

УДК 550.3

ПРОГНОЗ ПОЛОЖЕНИЯ ЮЖНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЮСА НА 1999 г.

© 1998 г. В. В. Кузнецов

Представлено академиком А.С. Алексеевым 30.01.98 г.

Поступило 17.02.98 г.

По сообщению Ч. Бартона, австралийского магнитолога, ведущего наблюдения за дрейфом южного магнитного полюса (ЮМП) более 20 лет, в 1999 г. планируется проведение очередного инструментального определения его географических координат. Можно ли заранее оценить то место, где он может находиться в это время? Случаен ли характер дрейфа ЮМП, или он подчиняется некоторым правилам? Если такие правила есть, то на какой физической идее они базируются? Попытаемся ответить на эти вопросы.

Известно, что ЮМП, как и северный магнитный полюс (СМП), дрейфуют [1–3]. Природа их дрейфа остается загадкой для геофизиков. Определение координат магнитных полюсов всегда представляло собой непростую задачу, так как измерения необходимо производить в труднодоступных районах Земли: в Арктике или Антарктике. Самая первая попытка определить координаты ЮМП была сделана капитаном Россом в 1841 г. через 10 лет после его удачной экспедиции к СМП. По его оценке ЮМП должен был находиться примерно в 250 км к западу от точки, в которой Росс тогда находился (78°S , 168°E) [1] (рис. 1). Первое инструментальное определение местоположения ЮМП было сделано во время Британской Антарктической экспедиции 1907–1909 гг. под руководством Шеклтона. Группа из трех человек: профессор Т. Дэвид, магнитолог Д. Маусон и врач С. Макай, 16 января 1909 г. достигла точки с координатами $72^{\circ}25'\text{S}$, $155^{\circ}16'\text{E}$, в которой они определили ЮМП. Многие магнитологи высказывали сомнение в том, что оценка 1909 г. была достоверной, однако прямых наблюдений ЮМП не проводилось более 40 лет. В конце 50-х и начале 60-х годов при создании в Антарктиде геофизических и метеорологических станций определения координат ЮМП были продолжены. В 1952 г. П. Мауд оценил местоположение ЮМП как 68°S , 143°E (рис. 1). Наблюдения показали,

что в течение последних 30 лет ЮМП движется практически с постоянной скоростью 6 км/год вдоль восточного 140° -меридиана (рис. 1). Казалось бы, предположив, что направление и скорость дрейфа ЮМП к 1999 г. сохранятся, оценить его ожидаемое местоположение не представляет проблемы. Однако такой подход оказался не совсем удачным при определении СМП-94: скорость его дрейфа за прошедшие с предыдущего наблюдения 10 лет увеличилась примерно в 1.5 раза. Это увеличение нашло отражение в данных геомагнитных обсерваторий. Учет этих данных, а также использование физической модели дрейфа магнитных полюсов Земли позволили дать очень точный прогноз СМП-94 [4].

Оценим координаты полюса по данным предыдущих определений. Его предполагаемая широта $64^{\circ}18'\text{S}$ при условии, что в течение 1996–99 гг. не произойдет заметных изменений в характере его дрейфа. Уверенность в неизменности характера дрейфа южного полюса основывается на анализе данных H -компонент магнитного поля Земли, полученных на различных обсерваториях этого региона. Если изменение величин H -компонент поля, измеренного севернее и южнее магнитного полюса, происходит плавно таким образом, что производная по времени остается практически постоянной, то можно полагать, что и скорость его дрейфа будет практически постоянной.

Разрабатываемая автором модель дрейфа магнитных полюсов базируется на постулате, согласно которому магнитное поле Земли аддитивно складывается из так называемой дипольной, основной части, и поля глобальных магнитных аномалий (ГМА). Источники поля ГМА на сравнительно небольших временных интервалах (порядка 1000 лет) квазинезависимы от основного поля. На больших интервалах до 10 тыс. лет, они это свойство “теряют”. (По модели, ГМА представляют собой гидродинамические вихри, возникающие на границе внутреннего ядра Земли, типа вихрей Россби [5] с изначально замороженным в них основным магнитным полем. Если в основном поле по тем или иным причинам произошла инверсия, то в течение примерно 1000 лет ГМА “свое”

поле еще сохраняют почти неизменным. Затем под влиянием основного поля обратной полярности поле источника ГМА сначала аннигилирует, а затем меняет знак, соответствующий знаку основного, дипольного поля [6].) Использование этой модели позволило дать верный прогноз СМП-94 [4].

В магнитном поле Земли выделяются четыре ГМА: Канадская, Сибирская, Бразильская и Антарктическая. Первые две "участвуют" в дрейфе СМП, четвертая, Антарктическая (часто ее "объединяют" с ЮМП), оказывает влияние на дрейф южного полюса. Очевидно, что кроме источников поля аномалий в дрейфе полюсов "участвует" и источник дипольного – основного поля. В дальнейшем все рассматриваемые в модели источники будем представлять диполями. Допустим, что мы имеем два диполя интенсивностью A и B , находящихся на расстоянии k один от другого. Наша задача состоит в том, чтобы найти расстояние x (внутри отрезка k), показывающее положение магнитного полюса. Условие равенства нулю горизонтальных компонент источников можно записать в следующем виде:

$$A \cos(\pi/2 + x) + B \cos\{\pi/2 + (k - x)\} = 0.$$

Решение этого уравнения:

$$\operatorname{ctg} x = (A/B + \cos k) / \sin k.$$

Если $A = B$, то $x = k/2$; если $A = 0$, то $x = k$; если $B = 0$, то $x = 0$. Так как $k \ll \pi/2$, то для представления наших функций вместо тригонометрических кривых можно использовать наклонные прямые, пересекающие горизонтальную ось в точках расположения источников A и B (рис. 2). Представим себе, что источник A соответствует аномалии, а B – дипольному, основному полю. Если их интенсивности равны, то местоположение магнитного полюса: $x = k/2$. Допустим, что A не меняется со временем, а B уменьшается. Уменьшение интенсивности источника дипольного поля вызовет смещение магнитного полюса влево (рис. 2). В точках $1, A$ и 2 в результате этого уменьшения H -компонента поля уменьшится. Уменьшится она и в точке 5 , а в точках 3 и 4 увеличится. В точке B , как следует из нашей схемы, величина H -компоненты останется без изменения. Если наша модель верна и ЮМП действительно дрейфует в направлении от дипольного источника (интенсивность которого, как известно, убывает со скоростью 5% за 100 лет) к глобальной магнитной Антарктической аномалии, то в этом регионе должна наблюдаться выявленная нами особенность: уменьшение величины H -компоненты "левее" и "правее" магнитного полюса, увеличение ее в области, примыкающей к магнитному полюсу, и отсутствие вариации H -компоненты в районе расположения дипольного, основного поля.

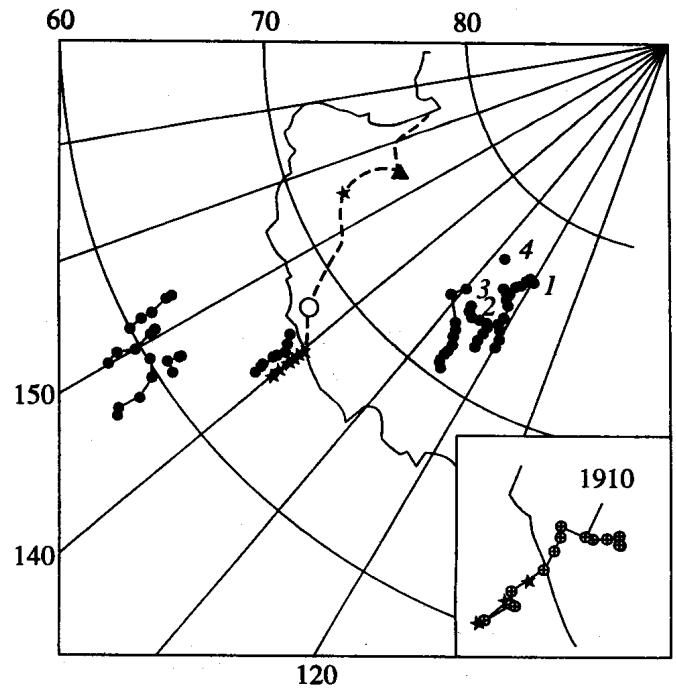


Рис. 1. Дрейф ЮМП 1965–1990 гг. (звездочки): Рядом – ВМП по данным обсерватории Dumon d'Urville (кружки). 1–4 – ВМП по данным обсерватории 1–4 табл. 1. ВМП вдоль 150°-меридиана – по данным обсерваторий 6–9 табл. 1. Черный треугольник – положение ЮМП, оцененное Россом, звездочка – определение положения ЮМП в 1909 г., кружок – в 1952 г. [1]. Справа внизу – возможный путь дрейфа ЮМП по данным обсерватории Toolangi.

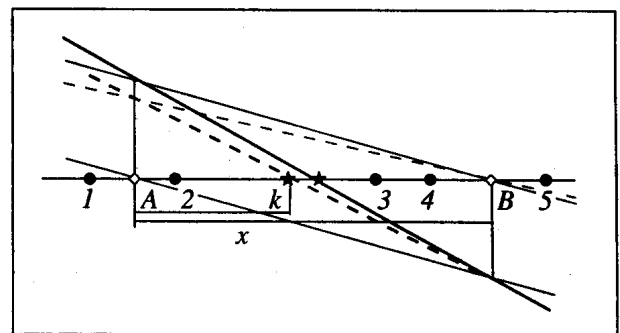


Рис. 2. Схема изменения положения магнитного полюса (звездочки) при уменьшении интенсивности источника поля B . Величина H -компоненты источника A не изменяется. В точках $1, A, 2$ и 5 H -компонента поля уменьшается, в точках 3 и 4 возрастает, в точке B поле не меняется. Сплошная жирная линия показывает H -компоненту поля до изменения интенсивности источника B , штриховая – после изменения.

С целью проверки этого предположения были исследованы временные зависимости H -компонент на 16 магнитных обсерваториях, расположенных в Австралии, Новой Зеландии, Антарктиде и на островах, ближайших к этим материкам [7]. Перечень обсерваторий, их географические координаты и характер зависимости величины

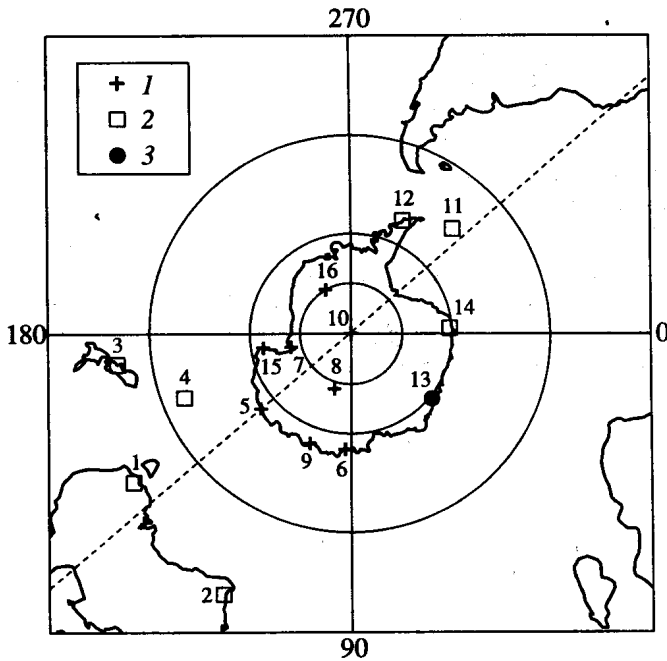


Рис. 3. Географическое положение 16 магнитных обсерваторий (табл. 1), в которых H -компонента в течение последних 30–40 лет возрастает (1), убывает (2), не меняется (3).

H -компоненты: \uparrow – возрастает, \downarrow – убывает, \circ – не меняется, представлены в табл. 1. Рисунок 3 показывает пространственное распределение характера изменения величины H -компоненты поля. Проецируя данные обсерваторий на 140° E-меридиан, легко понять, что область, в которой H -компонента возрастает, соответствует примерно 65° – 85° S. В районе 85° – 90° S величина H -ком-

поненты поля постоянна. В других районах (до 65° и более 90°) H -компонента уменьшается. Замеченная особенность поведения H -компоненты поля в пространстве и во времени подтверждает нашу модель.

Известно, что координаты ЮМП надежно измерены начиная примерно с 1965 г. В 1959 г. он находился в районе обсерватории Dumont d'Urville. Можно ли сказать что-либо определенное о траектории дрейфа ЮМП раньше (до 1959 г.). Насколько она соответствует нашей модели? Находился ли ЮМП в 1909 г. действительно там, где он был определен Маусоном? Знание данных австралийских обсерваторий и особенно обсерватории Toolangi, начавшей работать примерно в 1860 г., позволяет ответить на эти вопросы. Для этого воспользуемся данными обсерваторий (с 1 по 9 из табл. 1) для оценки поведения во времени виртуальных магнитных полюсов (ВМП).

Изменение координат ВМП в течение периода работы обсерваторий изображено на рис. 1. Здесь же приведен дрейф ЮМП с 1965 по 1990 г. Из рис. 1 видно, что и ВМП, и ЮМП движутся вдоль меридианов на север. Отдельной звездочкой с координатами 72° S и 155° E изображено положение ЮМП, определенное в 1909 г. во время экспедиции Шеклтона, кружком – положение полюса, определенное в 1952 г. П. Маудом, а штриховой линией – дрейф ЮМП из [1]. Видно, что виртуальные полюса явно группируются в две области. Одна, тяготеющая к 120° -меридиану, принадлежит обсерваториям Новой Зеландии и Австралии (1–4 на рис. 1 и в табл. 1). Другая, расположенная вблизи 150° -меридиана, показывает ВМП обсерваторий Антарктиды (6–9 табл. 1). Виртуальные полюса, определенные по данным обсерватории Dumont d'Urville, располагаются вблизи ЮМП.

Рисунок 1 демонстрирует, что ЮМП находится примерно посередине между этими областями, отстоя от каждой на 8.5° . Из анализа характера движения австралийских и новозеландских ВМП следует, что примерно в 1920 г. произошло изменение направления движения ЮМП. Южный полюс отклонился от первоначального направления дрейфа к востоку на 2 – 3° , а затем вернулся к прежнему, северному направлению дрейфа вдоль меридиана.

Хорошее совпадение между направлением и величинами скоростей дрейфа ЮМП и ВМП дает основание путем простого геометрического преобразования получить возможный путь дрейфа ЮМП (см. врезку внизу на рис. 1) начиная с 1860 г. (начало работы обсерватории Toolangi.) Такое “восстановление” пути дрейфа ЮМП представляется автору вполне обоснованным. Однако в этом случае оказывается, что измерение положения ЮМП, выполненное участниками экспедиции Э. Шеклтона в 1909 г. (отдельная звездочка на рис. 1), отстоит

Таблица 1

№	Обсерватория	Широта, $00^\circ 00'$	Долгота, $000^\circ 00'$	Обозначение
1	Toolangi	37 32	145 28	\downarrow
2	Gnangara	31 47	115 57	\downarrow
3	Amberli	43 09	172 43	\downarrow
4	Macquarie	54 30	158 57	\downarrow
5	Dumont d'Urville	66 40	140 00	\downarrow
6	Мирный	66 33	93 01	\uparrow
7	Scott Base	77 51	166 47	\uparrow
8	Восток	78 27	106 52	\uparrow
9	Casey	66 17	110 32	\uparrow
10	South Pole	90 00	346 41	\uparrow
11	Orcadas	60 44	315 13	\downarrow
12	Argentine Island	65 15	295 45	\downarrow
13	Syowa Base	69 02	39 36	\circ
14	Sanae	70 19	357 40	\downarrow
15	Hallett Station	72 18	170 14	\uparrow
16	Byrd Station	79 59	240 00	\uparrow

от определенного нами положения ЮМП для 1910 г. примерно на 500 км. Могли ли авторы этого определения так ошибиться? В пользу этого и справедливости нашей оценки приведем еще один достаточно важный, на наш взгляд, аргумент. Если бы ЮМП действительно находился в 1909 г. там, где его обнаружил Д. Маусон, то скорость его дрейфа за 50 лет (с 1909 по 1960 гг.) была бы не 6 км/год (как сейчас), а примерно в 2–3 раза больше. Такое “ускорение” движения ЮМП обязательно нашло бы отражение в данных магнитных обсерваторий Австралии и Новой Зеландии, чего реально не наблюдается.

В заключение оценим географическое положение источников: дипольного и ГМА. Очевидно, что они близки к 140° Е-меридиану. Из нашей модели следует, что дипольный источник должен находиться в области, где H -компонента не меняется. Это происходит примерно на 85° – 90° S. “Выберем” координату дипольного источника 85° S. Как оценить положение источника ГМА? Воспользуемся правилом, согласно которому магнитное поле двух источников выглядит как от одного, если их интенсивности различаются меньше чем в 0.67, а эпицентры отстоят друг от друга меньше чем на 40° [8].

Аномалию “Южный магнитный полюс” принято считать следствием влияния дипольного источника. Согласно нашей модели, она “обязана” аддитивному сложению интенсивностей двух источников: дипольного и ГМА. Согласно модели, интенсивности обоих источников соизмеримы. Все это дает основание предположить, что расстояние между ними может оказаться порядка

35° . В этом случае положение источника ГМА будет соответствовать примерно 50° S. В настоящее время ЮМП дрейфует в районе 65° S. Это дает возможность оценить, в рамках наших предположений, отношение интенсивностей дипольного источника и ГМА как 0.75 (примерно 30 и 37 мкТл соответственно).

Выражаю благодарность Ч. Бартону, австралийскому магнитологу, много лет занимающемуся изучением дрейфа ЮМП и СМП, за обсуждение моих моделей и ознакомление меня с результатами своих исследований [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barton C., Hutchinson R., Quilti P. et al. Quest for the Magnetic Poles: Relocation of the South Magnetic Pole at the Sea. 1986–1987 Record. Canberra, Australia: Bureau of Miner. Resources, Geology and Geophysics. 1986–1987.
2. Peddie N.W., Zunde A.K. // Phys. Earth and Planet. Inter. 1987. V. 48. P. 324–329.
3. Newitt L.R., Niblett E.R. // Can. J. Earth Inter. 1986. V. 23. P. 1062–1067.
4. Кузнецов В.В. // ДАН. 1996. Т. 348. № 3. С. 397–399.
5. Кузнецов В.В. // ДАН. 1995. Т. 340. № 5. С. 685–687.
6. Кузнецов В.В. Физика Земли и солнечной системы. Новосибирск, 1990. 217 с.
7. Головков В.П., Коломийцева Г.И., Коняшенко Л.П., Семенова Г.М. Каталог среднегодовых значений элементов геомагнитного поля мировой сети магнитных обсерваторий. 1983. М.: 1983. В. 26.
8. Knapp D.G. // Ann. Geophys. 1955. V. 11. P. 83–90.