Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2025. Т. 53. №4. С. 93 - 104. ISSN 2079-6641

ФИЗИКА

https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-93-104

Научная статья

Полный текст на русском языке

УДК 550.383.3

Оценка скорости перемещения южного магнитного полюса в XX–XXI веках

***Н. Н. Семаков*[1,2], *Д. А. Уколов*[*1,3]**

[1] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия

[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», ул. Беринга, 38, Санкт-Петербург, 199397, Россия

[3] Сейсмологический филиал Единой Геофизической Службы Российской Академии Наук, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

Аннотация. В работе выполнена оценка скорости и направления перемещения Южного магнитного полюса в XX–XXI веках. Для анализа использованы данные магнитных наблюдений в районах Южного полушария, где угол магнитного наклонения превышает 60°. Отмечены региональные особенности положения расчётных магнитных полюсов и выявлены общие закономерности их векового дрейфа. В рамках семидесятой Российской антарктической экспедиции 2024–2025 годов проведено более сорока серий угловых магнитных наблюдений на морском льду и в прибрежных оазисах Антарктиды, что позволило уточнить параметры перемещения полюса. Магнитное поле Земли остаётся одной из наименее изученных геофизических оболочек, а изменения координат магнитных полюсов отражают сложные процессы в ядре и мантии планеты. Для уточнения закономерностей вековых смещений необходимы регулярные абсолютные угловые измерения и развитие сети пунктов векового хода в малоизученных районах Антарктики.

Ключевые слова: южный магнитный полюс, геомагнитное поле, вековые вариации, дрейф магнитных полюсов, локальная магнитная постоянная

Получение: 21.10.2025; Исправление: 12.11.2025; Принятие: 24.11.2025; Публикация онлайн: 25.11.2025

Для цитирования. Семаков Н. Н., Уколов Д. А. Оценка скорости перемещения южного магнитного полюса в XX–XXI веках // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2025. Т. 53. № 4. С. 93-104. EDN: UCSOBF. https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-93-104.

Финансирование. Материальная поддержка проекта осуществлялась за счёт Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) и Сейсмологического филиала Единой Геофизической службы Российской Академии Наук.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

***Корреспонденция:** E-mail: d.ukolov@g.nsu.ru

Контент публикуется на условиях Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Семаков Н. Н., Уколов Д. А., 2025

© ИКИР ДВО РАН, 2025 (оригинал-макет, дизайн, составление)

Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki. 2025. vol. 53. no. 4. P. 93 - 104. ISSN 2079-6641

PHYSICS

https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-93-104

Research Article

Full text in Russian

MSC 86A25

Estimation of the South Magnetic Pole Drift Velocity in the 20th–21st Centuries

***N. N. Semakov*[1,2], *D. A. Ukolov**[1,3]**

[1] Novosibirsk State University, 1 Pirogov St., Novosibirsk, 630090, Russia

[2] Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering St., St. Petersburg, 199397, Russia

[3] Seismological Branch of the Unified Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, 3 Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Abstract. This study presents an assessment of the speed and direction of the South Magnetic Pole movement during the 20th–21st centuries. The analysis is based on magnetic observations in Southern Hemisphere regions where the inclination angle exceeds 60°. Regional features of the calculated magnetic poles and general trends of their secular drift are identified. Within the framework of the 70th Russian Antarctic Expedition (2024–2025), over forty series of angular magnetic observations were carried out on sea ice and in coastal oases of Antarctica, allowing refinement of the pole's movement parameters. The Earth's magnetic field remains one of the least explored geophysical phenomena, with pole coordinate variations reflecting complex processes in the planet's core and mantle. To improve understanding of long-term pole shifts, regular absolute angular measurements and the development of secular variation networks in poorly studied Antarctic regions are required.

Key words: South Magnetic Pole, geomagnetic field, secular variations, magnetic pole drift, local magnetic constant.

Received: 21.10.2025; Revised: 12.11.2025; Accepted: 24.11.2025; First online: 25.11.2025

For citation. Semakov N. N., Ukolov D. A. Estimation of the south magnetic pole drift velocity in the 20th–21st centuries. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2025, **53**: 4, 93-104. EDN: UCSOBF. https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-93-104.

Funding. The project was financially supported by the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) and the Seismological Branch of the Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences.

Competing interests. There are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

***Correspondence:** E-mail: d.ukolov@g.nsu.ru

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Semakov N. N., Ukolov D. A., 2025

© Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, 2025 (original layout, design, compilation)

Введение

В работе для анализа поведения глобального магнитного поля и южного магнитного полюса используется **представление эквивалентного магнитного диполя** (рис. 1). Эквивалентным магнитным диполем называется такой диполь, ориентация и магнитный момент которого способны **свести наблюдаемое магнитное поле в данной точке наблюдения к модели с тремя ключевыми параметрами** [1]: магнитным моментом M, расстоянием R от центра диполя до точки наблюдения и углом ориентации θ.

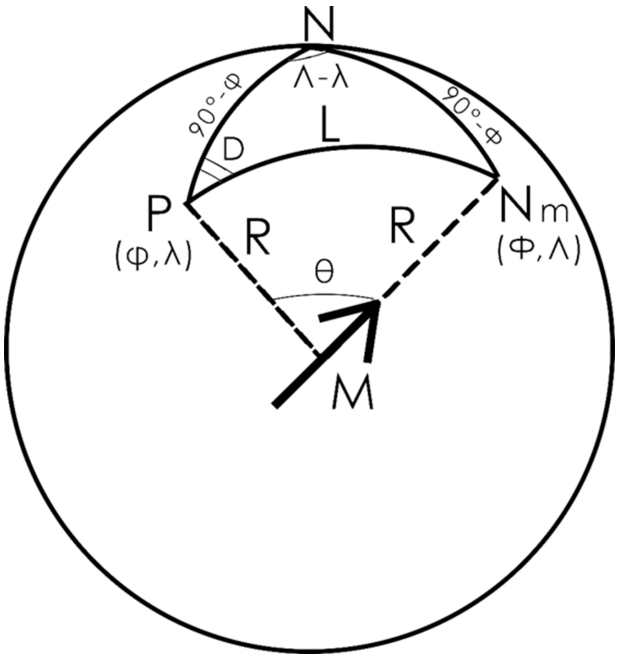

Рис. 1. Схематическое представление эквивалентного магнитного диполя и параметров, используемых для расчёта координат виртуального магнитного полюса

Figure 1. Schematic representation of the equivalent magnetic dipole and the parameters used for calculating the coordinates of the virtual magnetic pole

Для обработки экспериментальных данных производится пересчёт величин склонения и наклонения в координаты южного магнитного полюса для каждого эквивалентного диполя [2–4]. При этом расчётные координаты полюса **не зависят от величины магнитного момента** M. Силовые компоненты измеренного поля (H и Z) преобразуются в величину **локальной магнитной постоянной** G [5], которая не зависит от ориентации эквивалентного диполя. В 1914 году американский геофизик Бауэр предложил чисто силовую характеристику магнитного поля, связанную с магнитным моментом M и расстоянием R до диполя:

$$M = G \cdot R^3.$$

Величина G вычисляется по формуле:

$$G = \sqrt{H^2 + 0.25\,Z^2}.$$

При этом независимость G от угла θ обеспечивается выбранной комбинацией компонентов [6–8]. Сами компоненты для диполя рассчитываются как:

$$H = \frac{M \sin\theta}{R^3}, \quad Z = \frac{2M \cos\theta}{R^3}.$$

Угол θ также определяет длину дуги большого круга радиуса $R = 6371$ км, соединяющей точку наблюдения с северным полюсом эквивалентного диполя. На основе этих характеристик исследуется поведение следующих магнитных параметров:

- R – расстояние от точки наблюдения до магнитного центра диполя,
- L – расстояние от магнитного полюса до обсерватории,
- T – модуль вектора магнитной индукции,
- $V_{\text{вмп}}$ – скорость виртуального (расчётного) магнитного полюса,
- $V_{\text{мм}}$ – скорость изменения величины магнитного момента.

Данный подход позволяет учитывать как глобальные, так и локальные изменения магнитного поля, включая их временную динамику и связь с геофизическими событиями, такими как землетрясения.

Методика работ

Для анализа использовались среднегодовые данные с магнитных обсерваторий южного полушария [9, 10], по которым рассчитывались координаты южных магнитных полюсов, скорость их перемещения, скорость изменения магнитного момента, а также величины G и R [11,12]. Дополнительно использовались данные, полученные авторами в ходе 70-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ). Программа сезонных работ в составе 70-й РАЭ предусматривала проведение исследований во время стоянки судна *«Академик Фёдоров»*, как в районе станций, так и на удалении от них (в пределах одного часа полёта на вертолёте). Наиболее длительные работы были проведены в районе станции «Прогресс», с более чем месячным базированием на месте. Одной из задач являлось выяснение влияния местных пространственно-временных неоднородностей на разброс координат магнитных полюсов. Для абсолютных измерений склонения и наклонения использовался феррозондовый DI-магнитометр, представляющий собой теодолит 4Т30П с соосно закреплённым на оптической трубе феррозондовым датчиком (феррозонд Павлова, разрабатываемый на Новосибирской магнитной обсерватории «Ключи») и соответствующим измерительным блоком. В качестве вариационной модульной станции применялся протонный магнитометр *MMPOS-2*, использовавшийся для непрерывной регистрации модуля полного вектора магнитной индукции в местах размещения полевых пунктов в районе проведения работ.

Этапы выполнения работы в ходе 70-й РАЭ

Станция «Молодёжная» 10 декабря 2024 года). Были проведены измерения компонент магнитного поля, необходимых для расчёта координат южного магнитного полюса, а также сделана предварительная оценка скорости и направления его перемещения за время, прошедшее после закрытия станции. Геомагнитные и астрономические наблюдения проводились в бывшем магнитном павильоне и вблизи него. Исторические данные показывают, что с 1965 по 1998 годы величина магнитного наклонения на станции уменьшилась на 1°50', а с середины 1998 по конец 2024 года уменьшение составило всего 27'. Это свидетельствует о продолжающемся удалении южного магнитного полюса от станции, но с меньшей скоростью.

Измерения на припае моря Космонавтов (12 декабря 2024 года). Серии магнитных наблюдений проводились на удалении более 600 метров от судна *«Академик Фёдоров»* (координаты: $67°27.623'$ ю.ш., $46°06.537'$ в.д.). Среднее значение угла наклонения оказалось близким к измерениям около магнитного павильона, а склонение отличалось на 22'. Такие измерения важны для изучения движения магнитного полюса. Средние значения за период с 07:00 до 09:00 UT: склонение $-57°12'$ (западное), наклонение $-64°24'$. Азимуты магнитного меридиана определялись астрономическими солнечными наблюдениями.

Станция «Прогресс» (19–23 декабря 2024 года). Были проведены полные серии абсолютных магнитных измерений (склонение, наклонение и модуль вектора магнитной индукции) в трёх точках:

- $69.37913°$ ю.ш., $76.38012°$ в.д. (500 м от магнитного павильона, направление к китайской станции),
- $69.42838°$ ю.ш., $76.33218°$ в.д. (на высоте 219 м, район аэродрома),
- $69.42743°$ ю.ш., $76.13215°$ в.д. (на высоте 68 м, район бухты Тала).

Станция «Мирный» (30–31 декабря 2024 года). Абсолютные измерения проводились в районе ВПП на удалении 1 км от нового магнитного павильона и от стоящего вблизи судна. Сравнение с расчётными среднегодовыми координатами 1957 года показало смещение южного магнитного полюса на 10° к западу и 4° к северу. Для приведения данных к среднегодовым значениям использовались синхронные записи как в районе ВПП, так и в обсерватории.

Период с 15 января по 17 февраля 2025 года. Детальные работы проводились на территориях, прилегающих к станциям «Прогресс-1», «Прогресс-2», «Прогресс-3» и станции «Дружная» (координаты: $69°44.792'$ ю.ш., $73°42.741'$ в.д.). Измерялись угловые и силовые компоненты вектора магнитной индукции на разных абсолютных высотах, как на льду, так и среди горных пород. Влияние окружающих пород на измеренные величины было незначительным, а аномалий в модуле вектора магнитной индукции выявлено не было.

Дополнительные наблюдения (январь–февраль 2025 года). Геомагнитные и астрономические наблюдения проводились в районе «Аномалии»

(675 м), на 20-километровом участке между «Аномалией» и аэродромом, в двух пунктах около аэродрома, возле озера Рейд, бухты Тюленьей и в потенциальном месте переноса магнитного павильона станции «Прогресс».

Станция «Новолазаревская» (10–11 марта 2025 года). Было сделано 9 серий угловых геомагнитных измерений (координаты: 70°46.570′ ю.ш., 11°50.344′ в.д.), а также измерения модуля вектора магнитной индукции и солнечные наблюдения. Основным результатом являются фактические значения элементов земного магнетизма с указанием точной даты, времени и координат. Для корректного приведения данных к среднегодовым значениям важна непрерывность наблюдений как на пунктах векового хода, так и производственных пунктах, что позволяет учитывать кратковременные вариации и обеспечивать сопоставимость измерений.

Результаты

Динамика расчётного южного магнитного полюса.

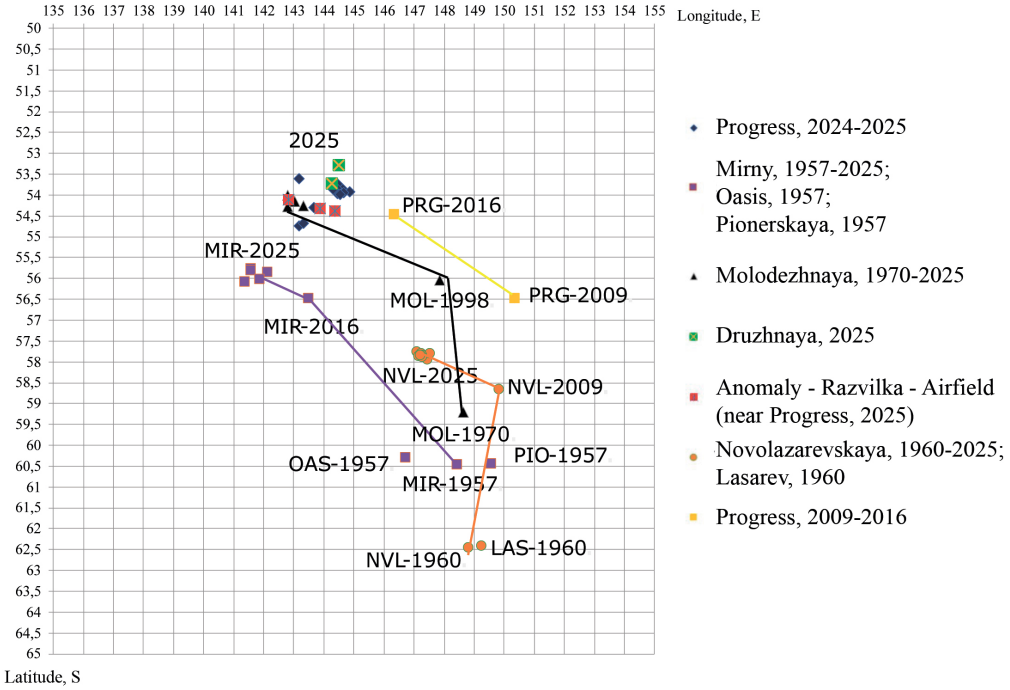

Рис. 2. Положение расчётных южных магнитных полюсов за период 1950–2025 гг. по данным антарктических магнитных обсерваторий и экспедиционных измерений

Figure 2. Locations of the calculated South Magnetic Poles for 1950–2025 based on Antarctic magnetic observatory data and 2025 expedition measurements

На рис. 2 представлена карта расположения расчётных южных магнитных полюсов за последние 70 лет по данным магнитных обсерваторий южного полушария и по нашим экспедиционным измерениям 2025 года. Различие координат полюсов для одних и тех же годов объясняется пространственной неоднородностью магнитного поля. При этом характер траекторий полюсов сохраняется во времени. На карте также видны «облака» полюсов по нашим сериям измерений на разных станциях, что отражает локальные вариации магнитного поля.

Скорость перемещения расчётных полюсов.

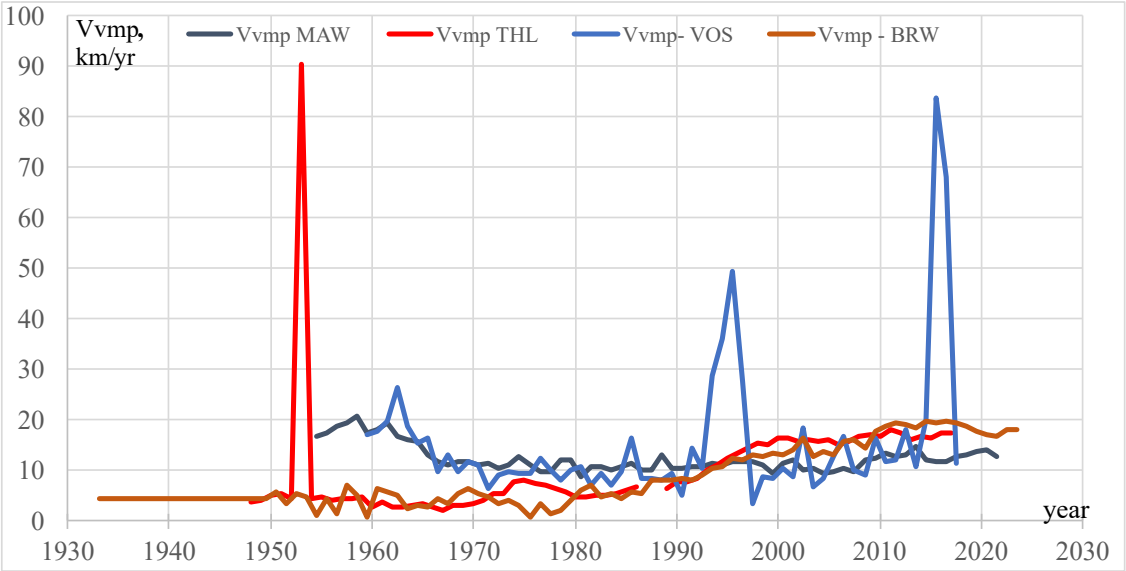

Рис. 3. Скорость перемещения расчётных магнитных полюсов в XX–XXI веках по данным антарктических и арктических магнитных обсерваторий

Figure 3. Velocity of calculated magnetic pole motion during the 20th–21st centuries based on Antarctic and Arctic magnetic observatory data

На рис. 3 показана скорость движения расчётных полюсов за последний век, в км/год. Данные включают две южные обсерватории — Моусон (MAW) и Восток (VOS) — и две северные — Тули (THL) и Борроу (BRW), расположенные почти антиподально относительно экваториальной плоскости [13, 14]. Изначально скорости у разных обсерваторий отличались до 10 км/год, что свидетельствует о недипольности глобального магнитного поля. В последние годы скорости постепенно выравниваются. Выбросы наблюдаются в годы перемен в условиях работы на станциях.

Скорость изменения магнитного момента. Рис. 4 демонстрирует скорость изменения величины магнитного момента M в процентах. Для северных обсерваторий ранее наблюдался ежегодный прирост M, для южных — наоборот. Средняя скорость изменения магнитного момента соответствует историческим данным (около 5% за столетие) [15]. В настоящее время средняя скорость близка к нулю, что указывает на стабилизацию магнитного момента.

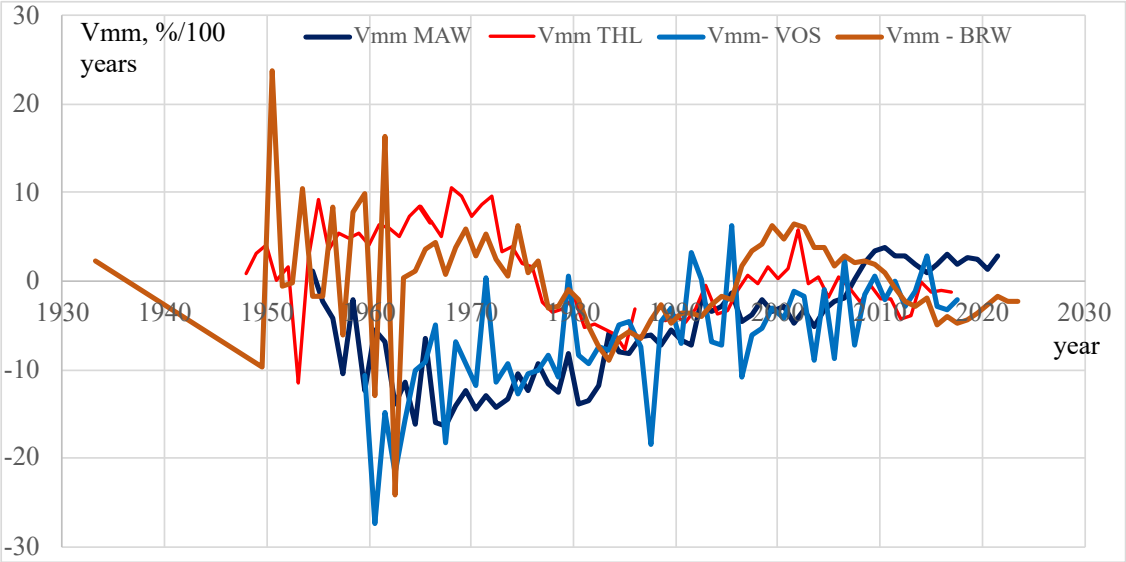

Рис. 4. Скорость изменения магнитного момента M по данным магнитных обсерваторий северного и южного полушарий

Figure 4. Rate of change of the magnetic moment M based on data from northern and southern hemisphere magnetic observatories]

Динамика локальной магнитной постоянной G.

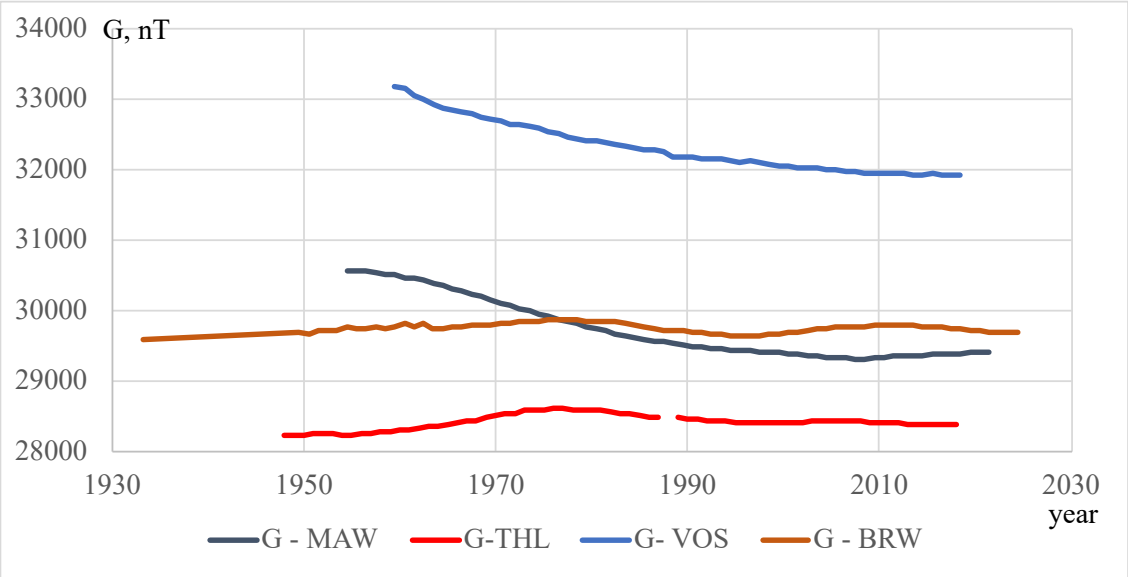

Рис. 5. Изменения локальной магнитной постоянной G для северных и южных магнитных обсерваторий

Figure 5. Variations of the local magnetic constant G for northern and outhern magnetic observatories

На рис. 5 приведены изменения локальной магнитной постоянной G. Для северных обсерваторий G была относительно стабильной, тогда как для южных

наблюдалось снижение. Это подтверждает недипольный характер глобального магнитного поля.

Изменение расстояния R до магнитного центра.

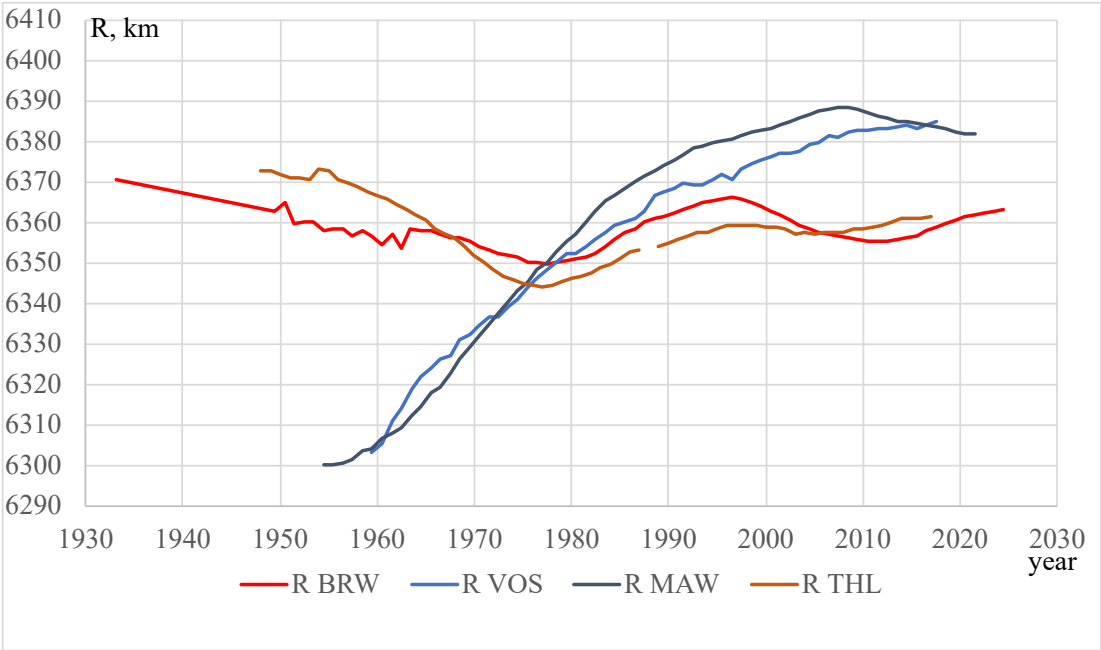

Рис. 6. Изменение расстояния R от обсерваторий до магнитного центра Земли за последние 70 лет

Figure 6. Changes in the distance R from observatories to the Earth's magnetic center over the past 70 years

На рис. 6 показано изменение расстояния R от обсерваторий до диполя при фиксированной величине магнитного момента M. Для южных обсерваторий центр диполя сместился на 90 км за последние 70 лет. Для северных обсерваторий наблюдались лишь колебания в пределах 20–25 км без постоянного приближения. Это также подтверждает сложную структуру глобального магнитного поля Земли.

Заключение

В работе представлены результаты анализа экспериментальных данных по поведению южного магнитного полюса и характеристик глобального магнитного поля Земли за последние 70 лет, включая данные экспедиционных измерений сезонной 70-й РАЭ 2024-2025 годов. На основе анализа данных удалось выявить следующие основные результаты:

1. Траектории южного магнитного полюса имеет общий характер движения во времени, с учетом различий в координатах за один и тот же год для разных обсерваторий, что обусловленно пространственной неоднородностью глобального магнитного поля Земли.

2. Скорость перемещения расчётных полюсов, изначально различавшаяся у полярных обсерваторий в Арктике и Антарктике, в последние годы выравнивается, что указывает на постепенную стабилизацию динамики магнитного поля в этих регионах.

3. Изменения локальной магнитной постоянной G и расстояния R до магнитного центра демонстрируют недипольный характер глобального магнитного поля и сложную структуру магнитного поля в южном полушарии.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о недипольном характере глобального магнитного поля Земли. В перспективе предполагается расширить мониторинг с использованием новых экспедиционных данных с Арктики и со станций Западной Антарктиды и сопоставить их с результатами современных численных моделей, что позволит уточнить закономерности перемещения магнитного полюса и динамики магнитного момента.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Институту Арктики и Антарктики (ААНИИ) и Сибирскому филиалу Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН) за предоставленную материальную поддержку, способствовавшую успешной реализации данного проекта.

Аббревиатуры

РАЭ Российская антарктическая экспедиция
UT Universal Time

Список литературы

1. Паркинсон У. *Введение в геомагнетизм.* Москва: МИР, 1986. 528 3+55 с.
2. Newitt L. R., Niblett E. R. Relocation of the North Magnetic Dip Pole // Can. J. Earth Sci., 1986. vol. 23, pp. 1062–1067.
3. Newitt L. R., Barton C. E. The position of the North Magnetic Pole in 1994 // J. Geomag. Geoelectr., 1996. vol. 48, pp. 221–232.
4. Newitt L. R., Chulliat A., Orgeval J.-J. Location of the North Magnetic Pole in April 2007 // Earth Planets Space, 2009. vol. 61, pp. 703–710.
5. Bauer L. A. The local magnetic constant and its variations // Terr. Mag. (Washington), 1914. vol. 19, pp. 113–125.
6. Кузнецов В. В., Павлова И. В., Семаков Н. Н. Оценка положения виртуальных магнитных полюсов // Геология и геофизика, 1990. Т. 31, № 2, С. 115–116.
7. Кузнецов В. В., Павлова И. В., Семаков Н. Н., Ньюитт Л. Р. Виртуальные магнитные полюса, магнитные аномалии и положение северного магнитного полюса // Геология и геофизика, 1997. Т. 38, № 7, С. 1312–1320.
8. Максимочкин В. И., Целебровский А. Н. *Специальный практикум: Главная и аномальная составляющая магнитного поля Земли.* Москва: Изд-во физического факультета МГУ, 2017.
9. InterMagNet (International Real Magnetic Network) Register, 2025.
10. Меркурьев С. А., Боярских В. Г., Демина И. М., Иванов С. А., Солдатов В. А. Определение положения Южного магнитного полюса по данным российских кругосветных экспедиций: 1820 г. (Беллинсгаузен), 2020 г. («Адмирал Владимирский»). Часть 1. Экспедиция Беллинсгаузена // Физика Земли, 2022. № 3.

11. Atkin A. The Quest for the Magnetic Pole: navigation and research into polar terrestrial magnetism // ANTA 502 Review.
12. Gillin E. J. The instruments of expeditionary science and the reworking of nineteenth-century magnetic experiment DOI: 10.1098/rsnr.2022.0002.
13. Glennmadil R. The search for the north magnetic pole // Arctic Institute, 1949.
14. Вейнберг Б. П. *Каталог магнитных определений в СССР и в сопредельных странах с 1556 по 1926 год.* Ленинград: Центральная геофизическая обсерватория, 1929.
15. Merrill R. T., McElhinny M. W., McFadden P. L. *The magnetic field of the Earth, paleomagnetism, the core and the deep mantle*: Academic Press, 1998. 531 pp.

Информация об авторах

Семаков Николай Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия. ORCID 0000-0003-4067-5603.

Уколов Денис Александрович – магистрант и инженер ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск; инженер-исследователь Сейсмологического филиала Единой Геофизической Службы Российской Академии Наук, Новосибирск, Россия. ORCID 0009-0000-1279-1274.

References

[1] Parkinson U. Vvedenie v geomagnetizm, MIR, Moskva, 1986, 528 p. (In Russian)

[2] Newitt L. R., Niblett E. R. Relocation of the north magnetic dip pole, Can. J. Earth Sci., 1986, vol. 23, pp. 1062–1067.

[3] Newitt L. R., Barton C. E. The position of the North Magnetic Pole in 1994, J. Geomag. Geoelectr., 1996, vol. 48, pp. 221–232.

[4] Newitt L. R., Chulliat A., Orgeval J.-J. Location of the North Magnetic Pole in April 2007, Earth Planets Space, 2009, vol. 61, pp. 703–710.

[5] Bauer L. A. The local magnetic constant and its variations, Terr. Mag. (Washington), 1914, vol. 19, pp. 113–125.

[6] Kuznetsov V. V., Pavlova I. V., Semakov N. N. Estimation of the Position of Virtual Magnetic Poles, Geol. Geofiz., 1990, vol. 31, no. 2, pp. 115–116. (In Russian)

[7] Kuznetsov V. V., Pavlova I. V., Semakov N. N., Newitt L. R. Virtual magnetic poles, magnetic anomalies, and the location of the north magnetic pole, Russian Geology and Geophysics, 1997, vol. 38, no. 7, pp. 1312–1320.

[8] Maksimochkin V. I., Tselebrovskii A. N. Special Practicum: Main and Anomalous Components of the Earth's Magnetic Field, Faculty of Physics, Moscow State University, Moscow, 2017. (In Russian)

[9] InterMagNet (International Real Magnetic Network), Register, 2025.

[10] Merkuryev S. A., Boyarskikh V. G., Demina I. M., Ivanov S. A., Soldatov V. A. Determination of the position of the South Magnetic Pole based on data from Russian round-the-world expeditions: 1820 (Bellingshausen) and 2020 ("Admiral Vladimirsky"). Part 1. Bellingshausen Expedition, Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2022, no. 3. (In Russian)

[11] Atkin A. The Quest for the Magnetic Pole: navigation and research into polar terrestrial magnetism, ANTA 502 Review.

[12] Gillin E. J. The instruments of expeditionary science and the reworking of nineteenth-century magnetic experiment, DOI: 10.1098/rsnr.2022.0002.

[13] Glennmadil R. The search for the north magnetic pole, Arctic Institute, 1949.

[14] Weinberg B. P. Catalogue of magnetic determinations in U.S.S.R. and in adjacent countries from 1556 to 1926, Central Geophysical Observatory, Leningrad, 1929. (In Russian)

[15] Merrill R. T., McElhinny M. W., McFadden P. L. The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core and the Deep Mantle, Academic Press, 1998, 531 p.

Information about the authors

Semakov Nikolay Nikolaevich – PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Geophysics, Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia. ORCID 0000-0003-4067-5603.

Ukolov Denis Alexandrovich – Master's student and Engineer, Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk; Research Engineer, Seismological Branch of the Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. ORCID 0009-0000-1279-1274.