

А. П. БОНДАРЕНКО

**ОБ ИНДУКЦИОННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 24 III 1953)

Вопрос о возможности существования индукционного электрического поля вертикальной составляющей геомагнитных вариаций возникает в связи с неоднородностью электрической проводимости земной коры в горизонтальных направлениях. Наличие такого рода неоднородностей может быть обусловлено фаціальными изменениями петрографического состава горных пород, тектоническими нарушениями, непостоянством мощности осадочных отложений, различиями гидрогеологических условий и многими другими причинами геологического характера. Кроме того, значительные изменения проводимости должны иметь место на границах распространения суши и водных бассейнов, а также платформ и гор.

Это поле необходимо учитывать при изучении связи земных электрических токов с геомагнитными вариациями. До сих пор оно не учитывалось, поскольку при установлении соотношений между электрическим и магнитным полем проводимость Земли во всех случаях предполагалась однородной (¹⁻³). Целью настоящей заметки является качественная оценка возможных значений градиентов этого поля, исходя из общего закона индукции.

Выражение для определения градиентов проще всего находится следующим путем. Рассмотрим условия индукции поля на ограниченном участке земной коры в виде двух смежных прямоугольников со сторонами a и b на географических координатных осях x и y . При возрастании вертикальной составляющей геомагнитного поля книзу в пределах площади восточного прямоугольника возникает электродвижущая сила индукции

$$e^{(z)} = \frac{\partial}{\partial t} \int_0^a \int_0^b dx dy H_z = ab H'_z,$$

что соответствует градиенту меридионального направления по смежной стороне прямоугольника

$$E_{x1}^{(z)} = \frac{ab}{2(a+b)} H'_z.$$

При этом в западном прямоугольнике будет индуцироваться электродвижущая сила такой же величины, но противоположного направления. Градиент вдоль смежной стороны также будет направлен в противоположную сторону. В условиях однородной среды они взаимно уничтожаются. Если же электрическая проводимость земной коры неод-

нородна в пределах рассматриваемых участков, то тогда плотности токов будут различны, и потому вариации H_z должны индуцировать токи в Земле.

Обозначим электрическую проводимость в меридиональном направлении восточного участка через S_{x1} и западного через S_{x2} , причем в данном случае

$$S_{x1} = \frac{h_1 b}{\rho_1 a}, \quad S_{x2} = \frac{h_2 b}{\rho_2 a},$$

где h_1 и h_2 — средние мощности проводящей толщи в пределах рассматриваемых прямоугольников; ρ_1 и ρ_2 — средние удельные сопротивления этих толщ; a и b — стороны прямоугольника. Учитывая это, находим плотность тока для первого участка

$$j_{x1} = S_{x1} E_{x1}^{(z)}$$

и для второго

$$j_{x2} = -S_{x2} E_{x1}^{(z)}.$$

При $S_{x1} > S_{x2}$ суммарная плотность тока

$$j_x = E_{x1}^{(z)} (S_{x1} - S_{x2}).$$

Умножая обе части последнего уравнения на $1/S_{x1}$ и пренебрегая анизотропией электрической проводимости в широком направлении, получим градиент меридионального направления

$$E_x^{(z)} = \frac{ab}{2(a+b)} \left[1 - \frac{\rho_1 h_2}{\rho_2 h_1} \right] H_z',$$

обусловленный вариациями H_z . Значение $E_x^{(z)}$ выражается в мВ/км, если a , b , h измеряются в км и H_z' в γ /сек. Если принять a равным длине линии, применяемой для измерения земных токов меридионального направления, и b равным длине широтной линии, то $E_x^{(z)}$ будет характеризовать индукционное поле вариаций H_z в пределах расположения измерительных линий.

Аналогичное выражение получается также для широтной компоненты индукционного электрического поля вертикальной составляющей геомагнитных вариаций $E_y^{(z)}$. При этом только нужно учитывать изменения электрической проводимости по площади в меридиональном направлении.

Из формулы следует, что вариации H_z индуцируют токи в земле при изменениях по площади электрических свойств горных пород и мощности проводящей толщи земной коры. Удельные сопротивления пород, как известно, варьируют в очень широких пределах, от нескольких единиц (песчано-глинистые отложения) до десятков и даже сотен миллионов единиц (изверженные и эффузивные породы), так что отношение ρ_1/ρ_2 в редких случаях может оказаться близким к единице. То же самое следует сказать и об отношении h_2/h_1 , если проводящим слоем считать только верхние осадочные отложения земной коры. Конечно, электрическое поле индуцируется и в литосфере, но, вследствие ее ничтожно малой проводимости по сравнению с проводимостью верхнего слоя, это поле не должно оказывать существенного влияния на распределение градиентов около земной поверхности.

Восточная составляющая геомагнитных вариаций H_y также создает электрические градиенты меридионального направления. Величина их обычно определяется по формуле (2)

$$E_x^{(y)} = \frac{ah}{2(a+h)} H_z',$$

где a обозначает то же, что и выше, h — мощность проводящей толщи.

Электрическая проводимость не входит в формулу, так как H_y индуцирует токи благодаря наличию границы раздела земля — воздух, а анизотропия проводимости в вертикальном направлении не учитывается.

Таким образом, при наличии неоднородностей электрической проводимости земной коры меридиональная компонента индукционного электрического поля геомагнитных вариаций состоит из двух слагающих:

$$E_x = E_x^{(y)} \pm E_x^{(z)}.$$

Знак плюс будет при $S_{x1} > S_{x2}$ и минус при обратном соотношении. Следовательно, $E_x^{(z)}$ в одном месте может усиливать поле $E_x^{(y)}$, а в другом, наоборот, ослаблять. При $a \gg h$, т. е. когда измерения ведутся на данных линиях (порядка 50—100 км), слагающая $E_x^{(z)}$ должна значительно преобладать над $E_x^{(y)}$, поэтому ее нельзя рассматривать как простую поправку к $E_x^{(y)}$. То же самое относится и к $E_y^{(z)}$.

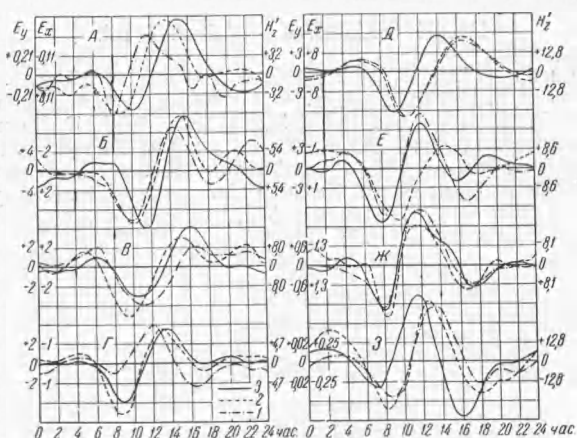


Рис. 1. Связь меридиональной компоненты E_x (1) и широтной компоненты E_y (2) земных токов с производной вертикальной составляющей геомагнитных вариаций H'_z (3).

Ординаты E_x и E_y отложены в мв/км, H'_z — в γ . Часы показаны по среднесолнечному времени.

А — Зуй, 1944 г.; Б — Писаревка, сентябрь 1940 г.; В — Кременчуг, август 1939 г.; Г — Тойохара, 1934 г.; Д — Эбро, 1914—1918 гг.; Е — Какиока, 1934 г.; Ж — Тэксон, лето, 1932—1934 гг.; З — Уотеру, 1924—1927 гг.

Наблюдаемые земные токи, как известно, не удается объяснить индукционным влиянием горизонтальных составляющих геомагнитных вариаций. В связи с этим и учитывая изложенное, представляется интересным выяснить вопрос, не являются ли они следствием вариаций только H_z . С этой целью на рис. 1 сопоставлены графики суточного хода меридиональной компоненты токов E_x и широтной E_y с производной H'_z (как величиной, пропорциональной $E_x^{(z)}$ и $E_y^{(z)}$).

Данные наблюдений заимствованы из литературы и публикаций обсерваторий*. Графики изображены в разных масштабах, чтобы отчетливее выделить характер суточного хода на каждой станции.

* По станции Зуй (4), Писаревка и Кременчуг (5), Тойохора (6), Эбро (7), Какиока (8), Тэксон (9), Уотеру (10).

Кривые H_z' для Писаревки, Кременчуга и Тэксона синтезированы по 6 гармоникам, остальные по 4.

Как видно из рисунка, графики суточного хода обеих компонент земных токов в большинстве случаев оказываются похожими на график производной H_z . Особенно близкое сходство обнаруживается, как и следовало ожидать, в Тэксоне, где наблюдения выполнялись на длинных линиях (57 и 94 км). Здесь как будто полностью подтверждается высказанное выше предположение. Вероятно, то же самое имеет место в районах Писаревки, Эбро и Уотеру. Наблюдаемые на этих станциях систематические сдвиги графиков по фазам, возможно, являются следствием неучета анизотропии электрической проводимости. На остальных участках также проявляется связь токов с H_z , но только с одной компонентой.

Львовский филиал
Академии наук УССР

Поступило
4 XII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Тихонов, ДАН, 73, № 2 (1950). ² S. Chapman, S. Bartels, Geomagnetism, 1, 1940. ³ S. Chapman, S. Whithead, Trans. Cambridge Phil. Soc., 22 (1922). ⁴ В. В. Новыш, Докл. НИИЗМ, 4 (1948). ⁵ А. П. Бондаренко, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 15, 1 (1950). ⁶ Annual Report of the Toyohara Magnetic Observatory Japan for the Year 1934, Tokyo, 1939. ⁷ L. Bauer, Terr. Magn., 27, 1 (1923). ⁸ Annual Report of the Kakioka Magnetic Observatory Japan for the Year 1934, Tokyo, 1939. ⁹ W. Rooney, Terr. Magn., 40, 2 (1935). ¹⁰ O. Gish, W. Rooney, Terr. Magn., 33, 2 (1928).