

Академик П. П. ЛАЗАРЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЕКОВЫМ ВАРИАЦИЯМ ЗЕМНОГО
МАГНЕТИЗМА. II. ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ И МЕСТНЫЕ МАГНИТНЫЕ
АНОМАЛИИ**

§ 1. В моей предыдущей работе⁽¹⁾ были получены значения элементов земного магнитного поля Z , H , D для любой точки поверхности земли в любую эпоху t . При этом за основу вычислений была принята схема распределения геомагнетизма Био и было допущено, что вековые вариации вызываются равномерным вращением диполя Био, наклоненного к оси вращения земли под постоянным углом. Сравнение вычисленной амплитуды вековых вариаций D с наблюдаемой показывают, что для Парижа, где имеются измерения D с тысяча пятьсот сороковых годов, совпадение весьма удовлетворительное. Между вычисленными и наблюдаемыми абсолютными значениями D имеется некоторое различие, о котором мы скажем в одной из следующих работ и причины которого будут выяснены позднее.

§ 2. Если назвать через φ широту места наблюдения, через ϑ широту полюса и λ разность долгот Северного полюса и места наблюдения, если обозначить через ω магнитный момент земли и через r ее радиус, то получается

$$\left. \begin{aligned} Z &= -\frac{2\omega}{r^3} Q, \\ H &= \frac{\omega}{r^3} \sqrt{1-Q^2}, \\ \sin D &= \frac{\cos \vartheta \sin \lambda}{\sqrt{1-Q^2}}, \\ Q &= \sin \vartheta \sin \varphi + \cos \vartheta \cos \varphi \cos \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Пользуясь формулами (1), легко найти северную компоненту X и восточную компоненту Y земного поля, имея в виду, что

$$X = H \cos D \quad \text{и} \quad Y = H \sin D. \quad (2)$$

Отсюда получаются значения элементов поля в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{\omega}{r^3} \sqrt{1-Q^2 - \cos^2 \vartheta \sin^2 \lambda}, \\ Y &= \frac{\omega}{r^3} \cos \vartheta \sin \lambda, \\ Z &= -\frac{2\omega}{r^3} Q. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Уравнения изолиний X , Y и Z , проходящих через точку A_0 , полу-

чаются, если в (3) приравнять X, Y, Z их значениям в точке A_0 . Пусть эти значения суть A, B, C , тогда уравнения изолиний будут

$$A = \frac{\omega}{r^3} \sqrt{1 - Q^2 - \cos^2 \vartheta \sin^2 \lambda} = \text{const},$$

$$B = \frac{\omega}{r^3} \cos \vartheta \sin \lambda = \text{const},$$

$$C = -\frac{2\omega}{r^3} Q = \text{const}.$$

Наиболее простую форму изолинии имеют для восточной компоненты Y . Здесь уравнение изолинии $\frac{\omega}{r^3} \cos \vartheta \sin \lambda = B = \text{const}$ не зависит от широты ϑ места точки наблюдения A_0 , и, следовательно, меридиан, проходящий через A_0 , и является изолинией Y .

Можно усложнить задачу, предположив, что магнитное поле земли эквивалентно полям двух или многих диполей, расположенных в центре земли. В этом случае

$$Y = \frac{1}{r^3} [\omega_1 \cos \vartheta_1 \sin \lambda_1 + \omega_2 \cos \vartheta_2 \sin \lambda_2 + \omega_3 \cos \vartheta_3 \sin \lambda_3 + \dots] = B = \text{const}.$$

Здесь $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots$ — магнитные моменты диполей, $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3 \dots$ — широты полюсов диполей и $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ — разности долгот полюсов диполей и места наблюдения. Для всех точек меридиана, проходящего через A_0 , $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ постоянны, и, следовательно, изолиния Y и в этом случае представляется меридианом. В реальном поле земли изолинии Y значительно уклоняются от меридионального направления и, следовательно, введение ряда диполей в центр земли вместо одного не дает более точного решения задачи о распределении земного магнетизма.

§ 3. Гипотеза Био об эквивалентности магнитных полей земного шара и диполя представляет лишь первое грубое приближение. Точное решение вопроса о магнитном поле земли, как показал Гаусс⁽²⁾, дает выражение потенциала земли в виде ряда, первый член которого, тождественный по форме с потенциалом диполя Био, соответствует однородному намагничению земного шара.

Можно допустить, что первый член гауссова ряда зависит от однородного намагничения внутренних частей земного шара, обнаруживающих вековые изменения магнитного состояния. Наружная оболочка земли имеет по нашей гипотезе постоянное намагничение, меняющееся от точки к точке и зависящее от остаточного магнетизма горных пород, возникшего при их образовании в поле земли.

Внутренние части, дающие поле диполя Био и обнаруживающие вековые вариации, создают то, что мы можем назвать нормальным полем земли с компонентами X_n, Y_n, Z_n . Поле коры, зависящее от магнитных свойств пород, ее составляющих, является в каждой точке земной поверхности постоянным и неправильно меняется при перемещении вдоль поверхности земного шара. Это поле составляет то, что можно назвать аномальным полем земли. Его компоненты равны X_a, Y_a, Z_a .

Наблюдаемое поле является сложением нормального и аномального полей и характеризуется компонентами

$$\left. \begin{aligned} X &= X_n + X_a = \frac{\omega}{r^3} \sqrt{1 - Q^2 - \cos^2 \vartheta \sin^2 \lambda} + X_a, \\ Y &= Y_n + Y_a = \frac{\omega}{r^3} \cos \vartheta \sin \lambda + Y_a, \\ Z &= Z_n + Z_a = -\frac{2\omega}{r^3} Q + Z_a. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Можно всегда так подобрать X_a, Y_a, Z_a , чтобы в изучаемой точке A_0 вычисленные по формулам (4) компоненты были бы равны наблюдаемым значениям компонент.

§ 4. Есть возможность проверить гипотезу о двойственном характере магнетизма земли, зависящего от поля однородно намагниченного ядра, магнетизм которого связан с вековыми вариациями, и от поля неравномерно намагниченной коры земли, сохраняющей неизменным свой магнетизм.

Для проверки мы найдем изменение элементов геомагнетизма со временем и соединим точки поверхности земли, показывающие одинаковое изменение за единицу времени (за год). Кривые на поверхности земного шара, полученные таким образом, носят название изопор.

Как легко понять, изопоры получаются, если мы возьмем производные по времени от выражений (4) и приравняем эти производные постоянным. Принимая во внимание, что $\lambda = \lambda_0 + \frac{2\pi}{T} t$ [см. мою предыдущую статью⁽¹⁾], где λ_0 есть разность долгот места наблюдения и магнитного полюса в момент $t=0$, от которого считается время, и где T есть период вековых вариаций в годах, находим из (4)

$$\frac{dY}{dt} = \frac{2\pi\omega}{Tr^3} \cos \vartheta \cos \left(\lambda_0 + \frac{2\pi}{T} t \right).$$

Приравнявая полученную производную $\frac{dY}{dt}$ постоянной β , находим уравнение изопоры Y

$$\beta = \frac{2\pi\omega}{Tr^3} \cos \vartheta \cos \left(\lambda_0 + \frac{2\pi}{T} t \right).$$

В этом уравнении, как и в уравнении Y —изодинамы, не входит широта места наблюдения φ , и, следовательно, изопора Y совпадает по направлению с меридианом.

Как показывают наблюдения, изопоры Y во многих местах поверхности земли проходят весьма близко к меридианам⁽²⁾. Так, например, для времени 1920—1925 г. изопоры Y близки к меридианам около восточных берегов Африки и у западных берегов Австралии. В общем в эту эпоху направление большого количества изопор приближается к меридиональному. Однако имеются области с замкнутыми изопорами Y . Для эпохи 1920—1925 г. такими областями являются, например, южные части Африки и области Великого океана, расположенные на юге его и на востоке между Южной и Северной Америкой.

Как мы видим, деление поля земли на поле внутренних частей, вызывающее вековые вариации, и поле наружной оболочки, поле постоянное, может дать для поля земли в данный момент совпадение с действительностью. Изменение поля со временем, характеризуемое изопорами, дает расхождение с действительностью. Приходится предположить, что намагничение коры, дающее аномальное поле, также зависит от времени, будучи связано с физическими и химическими явлениями, протекающими в коре земного шара, причем эта зависимость должна быть различной в разных частях земли.

Отдел твердой оболочки
Института теоретической геофизики
Академии Наук СССР

Поступило
3 V 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. Н. Лазарев, ДАН, XXV, № 1 (1939). ² K. F. Gauss, Werke, 5, 419 (1867). ³ E. H. Vestine, The potential of the earth magnetic secular variation. International Association of terrestrial magnetism and electricity. Washington Assembly, September (1939).