

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДУКЦИОННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Индукционные зондирования используют вариации двух ионосферных и одного магнитосферного источников индуцирующие электрические токи в проводящей Земле. Однако, изменения геометрии источников или их смена во время наблюдений приводят к изменениям импеданса. Эти зондирования регистрируют наличие внутренних источников магнитных полей лишь косвенно связанных с глубиной исследований. Интересно, что эта изменчивость в сопротивлениях Земли оказывается весьма значительной, особенно для сейсмически активных регионов. В данной статье рассматриваются перечисленные выше эффекты.

Ключевые слова: индукционные зондирования; мониторинг электропроводности.

Введение

Изменчивость во времени результатов индукционных зондирований известна не только теоретически [Гульельми, Гохберг, 1987], но и на практике [Климкович, 2009; Maksymchuk, 2008; Петрищев, Семёнов, 2011 и др.]. Однако причины этого феномена всё ещё недостаточно изучены. Особенно это касается многолетних периодичностей, источник которых был зафиксирован в непроводящей земной коре [Petrishchev, Semenov, 2013].

Внешние источники

Примеры значительной изменчивости сопротивления Земли и индукционных векторов на периодах от нескольких часов до суток с приходом сильной магнитной бури были представлены нами на прошлой конференции во Львове [Петрищев, Семёнов, 2011]. Напомним, что те результаты были получены новым обобщённым магнитовариационным зондированием (ОМВЗ) для групп обсерваторских данных в Европе [Shuman, Kulik, 2002; Semenov, Shuman, 2010; Ладановский и др., 2010]. Этот метод подразумевает источник поля в виде плоской волны, в то время как магнитные поля бурь характеризуются линейной поляризацией поля и эту разновидность метода называют глубинной (ГМВЗ). Было показано, что каждая магнитная буря по-своему изменяет результат зондирования, сохраняющийся вплоть до следующей бури. Эта особенность связана либо со спецификой анализа, либо со сменой наклона эффективной токовой системы в магнитосфере относительно Земли. В последнем случае полученный эффект мог быть связан со значительной азимутальной анизотропией проводящей Земли. Возможны, конечно, и другие гипотезы о природе наблюдаемого явления.

Внутренние источники

Корреляция между многолетними вариациями сопротивления Земли и количества окружающих землетрясений была зафиксирована в Европе в прошлом году [Petrishchev, Semenov, 2013]. Сначала анализировались данные геомагнитных обсерваторий Западной и Центральной Европы по той же новой методике, но на временных отрезках

не менее года. Сразу же была замечена сильная корреляция вариаций кажущихся сопротивлений с циклами солнечной активности (рис. 1). Более того, корреляция во времени и пространстве между тремя разными группами обсерваторий подтверждала достоверность наблюдаемого эффекта обоими методами МВЗ (рис. 2).

Спектральный анализ показал запаздывание вариаций сопротивлений Земли по отношению к изменениям солнечной активности - числам Вольфа до 5 лет для разных групп обсерваторий. В то же время индексы геомагнитной активности АА имеют меньшее запаздывание: лишь до 3 лет (рис. 2).

Индукционные вектора $C_v(r, \omega)$ резко меняются в 1969-70 годах в Европе, особенно если французская обсерватория CLF входит в состав рассматриваемого треугольника. Именно на этой обсерватории и в то же время был зафиксирован геомагнитный джерк. Результаты индукционных зондирований методами ОМВЗ и магнитотеллурики (МТЗ) расходятся в диапазоне коротких периодов (меньше 10^4 с). Это означает, что наблюдаемый там эффект не может быть объяснён в рамках теории индукционных зондирований: в математическом моделировании на сфере над неоднородностью результаты этих методов совпали [Vozar, Semenov, 2010].

Установлено что вариации сопротивления Земли и количество землетрясений в год за последние 35 лет особенно хорошо коррелируют в зоне сочленения двух Европейских плит. Землетрясения выбирались в радиусе 500 км вокруг места зондирования с магнитудой более 3 баллов. Оказалось, что в 99 % случаев глубины гипоцентров этих землетрясений не превышают 40 км, т.е. находятся в земной коре.

Выводы

Таким образом, именно непроводящую кору можно рассматривать как источник многолетних вариаций кажущихся сопротивлений Земли. Этот результат хорошо совпал с необъяснённым расхождением в показаниях двух методов индукционных зондирований как раз на периодах, соответствующих земной коре.

Анализ более широкого экспериментального материала вдоль профиля от Британских островов до Камчатки не противоречит выводам, сделанным по данным Европейских обсерваторий. Однако он уточняет зоны повышенной сейсмической активности в Сибири и, конечно, выдвигает новые проблемы в интерпретации результатов.

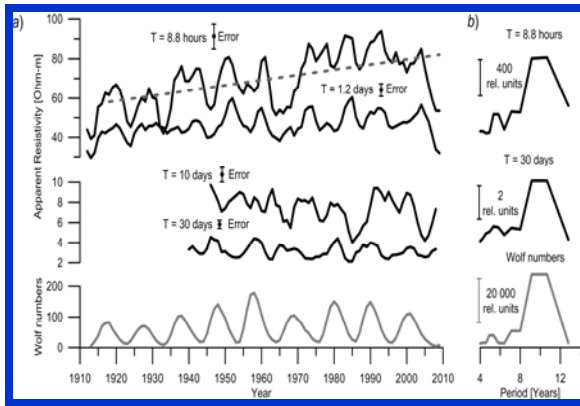


Рис. 1. Пространственно-временная корреляция кажущихся сопротивлений в Европе для обсерваторий ESK-CLF-NGK полученных с использованием разных источников полей и их сравнение с числами Вольфа (слева). Спектры вариаций (справа)

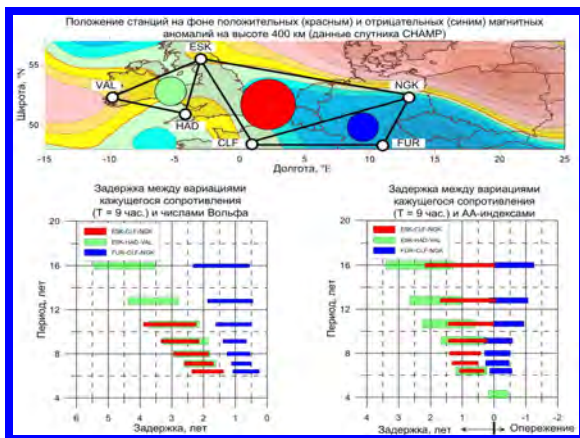


Рис. 2. Геомагнитные обсерватории в Европе и места зондирования (цветные кружки) внутри соответствующих треугольников с обсерваториями по углам. Фазовые сдвиги между кажущимися сопротивлениями и числами Вольфа (слева), а также с АА индексами (справа)

Природа вариаций кажущегося сопротивления в среде может быть связана с сейсмoeлектрическим эффектом, имеющим две разновидности: (1) – изменение электрических параметров среды под действием сейсмического поля и (2) — возникновение в ней процессов, порождающих электромагнитное поле [Светов, 2007]. Эффекты

известны с середины прошлого столетия [Иванов, 1940, 1949]. Например, после падения Тунгусского метеорита в 1908 году оставалась без объяснения магнитная буря в регионе длившаяся 3,5 часа от момента его падения [Рахматулин, 2006].

Литература

Гульельми А.В., Гохберг М.Б. О магнитотеллурическом зондировании в сейсмоактивных районах // Физика Земли. – 1987. – 33, № 11. – С. 122-123.

Иванов А.Г. Сейсмoeлектрический эффект 1 рода в приэлектродных областях // Доклады АН СССР, 1949. – 68. – С. 53-56.

Иванов А.Г. Сейсмoeлектрический эффект 2 рода в приэлектродных областях // Изв. АН СССР, География и геофизика, 1940. – 5. – С. 699-727.

Климкович Т.А. Особенности временных изменений аномального магнитного поля и векторов индукции в Закарпатском сейсмоактивном прогибе // Автореферат диссертации. – 2009. Институт Геофизики им. Субботина НАН Украины, Киев.

Ладановский Б.Т., Семёнов В.Ю., Логвинов И.М. Методика магнитовариационного зондирования мантии Земли в диапазоне 10^4 - 10^5 с // Геофизический журнал, 2010. – № 3, Т. 32 – С. 50-59.

Петрищев М.С., Семёнов В.Ю. Новые данные о временной изменчивости результатов глубинных магнитовариационных зондирований // Геодинамика. – 2011. – № 2(11). – С. 238-240.

Рахматулин Р.А. Аппаратно-Программный комплекс ИСЗФ СО РАН для синхронного мониторинга электромагнитных полей в высоких и средних широтах. 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: История и современное состояние. Материалы. Международный семинар (Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г.). – Екатеринбург. – 2006. – С. 166-170.

Светов Б.С. Основы геоэлектрики – Москва: Из-во ЛКИ. – 2007. – 647 с.

Maksymchuk, Geomagnetic monitoring in the Transcarpathians // The 3-nd Anniversary symposium GeObMag Sulari national geomagnetic observatory “Liviu Constantinescu”, Bucharest, Romania, 16-18 October 2008. – P. 14.

Petrishchev M.S., Semenov V.Yu. Secular variations of the Earth’s apparent resistivity // Earth and Planetary Science Letters. – 2013. – 361. – P. 1-6.

Semenov V.Yu., Shuman V.N. Impedances for induction soundings of the Earth’s mantle // Acta Geophysica. 2010. – 58. – № 4. – P. 527-542.

Shuman V., Kulik S. The fundamental relations of impedance type in general theories of the electromagnetic induction studies // Acta Geophys. Polon. – 2002. V. 50. – № 4. – P. 607-618.

Vojar J., Semenov V.Yu. Compatibility of induction methods for mantle soundings // J.G.R. – 2010. V. 115. B03101.

**ВПЛИВ МІНЛИВОСТІ ЗОВНІШНІХ ТА ВНУТРІШНІХ ДЖЕРЕЛ МАГНІТНИХ ПОЛІВ
НА РЕЗУЛЬТАТИ ІНДУКЦІЙНИХ ЗОНДУВАНЬ**

В.Ю. Семєнов, М.С. Петріщев

Індукційні зондування використовують варіації двох іоносферних і одного магнітосферного джерел, які індукують електричні струми в провідній Землі. Однак, зміни геометрії джерел або їх зміна під час спостережень призводять до змін імпедансу. Ці зондування реєструють наявність внутрішніх джерел магнітних полів лише опосередковано пов'язаних з глибинністю досліджень. Цікаво, що ця мінливість в опорах Землі виявляється суттєвою, особливо для сейсмічно активних регіонів. У даній статті розглядаються перераховані вище ефекти.

Ключові слова: індукційні зондування; моніторинг електропровідності.

**EFFECT OF VARIATION OF EXTERNAL AND INTERNAL SOURCES OF MAGNETIC FIELD
ON THE RESULTS OF INDUCTION SOUNDING**

V.Yu. Semenov, M.S. Petrishchev

The induction soundings are based on variations of the external magnetic fields due to inducing currents in the conductive Earth. However changing of the source positions relatively the Earth can essentially change the sounding results. Besides this, the induction soundings fix the long period internal sources which are weakly connected with the skin depth of soundings. It turned out, that this effect in the Earth resistivity can be big enough especially for seismically active regions in Europe. These effects are considered in the present work.

Key words: induction soundings; conductivity monitoring.

¹*Институт геофизики Польской АН, Warsaw, Poland*

Надійшла 01.08.2013

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской АН*