

ГЕОФИЗИКА

Академик В. В. ШУЛЕЙКИН

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И МИРОВОЙ ОКЕАН

Высокое развитие современной техники магнитных и электрических измерений находится в прямом противоречии с уровнем существующих теорий магнитного и электрического поля Земли.

В частности, совершенно непонятны: отклонение магнитной оси Земли от ее оси вращения и непрерывное изменение элементов геомагнитного поля на наших глазах. С одной стороны, несовпадение осей никак не вяжется с естественными стремлениями трактовать магнитное поле, как следствие вращения планеты. С другой стороны, никакие геологические процессы в недрах Земли не могут происходить с такой скоростью, с какой меняются элементы геомагнитного поля.

При взгляде на карты элементов этого поля отчетливо видно к тому же, что существует какая-то связь между ними и очертаниями береговой линии, отделяющей материков от Мирового океана. В этом нельзя видеть случайное совпадение. Но нельзя тут согласиться и с обычной трактовкой вопроса: глубины океана так малы по сравнению с радиусом Земли, что нельзя связывать очертания материков с очертаниями каких-то громадных неоднородностей среди ферромагнитных масс в недрах планеты. Совершенно очевидно, насколько натянутыми являются желания установить подобные связи.

В настоящей статье мы попытаемся подойти к затронутым вопросам с совсем иной точки зрения, не претендую на построение количественной теории, но лишь намечая пути к такому построению. Попытаемся найти возможные причины: а) отклонения магнитной оси Земли от оси вращения, б) весьма быстрого — в историческом масштабе — изменения элементов геомагнитного поля и в) поразительного сходства между очертаниями береговой линии материков и очертаниями изолиний на картах элементов геомагнитного поля.

Первый толчок к этим попыткам дало открытие электрических токов в море, сделанное в 1935 г. А. Т. Мироновым (1). К сожалению, несмотря на большой срок, прошедший с тех пор, плотность этих токов была измерена только в трех точках Мирового океана и только в самом поверхностном слое вод. Там она оказалась порядка 1 а на гектар поверхности, выделенной перпендикулярно к направлению вектора напряженности электрического поля в морской воде. Плотность этих токов резко возрастает во время магнитных бурь, в связи с теми же причинами, какими порождаются последние. Изменения амплитуды колебаний и, повидимому, осредненного «фона» происходят в согласии с изменениями солнечной активности. Морские токи Миронова, несомненно, сродни теллурическим токам, которые издавна наблюдались в твердой земной коре, но по своей силе — совсем иного порядка из-за высокой электропроводности морской воды.

Естественно представить себе такую схему: благодаря той или иной причине создается основное магнитное поле Земли, ось которого точно

совпадает с осью вращения планеты; электрические токи в водах Мирового океана создают дополнительное магнитное поле, которое налагается на основное; тем самым, во-первых, смещается магнитная ось относительно оси вращения, во-вторых, возникают такие изолинии магнитных элементов, которые органически связаны с очертаниями береговой линии материков, и, в-третьих, создаются условия для непрерывных изменений элементов геомагнитного поля.

Измерения, проделанные Л. А. Корневой (2) на модели, показали, что такая схема дает хорошее качественное совпадение с истинной картиной магнитного поля Земли по двум первым из трех перечисленных признаков. Третий признак (изменения во времени) пока недоступен для исследования ввиду отсутствия измерения морских токов за нужный срок в различных районах океана.

О количественном сравнении сейчас говорить еще нельзя, поскольку неизвестно распределение плотности электрических токов в глубинных водах океана. Однако на основании измерений, проделанных на модели Корневой, можно сомневаться в достаточности плотности глубинных токов для получения необходимого дополнительного магнитного поля: повидимому, порядок этой плотности тока слишком мал. Вероятно, электрические токи в море создают лишь некоторую часть дополнительного магнитного поля. Поэтому возникает необходимость найти возбудители недостающей (очень большой) части этого дополнительного поля, и притом возбудители столь же тесно связанные с распределением океана и материков на планете.

Поиски таких возбудителей облегчаются благодаря появлению некоторых отечественных работ в совсем иных областях геофизики.

Именно, с одной стороны, нами (3) было обнаружено, что тепловые противоречия между океаном и материками простираются далеко в стратосферу. Круглый год стратосфера над океаном оказывается холодней, чем над материками (на тех же широтах). Тем самым создаются циклонические движения воздуха в стратосфере вокруг материков. Громадные скорости этих потоков обладают наибольшей составляющей, направленной параллельно береговой линии, т. е. направленной именно так, как на модели Корневой.

С другой стороны, большая группа советских физиков за последние годы проделала замечательные исследования космических лучей (обзорный доклад (4), освещающие совершенно по-новому вопрос о положительных и отрицательных зарядах в стратосфере.

Сейчас еще невозможно довести до числа результаты сопоставления этих двух направлений работ: еще нет никаких надежных данных о воздушных потоках выше 20 км над морем и о распределении электрических зарядов в соответствующих слоях атмосферы. Однако уже сейчас можно показать, насколько тесно связаны все эти явления с магнитным полем Земли. Именно:

1. Есть все основания полагать, что первичные частицы космических лучей — протоны — практически не играют роли ниже 4—5 км над уровнем моря и что значение их непрерывно возрастает от 6 до 20 км и выше *. На основании блестящих работ С. Н. Вернова и др. (5) можно судить о количестве протонов, задерживающихся при полете в различных слоях стратосферы. Обозначив через z высоту элементарного слоя dz и через N число протонов, вызывающих ливни в продолжение 1 мин., можно на основании кривой $N = f(z)$ цитированных авторов найти величину, пропорциональную количеству протонов, задерживаю-

* Совершенно несомненно, что в этих высоких слоях вместе с протонами должны существовать и положительные заряды иного происхождения: ионы гелия (или, по менее вероятному предположению других исследователей, ионы кальция), изверженные Солнцем, вызывающие полярные сияния в высоких широтах и свечение ночного неба в средних и низких широтах вплоть до экватора.

щихся на соответствующей высоте: величину $\partial N / \partial z$. Важно отметить, что этой величине должны быть пропорциональны количества вторичных, третичных и т. д. положительных и отрицательных частиц, возникающих при столкновениях с атомами газов в стратосфере.

2. Совершенно очевидно, что электропроводность воздуха и турбулентное перемешивание масс приводят к выравниванию плотности «протонного газа» в атмосфере. Однако для качественных суждений можно считать установившуюся плотность «протонного газа» также пропорциональной значению $\partial N / \partial z$ на соответствующей высоте z .

3. Несомненно, что «протонный газ» увлекается воздушными потоками как в зональной циркуляции вокруг Земли, так и в той интересующей нас сейчас системе, которая порождена тепловыми противоречиями между океаном и материками. На основании наших исследований⁽³⁾ можно определить значения градиентов давления в этой последней системе. Зная же значения Γ градиента давления атмосферы в поле «оcean — материк», можно определить составляющую скорости потоков вдоль береговой линии. Очевидно, она будет пропорциональна величине Γ / δ , где через δ обозначена плотность воздуха на высоте z .

4. Конвекционный электрический ток на высоте z обладает плотностью i , пропорциональной плотности «протонного газа» на этой высоте и скорости соответствующего воздушного потока. Другими словами, плотность конвекционного электрического тока на высоте z может быть представлена формулой:

$$i = k \frac{\Gamma}{\delta} \frac{\partial N}{\partial z}. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности k в настоящее время не может быть определен даже с точностью до порядка по соображениям, о которых будет речь ниже. Однако мы можем уже сейчас судить об изменении i с высотой, вычислив произведение, стоящее в правой части (1) после коэффициента пропорциональности.

На рис. 1 изображена кривая, вычисленная нами по цитированным источникам и представляющая это распределение. Как видим, плотность конвекционного тока i непрерывно возрастает в пределах от 6 до 20 км над морем и должна возрастать в более высоких слоях.

5. Направление конвекционного тока в исследованных слоях совпадает с тем, которое было получено Л. А. Корневой на модели⁽²⁾. Следовательно, наличие этих токов качественно объясняет причину сходства очертаний изолиний магнитного поля Земли с очертаниями береговой линии материков, объясняет также отклонение магнитной оси.

6. Количественная сторона явлений весьма сложна. На основании опытов Корневой, проектируя все исследуемые элементы на поверхность океана, можно заключить, что каждый погонный сантиметр пересекается током порядка 10^{-1} а, создающим дополнительное магнитное поле Земли. Зная порядок скоростей воздушных потоков на высотах, можно вычислить порядок количества положительных зарядов в столбе с основанием в 1 см^2 — зарядов, переносимых потоками и создающих тем самым конвекционный ток в стратосфере. Вычисления приводят к цифре около $2 \cdot 10^{-5}$ кулонов/ см^2 . В среднем на высотах это составляет 1 протон примерно на 10^{11} молекул воздуха.

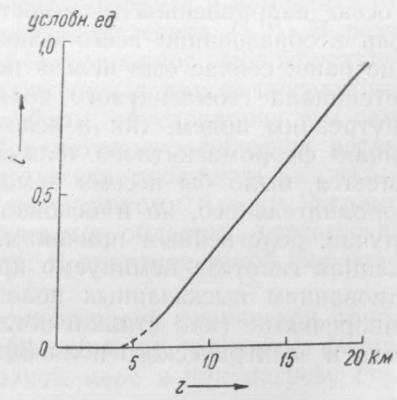


Рис. 1

Если бы конвекционный ток, создающий дополнительное магнитное поле Земли, был обусловлен исключительно этими первичными частицами космических лучей, то заряд столба, опирающегося на 1 см², создал бы в нижних слоях атмосферы электрическое поле с напряженностью порядка 10⁸ в/см, чего в действительности не существует и не может существовать.

7. Отсюда следует, что действительное происхождение конвекционных электрических токов в стратосфере значительно сложней. Оно подсказывается рисунком 14 в работе С. Н. Вернова и др. (5).

В самом деле, ведь при столкновении первичных протонов с молекулами воздуха возникают вторичные и более высоких порядков частицы: протоны, мезоны, электроны, а также фотоны. Количество возникающих положительных зарядов равняется количеству возникающих отрицательных. Следовательно, стремительное возникновение частиц высоких порядков приводит к чрезвычайно резкому возрастанию общего числа частиц по сравнению с числом первичных протонов и в то же время нисколько не отражается на напряженности общего электрического поля Земли. Между тем, поведение положительных и отрицательных частиц, порожденных столкновениями, далеко не одинаково: отрицательные частицы проявляют себя как вторичные космические лучи, а положительные преимущественно просто увлекаются воздушными потоками, как некоторая примесь к нейтральным газам стратосферы, и участвуют в общей циркуляции воздуха на соответствующих высотах. Именно этим могут создаваться конвекционные электрические токи необходимой плотности, без возникновения абсурдно большой напряженности электрического поля в атмосфере.

8. В заключение следует отметить, что аналогичные конвекционные электрические токи должны существовать вокруг Земли благодаря наличию зональной циркуляции атмосферы. Они создают магнитное поле с осью, направленной в точности вдоль оси вращения Земли. Какова их роль в образовании всего основного магнитного поля планеты, судить еще рано: сейчас еще нельзя полностью разобраться в сложной картине потенциала геомагнитного поля, учитывая как требования, диктуемые внутренним полем, так и осложнения, которые вносятся благодаря наличию ферромагнитного тела Земли в поле электрических токов. Разумеется, было бы весьма заманчивым свести происхождение не только дополнительного, но и основного поля Земли к общим или, во всяком случае, родственным причинам. Однако в современном состоянии изложенной гипотезы неминуемо приведет еще к неоднократным усовершенствованиям высказанных положений, сталкиваясь с неизбежными противоречиями (как сталкиваются с ними все работы по теории магнитного и электрического поля Земли).

Морской гидрофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
2 XI 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Т. Миронов, Журн. геофизики, 6, в. 5 (1936). ² Л. А. Корнеев, ДАН, 76, № 1 (1951). ³ В. В. Шулейкин, ДАН, 71, № 6 (1950). ⁴ Д. В. Скобельцын, Вестн. АН СССР, № 4, 31 (1950). ⁵ С. Н. Вернов, Н. Л. Григоров и А. Н. Чарахчьян, Изв. АН СССР. сер. физ., 14, № 1, 51 (1950).