

УДК 550.383

## ГЛОБАЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ И ФОКУСЫ ВЕКОВОГО ХОДА КАК ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ВИХРИ РОССБИ

© 1995 г. В. В. Кузнецов

Представлено академиком А.С. Алексеевым 06.07.94 г.

Поступило 21.07.94 г.

На картах магнитного поля Земли хорошо различимы глобальные магнитные аномалии. Это Канадская, Сибирская, Бразильская и аномалия Южный Полюс. Первая, вторая и четвертая из них положительны, т.е. здесь увеличивается модуль поля, а третья – отрицательна (модуль уменьшается). Величина магнитного поля в районе аномалий несколько изменяется с течением времени. Анализируя карты магнитного поля, построенные в различные годы, можно видеть, что третья и четвертая магнитные аномалии несколько изменяют свое местоположение: Бразильская дрейфует на запад, а Южная – на юг.

На картах изменений во времени величины магнитного поля наблюдаются так называемые фокусы векового хода (ФВХ) – хорошо различимые обширные области, по размерам сравнимые с глобальными магнитными аномалиями (ГМА), в которых происходит наиболее интенсивное изменение магнитного поля: как увеличение его компонент, так и их уменьшение.

Казалось бы, можно представить себе мысленную операцию, в которой аномалии и основное (дипольное) поле аддитивно складываются. В этом случае можно считать, что наличие аномалий подразумевает наличие адекватных им, в определенном смысле независимых, источников поля. Аналогично, если мы из карты магнитного поля (или карты его компонент) вычтем то же самое поле, построенное по экспериментальным точкам, снятым ранее (например, за год до этого), то к “остатку” тоже можно применить подобную процедуру и считать его адекватным некоторому дополнительно к основному (дипольному) полю короткоживущему (по сравнению со “временем жизни” ГМА) источнику поля. В этом плане также прослеживается аналогия между ГМА и ФВХ. Известно, что ФВХ образуются, перемещаются по земной поверхности и, в конечном

счете, распадаются. По некоторым оценкам “время жизни” ГМА по крайней мере более 1000 лет, тогда как ФВХ может пройти свой “жизненный” путь значительно быстрее.

На рис. 1 приведены извлеченные из карт ФВХ работы [1] пути перемещений фокусов, начиная с 1743 г. по наши дни. Знак (–) означает, что в фокусе происходит убывание величины поля, (+) – возрастание. Четыре из восьми ФВХ положительные, два из них (1 и 2) движутся на запад вдоль экватора. Шесть оставшихся можно разбить на связанные между собой пары: 8 и 5, 4 и 3 и 6 и 7, в которых один дрейфует на северо-запад (4, 7 и 8), другой – на юго-запад (5, 3 и 6). Наблюдаемая картина, приведенная на рис. 1, несколько напоминает схему путей тропических циклонов в северном и южном полушариях. Циклоны зарождаются в районе экватора, движутся вдоль него в западном направлении и затем отклоняются либо на северо-запад, либо на юго-запад [2].

Разовьем аналогию между ФВХ, ГМА и гидродинамическими вихрями, к которым относятся и циклоны. Действительно, будем считать и ГМА, и ФВХ адекватными действию отдельных источников магнитного поля. По-видимому, наиболее подходящей формой источника, адекватного ГМА и ФВХ, может оказаться источник поля типа “токовая петля”, реализуемого в природе в виде гидродинамического вихря, в котором, например, происходит движение заряженных частиц. (Не будем выяснять, откуда берутся заряженные частицы. Удовлетворимся лишь априори принятым допущением, что генерация основного магнитного поля Земли имеет общность с генерацией поля аномалий.) Подход к аномалиям как вихрям позволяет построить общую картину “токов” и “вихрей”, которая могла бы “обеспечить” пространственные особенности реально наблюдаемого магнитного поля Земли. Развивая этот подход, получим, что три вихря, соответствующие Канадской, Сибирской и Бразильской аномалиям, должны иметь направление вращения “тока” по часовой стрелке, а один, соответствующий

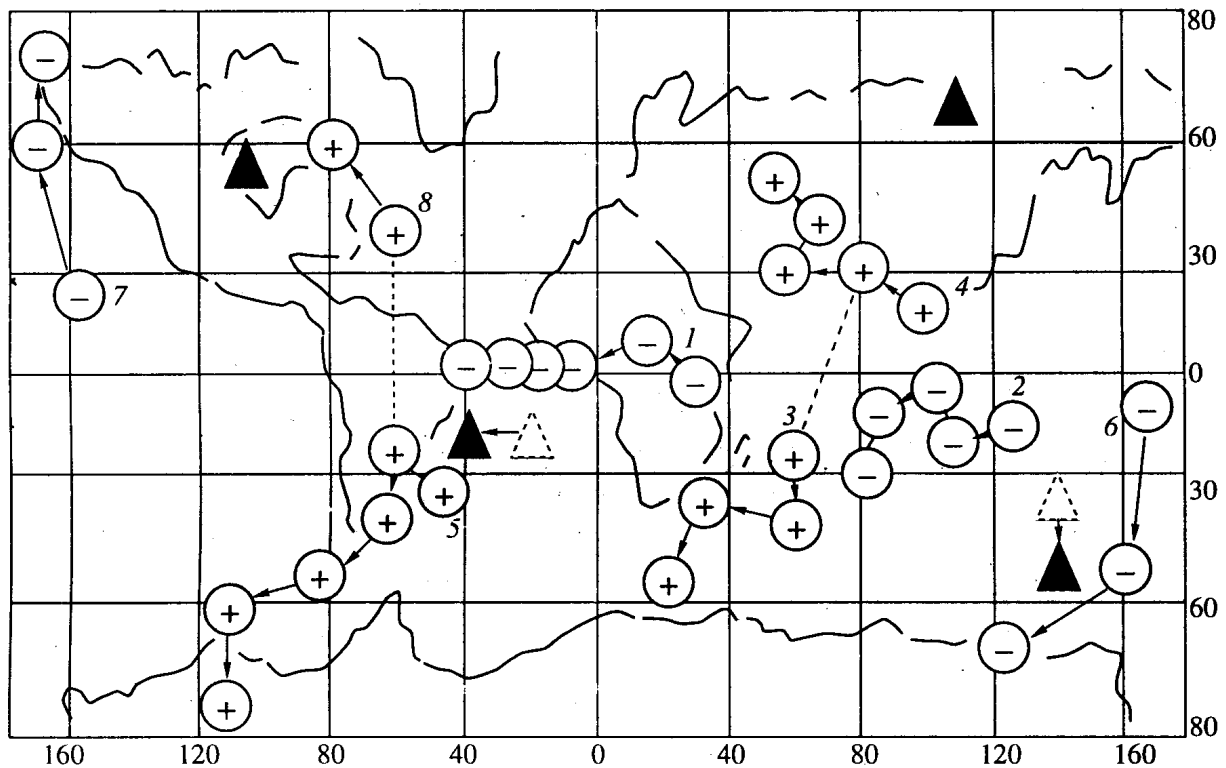


Рис. 1. Перемещение ФВХ, определенных в 1743, 1806, 1857, 1900, 1942 и 1965 гг. [1] (кружки). Положение ГМА (треугольники).

Южной аномалии, – против. Если воспользоваться терминологией, принятой в геофизической гидродинамике и метеорологии, то аномалии Канадская, Сибирская и Южная – антициклоны, а Бразильская – циклон. Напомним, что антициклоны приводят к повышению атмосферного давления – возможная аналогия с увеличением магнитного поля, циклоны – к его уменьшению.

Сказанное выше об аномалиях можно в равной степени распространить и на ФВХ. В этом плане фокусы, приводящие к увеличению поля, можно считать антициклонами, к уменьшению – циклонами. ФВХ, как следует из рис. 1, никогда не пересекаются с ГМА, обычно огибают их при своем дрейфе (см. фокусы 5 и 6). Возможно, это не случайно, возможно, в этом есть некоторый неясный пока смысл. Обратим внимание на интересную особенность соотношения между циклонами и антициклонами в нашей схеме. Она весьма напоминает известную антициклон-циклонную асимметрию, наиболее ярко проявляющуюся на больших планетах Юпитере и Сатурне [3]. Среди крупных долгоживущих вихрей в атмосферах этих планет – по три антициклона и одному циклону у каждой. Возможно, это случайное совпадение, но ведь ГМА тоже представляют собой три антициклона и один циклон. С другой стороны, мы не имеем основания не считать, что в этой аналогии есть какой-то скрытый пока смысл. Второй момент, на который необходимо

обратить внимание, состоит в том, что в открытом океане Земли образуются спутники крупномасштабных вихрей – так называемые “ринги”, возникающие при неустойчивости течений вихрей Россби. Их размеры и скорости их дрейфа такие же, как у вихрей открытого океана, а скорости собственного вращения у них в несколько раз больше. Продолжая начатую нами аналогию, ФВХ можно считать “рингами”, в то время как ГМА – это более долгоживущие вихри. Возможно, это случайное совпадение, но около дрейфующего циклона Бразильской ГМА образовался антициклон ФВХ (5 на рис. 1), а около дрейфующего антициклона Южной ГМА – циклон ФВХ (6).

Как известно из геофизической гидродинамики [4], вихри Россби образуются на “мелкой воде”, когда толщина слоя жидкости много меньше геометрических размеров вихрей. Наиболее подходящий слой для возникновения и распространения электромагнитных вихрей типа Россби – это так называемый *F*-слой между внутренним и внешним ядром. Во-первых, это довольно тонкий слой (порядка 100 км). Во-вторых, в ряде работ показано, что наиболее оптимальная глубина для размещения радиальных диполей, дополнительных к центральному, осевому диполу составляет как раз 0.2 земного радиуса [5] (где и располагается этот слой). Аналогичный результат был получен при анализе зависимости, выражающей расстояния между виртуальными

полюсами как функцию расстояний между точками, в которых производится определение виртуальных полюсов [6]. Анализируя эту зависимость, можно прийти к заключению, что размер области генерации магнитного поля Земли и аномалий составляет именно 0.2 земного радиуса.

Таким образом, используя идею, согласно которой ФВХ – это вихрь типа Россби, дрейфующий по слою между внутренним и внешним ядром, можно оценить параметры этого слоя, в частности величину вязкости вещества. Линейная скорость движения ФВХ в  $F$ -слое может быть оценена в 0.03 см/с. Допустим, что скорость движения частиц в вихре в 10 раз выше:  $v_0 = 0.3$  см/с. Максимальный размер вихря не должен быть больше половины расстояния между Бразильской аномалией и вихрем (порядка  $10^\circ$ , что составляет в  $F$ -слое примерно  $l = 200$  км). Параметр Кориолиса  $2\omega = 2 \cdot 10^{-4}$  с $^{-1}$ . По условию ограничения ширины экмановского слоя  $l_E \ll H_0$ , где  $H_0 = 100$  км (и меньше) – толщина слоя “мелкой воды”, приблизительно равная толщине  $F$ -слоя, величину  $l_E$  можно считать равной 1 км. Так как величина вязкости  $\nu = 2\omega l_E^2$ , то  $\nu < 10^6$  см $^2$ /с. Ограничение величины вязкости “сверху” можно сделать также по величине числа Рейнольдса:  $Re \gg 1$ , или  $lv_0 \gg \nu$ , а  $\nu \ll 6 \cdot 10^6$  см $^2$ /с. Таким образом, есть основания считать, что величина вязкости вещества  $F$ -слоя, необходимая для того, чтобы по слою могли распространяться вихри Россби, должна быть порядка  $\eta = 10^7$  П (если принять плотность вещества  $F$ -слоя  $\rho = 10$  г/см $^3$ , а  $\eta = \rho\nu$ ).

В заключение необходимо сравнить полученную величину вязкости вещества  $F$ -слоя с другими известными оценками. Оценки вязкости именно этого слоя автору неизвестны, поэтому можно сравнивать полученную только с оценками вязкости вещества внешнего ядра. Согласно [7], современные данные об амплитудах нутаций Земли сви-

детельствуют о том, что вязкость ядра  $\eta \leq 10^7$  П; по сейсмическим данным и данным о затухании собственных колебаний Земли  $\eta \leq 10^9$  П. Несколько менее жесткое ограничение ( $\eta \leq 10^8$  П) следует из анализа данных о приливных вариациях скорости вращения Земли; еще менее жесткое  $\eta < 2 \cdot 10^{10}$  П – из анализа данных о затухании чандлеровского движения полюса.

Полученная нами оценка величины вязкости вещества  $F$ -слоя “не выбивается” из ряда аналогичных, полученных другими способами.

Представление глобальных магнитных аномалий и фокусов векового хода как аналогов гидродинамических вихрей Россби на “мелкой воде” может оказаться перспективным подходом для разработки модели генерации магнитного поля Земли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yukutake T., Tachinaka H. // Bull. Earthquake Res. Inst. 1968. V. 46. P. 1075 - 1102.
2. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969. 487 с.
3. Незлин М.В., Снежкин Е.Н. Вихри Россби и спиральные структуры. М.: Наука, 1990. 238 с.
4. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. М.: Мир, 1984. 811 с.
5. Alldredge L.R., Stearns C.O. // J. Geophys. Res. 1969. V. 74. № 27. P. 6583 - 6593.
6. Кузнецов В.В., Павлова И.В., Семаков Н.Н. // ДАН. 1987. Т. 296. № 4. С. 819 - 821.
7. Молоденский С.М. Приливы, нутация и внутреннее строение Земли. М., 1984. 215 с.