

А. П. БОНДАРЕНКО

О СВЯЗИ ЗЕМНЫХ ТОКОВ И ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 26 I 1953)

Земные электрические токи были открыты еще в середине прошлого столетия. Однако физическая природа их до сих пор окончательно не выяснена, несмотря на значительный научный и особенно практический интерес данной проблемы.

Большинство исследователей считает причиной этих токов индукционное влияние вариаций геомагнитного поля. Самое наличие такого влияния, конечно, не может вызывать никакого сомнения. Задачей исследований здесь является выяснение вопроса, представляют ли наблюдаемые земные токи индукционное электрическое поле геомагнитных вариаций.

В большинстве случаев этот вопрос решался путем сопоставлений суточного хода меридиональной компоненты токов E_x с производной восточной составляющей геомагнитных вариаций H'_y и широтной компоненты E_y с производной северной составляющей H'_x . В ряде пунктов, как известно ⁽¹⁾, наблюдается довольно близкое сходство между E_x и кривой H'_y . В ходе же второй компоненты E_y не обнаруживается почти ничего общего с производной H'_x . Аналогичные результаты дает для тех же пунктов и анализ связи по методу Чапмэна и Уайтхэда ^(2,3).

Вместе с тем кривые E_x оказываются похожими по внешнему виду на ход вариаций H_y . Многие исследователи придают этому реальное физическое значение и делают отсюда соответствующие выводы. Так, например, Чапмэн ⁽⁴⁾ и Бауэр ⁽⁵⁾ рассматривают одну компоненту токов E_x как следствие, а вторую E_y как причину геомагнитных вариаций. В. Н. Дахнов ⁽⁷⁾ и А. П. Краев ⁽⁶⁾ объясняют возможность существования подобного рода связи за счет преобладания магнитного поля земных токов над первичным внешним полем. По заключению А. Ниппольдта ⁽⁸⁾, земные токи вообще не связаны непосредственно с геомагнитными вариациями, причем он полагает, что они представляют собой чисто локальное явление. Последним утверждением, в сущности, отрицается самый факт существования земных токов в общепринятом понятии.

Причины противоречивости результатов выполненных исследований необходимо искать, прежде всего, в самой методике. Наиболее существенным недостатком применяемых методов анализа является то, что при сопоставлениях не учитываются геологическое строение и неоднородности электрических свойств земной коры. Поэтому, собственно, и нельзя было надеяться решить таким путем поставленную задачу. Первая попытка учета этих факторов сделана недавно А. Н. Тихоновым ⁽⁹⁾. Однако полученные им формулы не могут быть использованы для сопоставлений, поскольку в них входят постоянные коэффициенты, не поддающиеся экспериментальному определению.

В настоящей статье предлагается новый метод изучения индукционной связи земных токов и геомагнитных вариаций, основанный на сопоставлении вертикальной проекции ротора электрического поля с производной вертикальной составляющей геомагнитных вариаций. Геологическое строение и неоднородности электрической проводимости при этом учитываются самими измерениями.

Связь проекции ротора электрического поля E_r^* и производной вертикальной составляющей магнитного поля H_z' находится из основного уравнения Максвелла

$$E_r = \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} = -\frac{\mu}{c} H_z'$$

Учитывая региональный характер земного поля и то, что измерения токов, при необходимости, могут производиться на линиях длиной меньше 1 км, можно заменить частные производные компонент электрического поля по координатным осям разностями

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} \cong \frac{E_x - E_{x_1}}{\Delta y}, \quad \frac{\partial E_y}{\partial x} \cong \frac{E_y - E_{y_1}}{\Delta x}$$

и считать их достаточно малыми. Между компонентами E_x и E_{x_1} , а также E_y и E_{y_1} , очевидно, должна существовать линейная связь вида

$$E_{x_1} = k_x E_x, \quad E_{y_1} = k_y E_y,$$

где k_x и k_y — постоянные коэффициенты, характеризующие степень изменения мощности проводящей толщи и электрической проводимости горных пород в горизонтальных направлениях в пределах расстояний Δx и Δy .

Выражая теперь E_r через основные наблюдаемые компоненты и производя некоторые преобразования, находим:

$$E_r \cong \frac{k_x - 1}{\Delta y} E_x + \frac{1 - k_y}{\Delta x} E_y \cong \frac{\mu}{c} H_z'$$

Полученная формула, как видно, применима только для условий неоднородной среды. При $k_x = k_y = 1$ (однородная среда) вариации H_z не должны индуцировать токов в пределах расположения измерительных линий, и E_r будет равно нулю. Но такие случаи вряд ли могут встретиться в действительности.

Для нахождения вариаций E_r нужно разлагать E_x и E_y в ряды обычным способом. Тогда легко вычислить амплитуды c_n^r и фазовые углы φ_n^r ротора по формулам

$$c_n^r = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \text{tg } \varphi_n^r = \frac{a_n}{b_n},$$

где

$$a_n = \frac{k_x - 1}{\Delta y} c_n^x \sin \varphi_n^x + \frac{1 - k_y}{\Delta x} c_n^y \sin \varphi_n^y,$$

$$b_n = \frac{k_x - 1}{\Delta y} c_n^x \cos \varphi_n^x + \frac{1 - k_y}{\Delta x} c_n^y \cos \varphi_n^y.$$

Амплитуды c_n^x , c_n^y и фазовые углы φ_n^x , φ_n^y получаются в результате выполнения гармонического анализа. Величины Δx и Δy представляют в данном случае длины измерительных линий.

* Замена общепринятого обозначения rot_z на E_r сделана с целью сокращения письма.

Для определения коэффициентов k_x и k_y достаточно произвести кратковременную регистрацию (в течение нескольких часов или даже минут) разностей потенциалов на параллельных линиях, причем не обязательно одновременно на обеих парах, так что определение этих коэффициентов не требует оборудования каких-либо специальных установок и может быть выполнено на каждой станции земных токов.

Пока мы располагаем только данными определений коэффициентов по суточным записям токов на параллельных линиях в Писаревке⁽¹⁰⁾. Здесь $k_x = 0,47$ при $\Delta y = 0,80$ км и $k_y = 0,58$ при $\Delta x = 0,50$ км. Результаты вычислений вариаций E_r на основании этих данных изображены графически на рис. 1. Производная H'_z получена аналитически. Синтез обеих кривых сделан по первым четырем гармоникам. Выбор периода в промежутке 7—18 час.

объясняется тем, что вариации H'_z в вечерние и ночные часы почти отсутствуют и, следовательно, нет никаких оснований искать в это время связи между E_r и H'_z .

Полученные графики, бесспорно, свидетельствуют об индукционном происхождении вертикальной проекции ротора поля земных токов. Наличие некоторых расхождений в ходе кривых E_r и H'_z можно объяснить искажающими влияниями различного рода электрических полей локального происхождения и отчасти электродных эффектов.

Таким образом, поскольку проекция ротора определяется через наблюдаемые компоненты E_x и E_y , мы вправе рассматривать каждую из них в отдельности как прямое следствие индукции.

Вопрос об индукционном поле вариаций H_x и H_y требует особого изучения, так как не исключена возможность того, что наблюдаемые земные токи создают, в основном, вариациями H_z . Предположения о существовании прямой индукционной связи между E_y и H_x или возможности преобладания магнитного поля земных токов над первичным не увязываются с данными наблюдений. Если бы в действительности земные токи были причиной геомагнитных вариаций, то тогда на станциях Эбро, Берлин и Уотеру⁽¹⁾ наблюдалась бы связь не между E_y и H_x , а между E_x и H_y , так как на этих станциях вариации E_x гораздо (в 2—3 раза) интенсивнее вариаций E_y . То же самое было бы и в случае преобладания магнитного поля земных токов над первичным полем. Сходство кривых E_y и H_x , как показано на примере сопоставлений наблюдений в Писаревке⁽¹⁰⁾, может быть случайным. Что же касается вывода Ниппольдта в отношении природы земных токов, то его следует признать ошибочным даже с чисто физической точки зрения.

Львовский филиал
Академии наук УССР

Поступило
28 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Roonу, Physics of Earth, 8, 1938. ² S. Chapman, T. T. Whitehead, Cambridge Trans. Phil. Soc., 22 (1922). ³ O. H. Gish, J. Wash. Acad. Sci., 26, 7 (1936). ⁴ S. Chapman, J. Bartels, Geomagnetism, 1, 1940. ⁵ L. Bauer, Terr. Magn., 27, 1 (1922). ⁶ А. П. Краев, Основы геоэлектрики, 1, 1951. ⁷ В. Н. Дахнов, Теллурические токи и пути изучения их с целью проведения разведок полезных ископаемых, 1937. ⁸ А. Ниппольдт, Информ. сборн. по земн. магнет. и электр., № 4 (1937). ⁹ А. Н. Тихонов, ДАН, 73, № 2 (1950). ¹⁰ А. П. Бондаренко, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 15, 1 (1951).

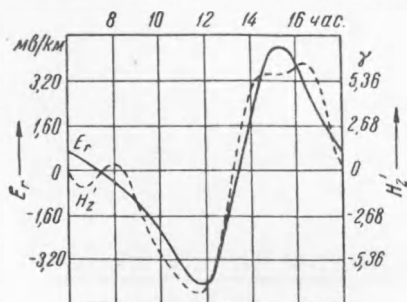


Рис. 1. Связь вертикальной проекции ротора поля земных токов с производной вертикальной составляющей геомагнитных вариаций в Писаревке (сентябрь 1940 г.). Часы показаны по среднесолнечному времени