

Академик В. В. ШУЛЕЙКИН, В. И. ЛОПАТНИКОВ

## ПРИЧИНА РЕЗКОГО ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ НА ТЫСЯЧЕМЕТРОВЫХ ГЛУБИНАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Известно, что западное магнитное склонение в тропическом поясе Атлантического океана достигает наибольшей величины близ магнитного экватора. Так как там величина магнитного наклона проходит через нуль, то единственной причиной такой особенности магнитного поля могут быть лишь электрические токи, направленные примерно вдоль меридианов с севера на юг. Первоначально мы предполагали <sup>(1)</sup>, что это теллурические токи в океанской воде, открытые еще в 1936 г. А. Т. Мионовым <sup>(2)</sup>. Однако ряд соображений заставляет утверждать, что токи локализованы под дном океана, в проводящем слое мантии <sup>(3)</sup>. В связи с этим, приходится по-новому относиться к результатам наших неоднократных определений изменения магнитного склонения в Атлантическом океане на глубинах, превышающих 1 км <sup>(4)</sup>.

До недавнего времени мы были даже склонны приписывать зарегистрированные (цифрами) на фотографической пленке резкие изменения склонения на глубинах каким-то инструментальным погрешностям, вызванным недостаточным совершенством приборов — магнитного компаса и гирокомпаса, применявшихся в комплекте нашего глубинного деклинографа. Такие сомнения полностью отпали после проведенных вторым автором настоящей статьи аналогичных измерений в том же тропическом поясе при помощи того же нашего деклинографа, но снабженного новыми улучшенными компасами системы Н. И. Сигачева.

На рис. 1 кривая *a* представляет результаты экспедиционных измерений. По оси абсцисс отсчитывается время с момента прихода гирокомпаса в меридиан, на протяжении 3 час. 10 мин. Вертикальными тонкими прямыми отмечены этапы погружения деклинографа с глубины 2 км до глубины 4,5 км и последующего подъема на исходный уровень. Буквы *B* обозначают выдержку приборов на той или иной глубине, указанной на рисунке (в километрах). По оси ординат отмечены изменения магнитного склонения на соответствующих глубинах по сравнению с тем, какое соответствовало глубине 2 км. Приписывая магнитному склонению в Атлантическом океане (западному) знак минус, считаем изменения склонения положительными (при погружении склонение уменьшается по абсолютной величине, проходит через нуль и даже становится восточным). На рис. 1 не наблюдается такой сильный разброс точек, какой был на наших старых регистрациях <sup>(4)</sup>, а странные на первый взгляд извилины на кривой *a* объясняются различием в поведении магнитного компаса и гирокомпаса при очень резких поворотах контейнеров с приборами около их вертикальной оси.

Важно подчеркнуть, что после подъема деклинографа с глубины 4,5 км до уровня 2 км под поверхностью океана ординаты кривой *a* почти такие же, как и до спуска с уровня 2 км. Различие частично объясняется упомянутой причиной, а частично тем, что близ левого конца кривой на рис. 1 могли еще остаться следы прецессионных движений гирокомпаса. Эти соображения заставляют считать началом для отсчета ординат правый край кривой.

Как видим, при выдерживании приборов на глубине 4,5 км магнитное склонение оставалось постоянным в пределах погрешностей аппаратуры

и отличалось примерно на  $25^\circ$  от магнитного склонения, зарегистрированного на глубине 2 км. Между тем измерения напряженности магнитного поля на поверхности океана протонным магнетометром обнаружили в том же районе изменения  $H$  не более  $100\gamma$  (полный вектор напряженности здесь лежит в горизонтальной плоскости). Отсюда следует, что резко выраженный эффект, характеризуемый диаграммой рис. 1, может быть приписан только воздействию сильно намагниченного объекта весьма ограниченных размеров.

На основное магнитное поле Земли с моментом, направленным вдоль оси вращения планеты, и дополнительное поле, вызванное токами в проводящем слое мантии под океаном <sup>(3)</sup> тут налагается еще чисто ло-

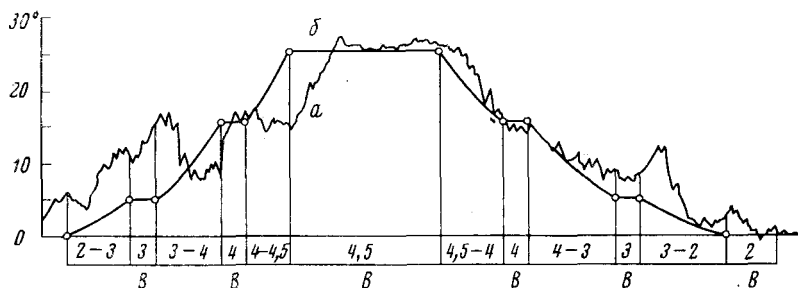


Рис. 1

кальное магнитное поле третьего рода. Оно создает компонент, перпендикулярный результирующему вектору напряженности, порожденному полями первого и второго рода; назовем этот компонент отклоняющим, поскольку он вызывает отклонение магнитной стрелки от магнитного меридиана.

Отклонение  $\Delta$  более  $20^\circ$  вызывается компонентом порядка десятых полей эрстеда. Никакие породы типа базальта, ответственные за магнитные аномалии в Тихом океане <sup>(5)</sup>, не могут создать такую напряженность магнитного поля; их влияние на магнетометр, помещенный на уровне океана, объясняется лишь громадной протяженностью намагниченных полос — около 2000 км — в меридиональном направлении и расстоянием порядка 20 км между полосами. Подобное строение намагниченных парамагнитных тел обеспечивает медленное уменьшение напряженности поля по мере приближения к поверхности океана и эффект, хорошо воспринимаемый магнетометром на ней.

В исследуемом случае напряженность поля, отклоняющего стрелку компаса от магнитного меридиана, характерна для ферромагнитной породы, залегающей на глубине под осадочными породами дна и занимающей ограниченный объем и потому практически не дающей о себе знать на поверхности океана.

В настоящее время ничего не известно даже о приблизительных размерах этого ферромагнитного тела и о глубине его залегания под осадочными породами. Но даже сейчас рис. 1 позволяет получить некоторые полезные выводы.

Как известно на основании работ Гаусса, Шмидта, Ламона <sup>(6)</sup>, в простейших случаях взаимного расположения каких-либо двух магнитов с моментами  $M_1$ ,  $M_2$ , их взаимодействие характеризуется моментом сил  $P$ , пропорциональным произведению  $M_1 \cdot M_2$  и обратно пропорциональным кубу расстояния  $r$  между их центрами. Если линейные размеры  $l_1$ ,  $l_2$  магнитов недостаточно малы по сравнению с  $r$ , то выражение для  $P$  осложняется поправочным множителем вида  $[1 + f(l_1/r, l_2/r)]$ , где функция  $f$  представляет собой степенной ряд, возникший после дифференцирования некоторых полиномов Лежандра.

В настоящей задаче картина поля сложнее, чем в работах, цитированных в (6): на магнитные стрелки компаса действуют и упомянутые выше поля первого и второго рода, и локальное поле неизвестного ферромагнитного тела. Применительно к таким сложным условиям удобнее находить не момент сил, действующих на магнитные стрелки, а некоторую функцию угла отклонения от магнитного меридиана. Общие соображения показывают, что естественно искать выражение для тангенса искомого угла  $\Delta$ . Очевидно, что в его выражение не потребуются вносить никаких факторов, связанных с  $l_2/r$ , где  $l_2$  обозначает длину стрелки компаса: это отношение всегда следует считать пренебрежимо малым. Зато отношение длины  $l_1$  неизвестного ферромагнитного тела к расстоянию  $r$  заведомо не может считаться пренебрежимо малым. Наличие соответствующей поправки в выражении для момента  $\mathbf{P}$  должно как-то сказываться и на форме искомого выражения для  $\operatorname{tg} \Delta$ .

Если в качестве первого приближения принять, что тангенс меняется обратно пропорционально некоторой степени расстояния  $r$  до ферромагнитного тела, то надо ожидать, что показатель степени будет больше единицы и меньше трех ввиду ограниченных, по сравнению с  $r$  размеров тела.

Обозначим через  $D$  глубину океана, через  $\xi$  — глубину залегания намагниченного тела под дном океана, через  $z$  — глубину погружения деклинографа. Испытаем по существующим данным пригодность приближенного соотношения

$$\operatorname{tg} \Delta_z = n / (D + \xi - z)^2; \quad (1)$$

в (1) входят две известные величины  $D$ ,  $z$  и два неизвестных параметра  $n$ ,  $\xi$ : в районе регистрации было  $D=5,3$  км, максимальная глубина погружения приборов была  $z=4,5$  км. После подстановки в (1) различных значений  $\xi$  и контрольных расчетов, выяснилось, что наиболее правдоподобные результаты расчетов по (1) получаются при  $\xi=1,5$  км. Остающееся неизвестным значение  $n$  определяется на основании рис. 1, показывающего, что

$$\Delta_{1,5} - \Delta_2 = 25^\circ. \quad (2)$$

Это требование удовлетворяется при  $n=3,57$ , причем (1) дает следующие значения углов отклонения на глубинах 4,5 и 2 км:

$$\Delta_{1,5} = 34^\circ, \quad \Delta_2 = 9^\circ.$$

Кривая  $b$  на рис. 1 вычислена по формуле (1) при таких значениях параметров  $n$ ,  $\xi$ . Она вполне удовлетворительно воспроизводит основные особенности кривой  $a$ .

Надо отметить запаздывание изменений  $\Delta$  на записи прибора по сравнению с действительными моментами достижения той или иной ступени на глубинах и после конца выдерживания приборов на этих ступенях. Особенно отчетливо такие запаздывания проявляются при достижении наибольшей глубины погружения и после выдерживания приборов на этой глубине. Как эти запаздывания, так и другие нерегулярные особенности кривой  $a$  объяснены выше.

Формула (1) с принятыми значениями параметров пригодна даже для экстраполяции до самой поверхности океана: там она дает для угла отклонения значение  $\Delta_0=4,5^\circ$ . В исследованной области Атлантического океана полный вектор напряженности магнитного поля по модулю приблизительно равен горизонтальной составляющей  $H \approx 0,5$  э. Следовательно, изменение напряженности магнитного поля на поверхности океана, которое может быть вызвано ферромагнитным телом под дном океана, будет

$$\delta H = H (\sec \Delta_0 - 1) \cdot 10^5 = 155 \gamma,$$

а это величина, порядок которой совпадает с порядком той, которая была измерена посредством протошного магнетометра.

Воспользовавшись формулой (1), можно с достаточной уверенностью объяснить, почему в наших старых работах, сделанных в других районах Атлантического океана (<sup>1</sup>), не было обнаружено различия между отклонением магнитного компаса от магнитного меридиана на глубине 1 км и на глубине 0,5 км. Там, примерно на той же высоте приборов над дном океана, максимальное отклонение от магнитного меридиана достигало 36°. Следовательно, для ориентировочных расчетов, можно принять те же значения параметров  $n$  и  $\zeta$ . Тогда, проделав вычисления по (1), получим

$$\Delta_1 - \Delta_{0,5} = 1^\circ.$$

Разумеется, различие на 1° никак не могло быть замечено на нашей старой диаграмме, при существовавшем там разбросе точек.

Формулу (1) пока следует рассматривать как эмпирическую, позволяющую вполне удовлетворительно описывать отклонения от магнитного меридиана на глубинах в диапазоне 2000—4500 м и даже экстраполировать расчеты вверх еще на 2000 м — до самой поверхности океана, где отклонения становятся весьма малыми.

Лабораторные опыты с намагниченным железным эллипсоидом показали, что при некоторых вариантах расположения 127-миллиметрового магнитного компаса относительно этого эллипсоида формула (1) подтверждается в достаточно большом диапазоне расстояний по высоте.

В будущем надо исследовать районы океана, подобные описанным: хотя они и не имеют промышленного значения ввиду ограниченности объема ферромагнитных пород и большой глубины их залегания, но несомненно окажутся полезными для выяснения эволюции океанского дна.

Черноморское отделение морского  
гидрофизического института  
Академии наук СССР  
Кацивели Крымской обл.

Поступило  
7 III 1975

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, т. 76, № 1, 57 (1951); т. 119, № 2, 257 (1963). <sup>2</sup> А. Т. Ми-  
ронов. Журн. геоф., т. 6, № 5, 474 (1936). <sup>3</sup> В. В. Шулейкин, ДАН, т. 196, № 3, 575  
(1971). <sup>4</sup> В. В. Шулейкин, Физика моря, изд. 4-е, М., «Наука», 1968. <sup>5</sup> М. Ботт,  
Внутреннее строение Земли, М., «Мир», 1974. <sup>6</sup> Н. В. Розе, Н. Н. Трубяччинский,  
Б. Н. Яновский, Земной магнетизм и магнитная разведка, Л.— М., 1934.