неизбежны и зависят от длины используемого ряда.

Использование в расчетах WMM [WMM], где представлены карты для каждого из семи магнитных элементов (D, I, H, X, Y, Z и F) и их вековых вариаций (скорости изменения), оказалось сложнее в практическом отношении.

Точность расчетов магнитного поля над территорией Российской Федерации на высотах полетов спутников оценивается в $0,5^\circ$. Наибольшие погрешности в определении магнитного поля приходятся на высокие широты. По оценкам [Гвишиани, 2015, Лукомский, 2002] у поверхности Земли в районах магнитных аномалий ошибка склонения может превышать $7-10^\circ$.

Локальные аномальные изменения магнитного поля легко фиксируются средствами связи и компасами при ускорении электропоездов. Наводимые электродвигателями поездов локальные магнитные возмущения сравнимы с сильной магнитной бурей. НЭС «Михаил Сомов» – это дизель-электроход. При расшифровке показаний его судовых приборов было отмечено влияние судовых электрогенераторов под нагрузкой на аномальные магнитные девиации. При установившемся движении судовые приборы, использованные в эксперименте, фиксировали адекватные и устойчивые изменения.

На измерения могла оказать влияние магнитная буря. В Южном океане это проявилось в малых вариациях рассчитанных магнитных склонений. При походе «Михаила Сомова» вдоль западного берега Новой Земли 15-16.06.2021 г. тоже была зафиксирована слабая магнитная буря. В это время маршрут проходил через положительную аномалию магнитного поля, которая также проявилась в аномальных систематических ошибках рассчитанных невязок.

Отрицательные аномалии невязок при возвращении «Михаила Сомова» от Земли Франца Иосифа к Новой Земле 27 - 29.06.2021 совпали с положением отрицательной аномалии на карте аномального магнитного поля по модели EMAG2v3 [EMAG3], составленной на основе спутниковых, корабельных и воздушных магнитных измерений. В Южном океане по маршруту эксперимента аномалии магнитного поля по модели EMAG2v3 были незначительными.

М.В. Ломоносов в 1759 г. в докладе «Рассуждение о большой точности морского пути» рекомендовал для изучения земного магнетизма организовать сеть постоянных пунктов, в которых производить систематические магнитные наблюдения, в том числе и на море.

Для решения вопроса об аномальном торможении ЮМПЗ ждем расчеты положения ЮМПЗ по данным магнитных обсерваторий.

Выводы.

За последние 60 лет скорость смещения ЮМПЗ уменьшилась втрое. При таких темпах возможна остановка и разворот в смещении ЮМПЗ в ближайшие 10-20 лет.

Нынешняя скорость смещения ЮМПЗ оценивается около 6 км в год. При таких малых скоростях весьма критичны и ошибки прогнозирования. Их признаки отмечены по измерениям

магнитных склонений в Южном океане.

Положение псевдоположения ЮМПЗ по данным измерений магнитных склонений в Южном океане с учетом оценок магнитной девиации оказалось между модельными положениями 2000-2020 г.г. по модели IGRF13 и ближе к эпохе 2020 г.

Решение вопроса об аномальном движении ЮМПЗ требует повторных экспериментов и оценок положения ЮМПЗ по данным высокоточных магнитных обсерваторий.

Необходим мониторинг магнитных полюсов Земли.

Литература

- Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю.* Геоинформатика и наблюдения магнитного поля Земли: российский сегмент // Физика Земли. 2015а. № 2. С. 3–20.
- Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю.* Оценка влияния геомагнитных возмущений на траекторию наклонно-направленного бурения глубоких скважин в арктическом регионе / Физика Земли. 2018 г., № 4, с. 19–30. DOI: 10.1134/S0002333718040051
- Дондериси Б., Мосс Клинтон Дж.* Способ и система магнитной дальнометрии и геонавигации / Заявка 2016116776 от 23.12.2013, Дата публикации заявки: 30.01.2018, Бюл. № 4, Опубликовано: 17.10.2018, Бюл. № 29.
- Иванов С. и др.* Three-component magnetic measurements during the round-the-world expedition of R/V “Admiral Vladimirskij”: experience and perspectives / 13th International Conference and School "Problems of Geocosmos" March 24-27, 2021 / <https://geo.phys.spbu.ru/geocosmos/2020/>
- Лукомский Ю.А. и др.* Навигация и управление движением судов. СПб.: "Элмор", 2002. 360 с.
- Петрова А. и др.* Verification of the Earth's magnetic field component model based on observations on the CHAMP and Swarm satellites / <https://geo.phys.spbu.ru/geocosmos/2020/data/data/htmls/EG/EG010.html>
- Куденко А.* В РГО рассказали, когда будет известно положение южного магнитного полюса / <https://ria.ru/20200609/1572686327.html>
- Тарасов Л.В.* Земной магнетизм. Долгопрудный: ИД «Интеллект, 2012. 184 с.
- Тертышников А.В.* «Способ определения положения магнитного полюса Земли». Патент на изобретение. Заявка 2020134228/28(062757) от 19.10.2020.
- Тертышников А.В.* Оценки положения северного магнитного полюса в 2021 г. по данным с научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов» // Гелиогеофизические исследования. 2022. Вып. 34. С. 49 – 51. DOI 10.5425/2304-7380_2022_34_49.
- Тертышников А.В.* Оценки положения северного магнитного полюса по измерениям с научноисследовательского судна «Профессор Молчанов» 26.10.2021 – 09.11.2021 г. // Гелиогеофизические исследования. 2021. Вып. 31. С. 58 – 61. DOI: 10.54252/2304-7380_2021_31_58.
- Тертышников А.В. и др.* Магнитные индексы. Учебное пособие. Москва-Обнинск, 2014. 178 с.
- Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.: ЛГУ. 1978. 592 с.
- Aiken P., Thebault E., Beggan C.D. et al.* International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation. Earth Planets Space 73, 49 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>
- Macmillan S. et al.* Error estimates for geomagnetic field values computed from the BGGM. Technical Report WM/93/28C. 1993. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK.
- Golynsky A. et al.* A Digital Magnetic Anomaly Map of the Antarctic / <https://www.researchgate.net/project/ADMAP-2-the-next-generation-magnetic-anomaly-map-of-the-Antarctic>, 2006.
- Tikku A.A., Cande S.* (1999) The oldest magnetic anomalies in the Australian-Antarctic Basin: are they isochrons? // J Geophys Res 104: 661–677
- Love J.J., Chulliat A.* An International Network of Magnetic Observatories // Eos. 2013. V. 94. Is. 42. P. 373–374. Doi 10.1002/2013EO420001
- Maus S. et al.* EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements // An electronic Journal of the Earth Sciences «Geochem-

istry, Geophysics, Geosystems». Technical Brief. V. 10, № 8, 7 August 2009. Q08005, doi:10.1029/2009GC002471.

Di Segnidalcielo - 26/09/2017 La NASA sta monitorando in gran segreto una enorme “Anomalia Magnetica” in Antartide / <https://www.segnidalcielo.it/la-nasa-sta-monitorando-in-gran-segreto-una-enorme-anomalia-magnetica-in-antartide/>

Data Poles <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/SP.xy>

Historical Magnetic Declination https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/

WMM2020 <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>

EMAG3: NGDC's candidate for the World Digital Magnetic Anomaly Map /

<http://geomag.org/models/wdmam.html>

EMAG2: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution) /

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/emag2.html>

Data Poles WMM2020 https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/WMM2020_SP.xy

Space Weather Data <http://www.celestrak.com/SpaceData/SW-Last5Years.txt>

DECELERATION IN THE DISPLACEMENT OF THE EARTH'S SOUTH MAGNETIC POLE

© 2021 A. V. Tertyshnikov

AGI, Moscow, Russia,

E-mail: atert@mail.ru

Over the past 60 years, the rate of displacement of the Earth's South Magnetic Pole (SMP) has decreased threefold. At this rate, drastic changes in the trajectory of the SMP are possible in the next 10-20 years.

The results of an experiment in the Southern Ocean to assess the position of the SMP, based on solving the inverse problem using data from the international geomagnetic analytical field model IGRF13, are presented.

An example with an estimate of the magnetic deviation of ship observations of magnetic declination is analyzed.

Keywords: compass, magnetometry, pole, experiment, magnetic storm, excitement, model, positioning