

Изменение магнитного момента эквивалентного диполя и расстояния до него по данным обсерваторий (1950–2020)

О. С. Гнитеева^{1,2}, А. А. Ковалев¹, Н. Н. Семаков^{1,2}*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: GniteevaOS@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Среднегодовые значения характеристик магнитного поля, получаемые в обсерваториях из разных регионов, позволяют вычислить значения локальной магнитной постоянной в соответствующие годы. Изменения этого параметра можно связать как с изменением магнитного момента эквивалентного диполя, так и с изменением расстояния до него. В работе оценивались масштабы этих изменений за последние 70 лет и возможное совместное влияние обоих факторов.

Ключевые слова: магнитное поле, вековые вариации, эквивалентный диполь, локальная магнитная постоянная

Change in the magnetic moment of an equivalent dipole and the distance to it according to oservatories (1950–2020)

O. S. Gniteeva^{1,2}, A. A. Kovalev¹, N. N. Semakov^{1,2}*

¹ Institute of Petroleum Geology and Geophysics A.A. Trofimuk SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: gniteevaos@ipgg.sbras.ru

Abstract. The average annual values of the characteristics of the magnetic field obtained at observatories from different regions make it possible to calculate the values of the local magnetic constant in the corresponding years. Changes in this parameter can be associated with both a change in the magnetic moment of an equivalent dipole and a change in the distance to it. The paper assessed the magnitude of these changes over the past 60 years and the possible combined influence of both of these factors.

Keywords: Earth's magnetic field, secular variations, equivalent dipole, local magnetic constant

Введение

Магнитное поле Земли непрерывно изменяется. Считается, что изменения с характерными временами в десятки и более лет обусловлены внутриземными причинами, связанными с процессами генерации главного магнитного поля. Такие процессы в магнитном поле называются 60-летними или вековыми вариациями, а их фиксация является одной из главных задач каждой магнитной обсерватории. Расчет среднегодовых значений каждого из семи элементов земного маг-

нетизма осуществляется в каждой обсерватории по результатам непрерывной регистрации трех независимых элементов [1]. Среднегодовые значения, получаемые по мировой сети магнитных обсерваторий, служат основой для построения карт нормального магнитного поля соответствующей эпохи, а также карт векового хода, который необходимо учитывать при выделении магнитных аномалий различных масштабов [2].

Инструментальная фиксация вековых вариаций магнитного поля началась во времена Колумба. Фиксировались прежде всего значения склонения и их изменения от года к году не только на суше, но и в различных частях мирового океана, что было необходимо для развития мореплавания и его безопасности. Угловые элементы земного магнетизма: склонение и наклонение позволяют определять угол между магнитным и географическим меридианом в данной точке, а также расстояние до магнитного полюса эквивалентного радиального диполя. Для оценки магнитного момента такого диполя и его вековых вариаций необходимо учитывать среднегодовые значения «силовых» элементов земного магнетизма. Их пять: горизонтальная (H), вертикальная (Z), северная (X) и восточная (Y) составляющие вектора магнитной индукции, а также его модуль (T). Уменьшение глобального магнитного момента Земли за последние 400 лет происходит в среднем со скоростью около 5% за столетие [3].

Одной из нерешенных проблем геомагнетизма является региональный характер наблюдаемых в обсерваториях земного шара вековых вариаций. В частности, это касается вариаций «силовых» элементов и магнитного момента эквивалентного диполя. Изучение вековых вариаций этих характеристик магнитного поля осложняется тем обстоятельством, что указанные 5 элементов не являются в полном смысле «силовыми», а их значения не дают однозначного ответа об изменении магнитного момента.

Целью данной работы является попытка привлечь внимание к возможности использования такой интегральной силовой характеристики магнитного поля как локальная магнитная постоянная для более достоверной оценки вековых вариаций по наблюдениям в различных регионах земного шара.

Методы и материалы

Магнитный диполь создает в точке наблюдения у поверхности Земли вектор магнитной индукции, горизонтальная и вертикальная составляющие которого выражаются формулами 1 и 2:

$$H = \frac{M \cdot \sin \theta}{R^3} \quad (1),$$

$$Z = \frac{2M \cdot \cos \theta}{R^3} \quad (2),$$

где M - магнитный момент диполя, R – расстояние до диполя, θ – угол между осью диполя и направлением на точку наблюдения.

Л. Бауэром [4] было предложено использовать такую комбинацию значений горизонтальной и вертикальной компонент, которая не зависит от ориентации диполя относительно точки наблюдения. Эта характеристика магнитного поля была названа «локальной магнитной постоянной» (G). Ее расчет выполняется в соответствии с формулой 3:

$$G = \sqrt{H^2 + (0,5Z)^2} = \frac{M}{R^3} \quad (3),$$

где вместо H и Z может быть использован другой эквивалентный набор измеренных элементов земного магнетизма, например, T и I :

$$G = T \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 I} \quad (4)$$

По этим формулам величина G выражается в единицах магнитной индукции (нТл), как и все «силовые» элементы земного магнетизма. Но, в отличие от них, локальная магнитная постоянная является в полном смысле силовой характеристикой магнитного поля, зависящей от магнитного момента эквивалентного диполя (M), а также от расстояния между этим диполем и точкой наблюдения (R).

Результаты

Значения вычисленных среднегодовых величин G были получены для ряда обсерваторий из различных регионов земного шара. Нужно отметить, что пространственная неоднородность этой характеристики значительно больше, чем ее временные изменения на рассматриваемом временном интервале [5]. Но, поскольку целью данной работы является анализ временных изменений, то следует оценить возможный вклад в наблюдаемые изменения G как меняющегося магнитного момента эквивалентного диполя, так и меняющегося расстояния до него.

На рис. 1 показано, как менялись значения магнитного момента для каждой магнитной обсерватории при неизменном расстоянии от нее до эквивалентного диполя.

Обращает на себя внимание существенное снижение величины M за последние 70 лет в магнитных обсерваториях Южной Америки и Южной Африки на фоне его незначительного увеличения в других регионах земного шара. Именно эта южная часть Атлантики вносит решающий вклад в известное среднее 5%-ное уменьшение величины магнитного момента центрального диполя за 100 лет [6]. Реальная скорость такого изменения для обсерваторий из различных регионов показана на рис.2

Можно заметить, что скорость изменения магнитного момента для каждой из обсерваторий не остается постоянной, но общей глобальной тенденции в ее изменении нет. На региональном уровне можно говорить о тенденциях и о характерных временах вариаций векового хода магнитного момента эквивалентных диполей.

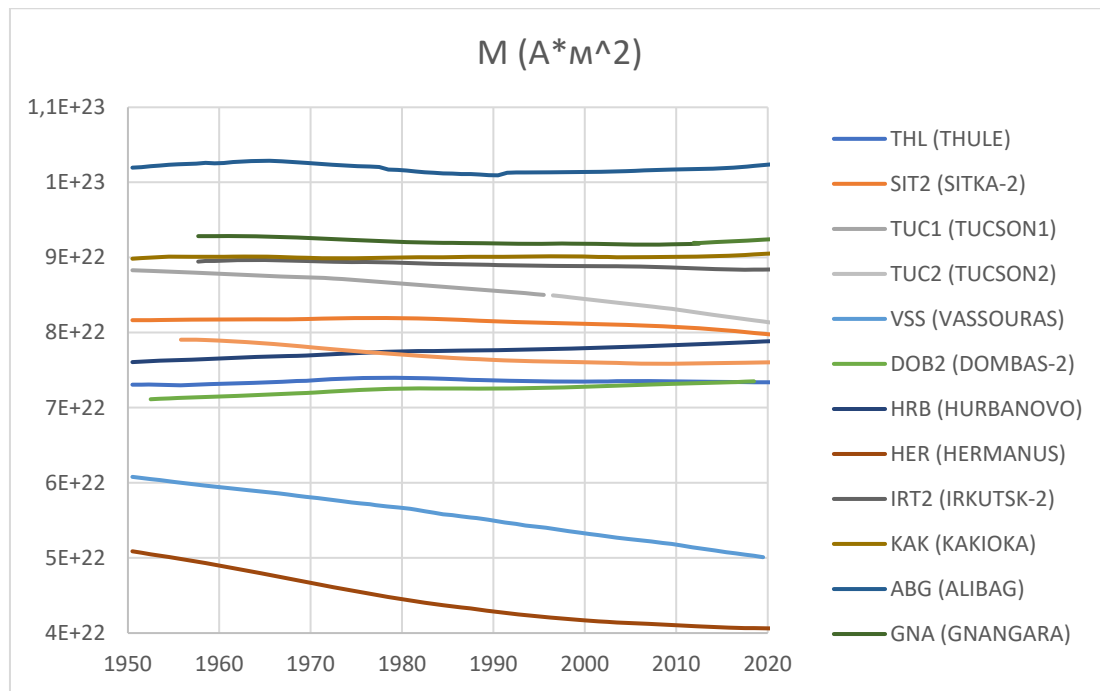


Рис. 1. Изменение магнитного момента по данным магнитных обсерваторий за 70 лет

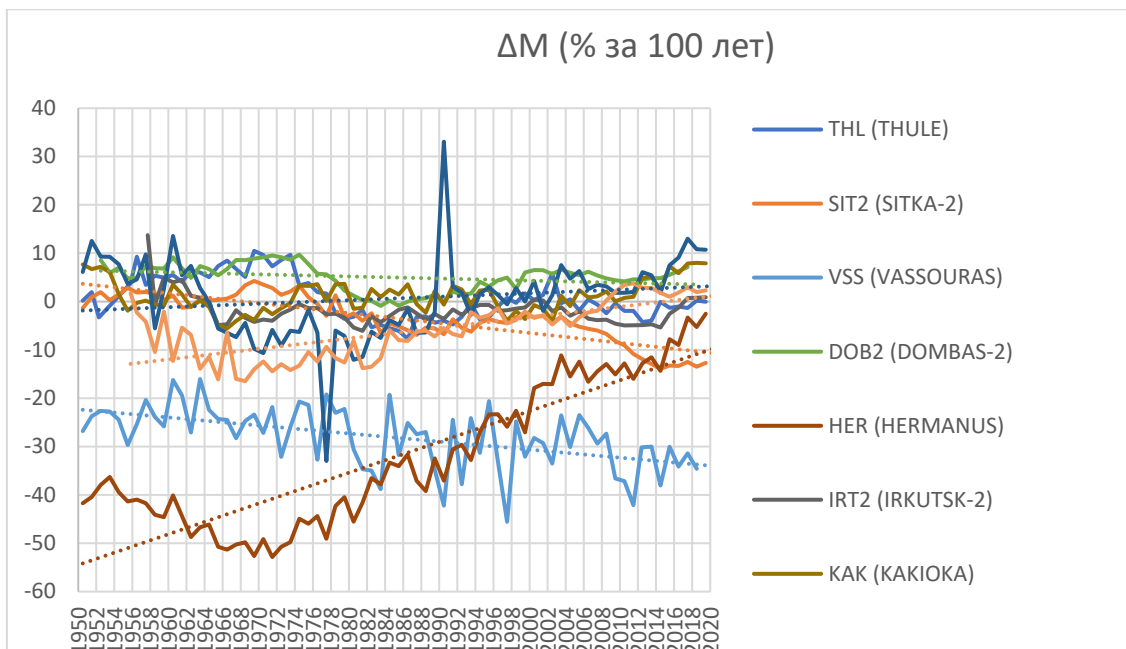


Рис. 2. Скорость изменения магнитного момента с 1950 до 2020 года

Но возможно и другое объяснение наблюдаемых изменений величины G . Если предположить, что магнитное поле в обсерватории все эти 70 лет создается диполем с одним и тем же магнитным моментом M , то по формуле (3) легко рассчитать, как должно меняться расстояние до этого диполя. Графики изменения величины R для нескольких обсерваторий приведены на рис.3.

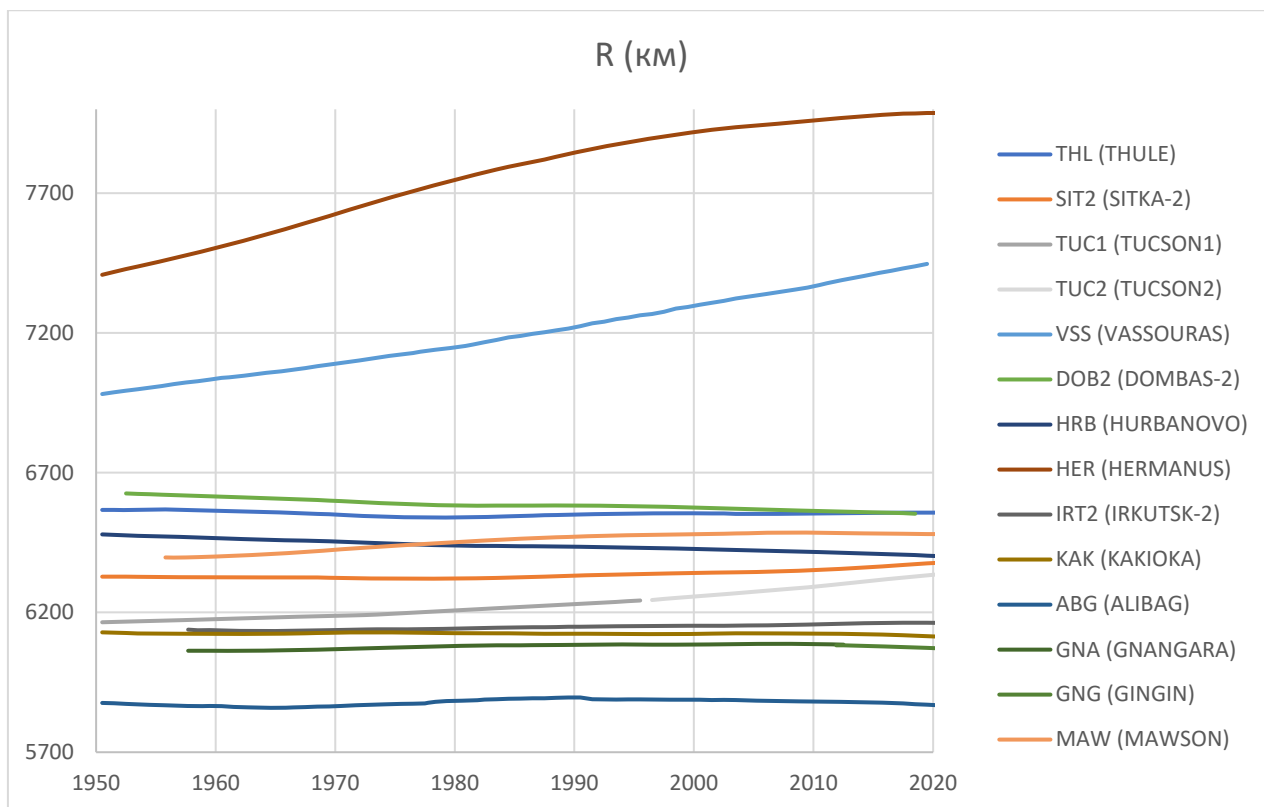


Рис. 3. Изменение расстояний от магнитных обсерваторий до эквивалентных диполей

Масштабы изменений величины R с 1950 до 2020 года для каждой отдельной обсерватории не очень велики. Для удобства их сопоставления магнитный момент эквивалентного диполя для всех обсерваторий принят одинаковым: $M = 8 \cdot 10^{25}$ СГС.

Обсуждение

Использование локальной магнитной постоянной при анализе изменений среднегодовых значений магнитного поля в обсерваториях позволяет выявить те интегральные особенности в изменениях силовых характеристик, которые не прослеживаются явно в измеряемых элементах земного магнетизма, поскольку они не являются чисто силовыми.

Показано, что приводимая во многих публикациях оценка уменьшения «среднего» магнитного момента Земли со скоростью около 5% за столетие не отражает всей сложности и глобальной неоднородности в его изменении. Основной вклад в эту оценку дают обсерватории Южной Америки и Африки, где эти скорости достигают 50% за столетие.

Заключение

Вычисляемые по обсерваторским данным изменения локальной магнитной постоянной могут быть представлены как изменением магнитного момента эквивалентного диполя, так и изменением расстояния до него. Изменение обоих

этих параметров также возможно, при этом их влияние может оказаться разнонаправленным. Что касается реальных причин, обуславливающих наблюдаемые изменения величины G , то для для внешних вариаций (связанных с влиянием Солнца) и для вековых вариаций (связанных с внутриземными источниками) они могут не совпадать.

Благодарности

Выражаем благодарность всем сотрудникам тех магнитных обсерваторий, среднегодовые значения которых были использованы для расчета анализируемых в данной работе характеристик.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки РФ FWZZ-2022-0019.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яновский Б. М. Земной магнетизм: Изд-во ЛГУ, Ленинград, 1978. – 592 с.
2. Гринкевич Г.И. *Магниторазведка: Учебник.* – Екатеринбург: УГГА, 2001.- 308 с.
3. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. Мир, Москва, 1986. – 528 с.
4. Bauer L. A, Terr.Mag (Washington). –1914. – Vol.19. – P. 113–125.
5. Семаков Н. Н. Дипольность, полярность, инверсия магнитного поля Земли. LAP, – 2019. –66 с.
6. Ю. Д. Калинин Вековые геомагнитные вариации. Наука, Новосибирск, 1984.

© О. С. Гнитеева, А. А. Ковалев, Н. Н. Семаков, 2022