

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЛУБИННЫХ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Приведены новые данные об изменчивости кажущегося сопротивления и двух градиентов импеданса (аналогов индукционных векторов) определённых синхронно для регионов в центральной Европе и на Дальнем Востоке. Исследования проведены на базе нового подхода к определению импедансных связей в магнитовариационном зондировании. Региональные результаты обладают общими свойствами изменений кажущихся сопротивлений и различаются характером градиентов импеданса в разных регионах. Наблюдается их сильная изменчивость во время магнитных бурь.

Ключевые слова: временные вариации импеданса; градиенты импеданса.

Передаточные функции между компонентами вариаций геомагнитного поля \mathbf{A} и \mathbf{B} являются важными характеристиками дающими возможность фиксировать неоднородности строения геологических сред. Их обычно определяют в виде функций частоты и места наблюдения, называют «типперы» и оценивают обе из эмпирического соотношения Визе-Паркинсона:

$$H_z = \mathbf{A} \cdot \mathbf{H}_x + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}_y,$$

где H_x , H_y и H_z – спектры трёх наблюдаемых компонент магнитного поля. Для наглядности представления эти комплексные типперы преобразуют в индукционные вектора, строя два вектора на их действительных $C_u = \{\text{Re}\mathbf{A}; \text{Re}\mathbf{B}\}$ и мнимых $C_v = \{\text{Im}\mathbf{A}; \text{Im}\mathbf{B}\}$ частях. При этом самим типперам приписывают направления тех компонент поля, на которые они умножаются в приведённом выражении. Эти действия приносят несомненную пользу на практике, поскольку вектор C_u указывает направление от проводящего объекта в Земле.

В последнее десятилетие появилось много публикаций о временной изменчивости индукционных векторов (напр. Tregubenko et al., 2000; Кузнецова и др, 2005; Maksymchuk et al., 2008; Климович, 2009), что не всегда удаётся связать со столь быстрыми изменениями в геологической среде. Одной из возможных причин таких трудностей может быть использование представленной выше формулы, не лишённой недостатков. Так, например, модель Тихонова-Каньяра для горизонтально однородной Земли и падающего на неё плоского поля, используемая для магнитотеллурических зондирований (МТЗ), не предусматривает появления вертикальной компоненты магнитных вариаций. Для интер-претации таких результатов необходима модель, учитывающая неоднородности, как среды, так и поля источника. Такое импедансное соотношение между компонентами магнитного поля и его производными на границе непроводящей (воздух) и проводящей, слабо неоднородной (земля) сред, с падающей не плоской волной уже было предложено. Для коротких периодов это работы Рытова [1940], Леонтовича [1948], Гульельми и Гохберга [1987], а для длинных периодов – Шумана [1999], [Shuman & Kulik, 2002], [Schmucker, 2003]:

$$i\omega\mu H_z \approx \zeta \cdot \text{div}\mathbf{H}_r + \mathbf{H}_r \cdot (\text{grad}\zeta), \quad (1)$$

где \mathbf{H}_r – спектр горизонтальной компоненты магнитного поля, а $\zeta(\omega, r)$ – импеданс глубинных магнитовариационных зондирований (МВЗ) Земли [Semenov & Shuman, 2010]. Математическое моделирование на сфере показало, что импеданс ζ не только совпадает с импедансом МТЗ над латерально-однородной средой, но и наиболее близок к нему над средой неоднородной [Vozar & Semenov, 2010]. Это выражение использовалось нами для анализа исходных данных с последующим расчётом кажущихся комплексных сопротивлений ($\rho = \zeta^2/i\omega\mu$) и градиентных аналогов типперов ($\mathbf{A} = \text{grad}_x \zeta/i\omega\mu$ и $\mathbf{B} = \text{grad}_y \zeta/i\omega\mu$). Представление этих типперов в виде векторов индукции C_u и C_v разъясняет их физический смысл: это градиенты реальной и мнимой частей функции отклика $C = \zeta/i\omega\mu$.

Соотношение (1) было сначала использовано для анализа минутных данных трёх геомагнитных обсерваторий Японии с кодами (КАК, ММВ, КНУ) и трёх обсерваторий центральной Европы с кодами (FUR, NGK, BEL), наблюдаемых в течение января 2011 года. Мониторинг указанных величин осуществлялся скользящим окном длиной ≈ 23 дня с шагом 5 мин. Лишь достоверные (оцененные по критериям когерентностей) результаты обработки принимались во внимание. Величины сопротивлений и векторов относились ко времени середины анализируемого интервала данных и к центру каждой группы обсерваторий. В результате были зафиксированы вариации кажущихся сопротивлений в обоих регионах. Заметим, что поправки за сферичность Земли не вводились, а суточные осцилляции поля удалялись. Регулярные вариации кажущихся сопротивлений были обнаружены как в Европе, так и в Японии с периодом ≈ 3 часа. Таким образом, наблюдаемый эффект представляется нам глобальным и не является следствием каких-либо промышленных помех.

По результатам мониторинга аналогичным образом за 2000 год выявлено соответствие максимальных значений кажущихся сопротивлений мировым магнитным бурям. Анализ временных интервалов без сильных магнитных бурь и с ними показал, что изменения в фазах

сопротивлений не столь значительны как в их модулях (рис. 1).

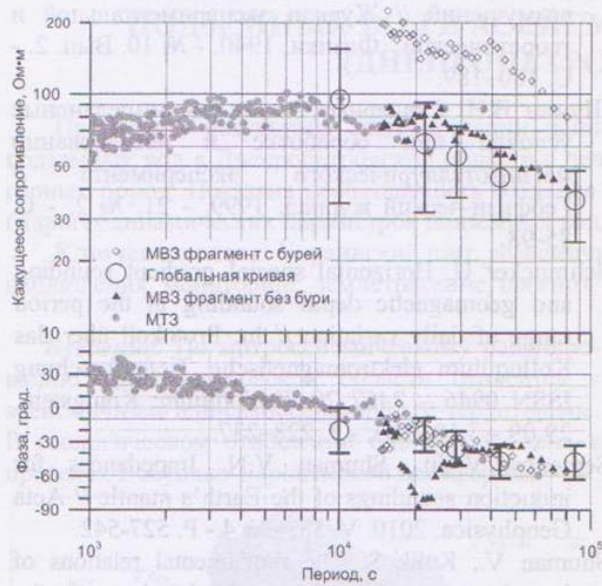


Рис. 1. Совмещенная кривая MT и MB зондирований для обсерватории BEL. Смещение оценок модуля сопротивления MB3 во время магнитной бури.

Исходя из представлений о постоянстве во времени геоэлектрических свойств Земли (исключения наблюдались в сейсмоактивных зонах) была исследована связь зафиксированных вариаций кажущихся сопротивлений с внешними источниками поля. Сопоставление изменений модуля сопротивления MB3 с глобальными Кр и АЕ индексами позволило выявить их достаточно сильную корреляцию в Европейском регионе, чего нельзя сказать о регионе на Дальнем Востоке.

Представление результатов мониторинга в виде динамического спектра кажущегося сопротивления зафиксировало наличие довольно продолжительных временных интервалов записей, значительно отличающихся от соседних интервалов. Нелинейный спектральный анализ этих данных показал, что гипотеза о передаче энергии по спектру для периодов менее часа не противоречит наблюдаемым данным, что согласуется с гипотезой А.В. Гульельми (2009) о возможной кажущейся нелинейности в MT3.

Далее была оценена динамика вариаций индукционных векторов градиентного типа по минутным данным 2000 года двух близлежащих групп обсерваторий (FUR-HRB-BEL и FUR-CLF-WNG) в Европейском регионе по аналогичной методике. На рис. 2 отчетливо видны аномальные участки изменений градиентных векторов индукции весьма схожие для обеих групп обсерваторий. Спектрально-временной анализ позволяет выделить аномальную область этих векторов, на периодах менее 6 часов. Интересно, что начало формирования этой области

прослеживается примерно за 5 суток до установления новой отчетливой картины, и она остаётся устойчивой примерно 5-6 суток. Перестройку индукционных векторов можно ассоциировать с геомагнитной бурей (рис. 2). Сопоставление этих изменений с сейсмоактивностью региона не показало их корреляции с землетрясениями в регионе.

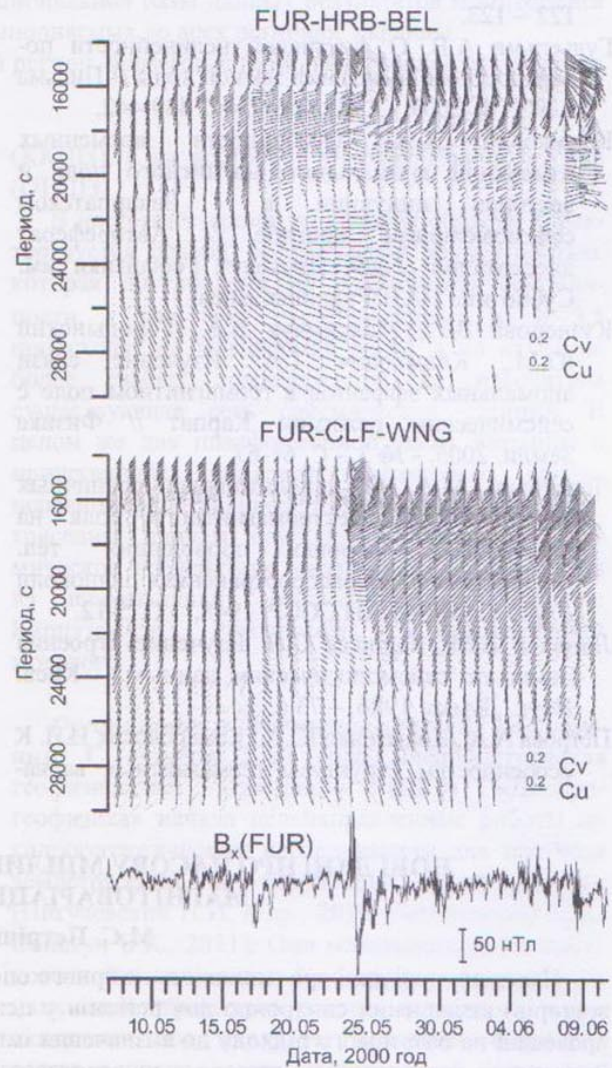


Рис. 2. Спектрально-временное распределение индукционных векторов для двух групп обсерваторий Европейского региона.

Используя соотношения между электрическим и магнитным полем через импеданс Z в MT3: $E_x/Z \approx H_y$ и $-E_y/Z \approx H_x$ нетрудно получить, что

$$\text{div} H_r \approx -Z^{-1} \cdot \text{rot}_2 E = \mu Z^{-1} \cdot \partial H_z / \partial t.$$

Это означает, что величины в выражении (1) могут содержать переменную во времени составляющую, связанную, например, со скоростью изменения вертикальной компоненты поля в пространстве (учитывая вращение Земли). С другой стороны, выделенный $\approx 3-4$ -х часовой период вариаций характерен для свободных колебаний ядра Земли [Петрова и др., 1999], т.е. эти вариации поля могли бы иметь сейсмо-гравитационное

происхождение внутри Земли. О них известно [Линьков, Типисев, 1986], что они имеют планетарный характер, и стабильный набор колебаний с изменчивыми во времени амплитудами.

Литература

- Гульельми А.В., Гохберг М.Б. О магнитотеллурическом зондировании в сейсмоактивных районах // Физика Земли. 1987. – 33, № 11. – С. 122 – 123.
- Гульельми А.В. О фиктивной нелинейности поверхностного импеданса земной коры // Письма в ЖЭТФ. 2009. - Т. 89. - № 7. - С. 439-442.
- 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.
- Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е., Городинский Ю.М., Климкович Т.А. Изучение связи аномальных эффектов в геомагнитном поле с сейсмическим режимом Карпат // Физика Земли. 2005. - № 3. - С. 61-67.
- Леонтович М.А. О приближенных граничных условиях для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел. Исследования по распространению радиоволн // М.; Л.: изд-во АН СССР. 1948, - С. 5-12.
- Линьков Е.М., Типисев С.Я. Изучение строения Земли по сейсмологическим данным. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 73 с.
- Петрова А.А., Копытенко Ю.А., Комаровских Н.И. К особенностям структуры геомагнитных вариаций, сопровождающих землетрясения // Геомагнетизм и аэрономия. 1999. Т. 39. № 5. С. 136-139.
- Рытов С.М. Расчёт скин-эффекта методом возмущений // Журнал экспериментальной и теоретической Физики. 1940. - № 10. Вып. 2. - С. 180–189.
- Шуман В.Н. Скалярные локальные импедансные условия при обработке и истолковании магнитотеллурического эксперимента // Геофизический журнал. 1999, - 21, № 2. - С. 85-98.
- Schmucker U. Horizontal special gradient sounding and geomagnetic depth sounding in the period range of daily variation // In: Protokoll über das Kolloquium elektromagnetische Tiefenforschung ISSN 0946 – 7467 20. Kolloquium: Königstein. 29.09 – 3.10.2003. - P. 228–237.
- Semenov V.Yu., Shuman V.N. Impedances for induction soundings of the Earth's mantle // Acta Geophysica. 2010. V. 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.
- Tregubenko V.I., Galuk A.A., Kavun D.E., Prikhodchenko D.E. Anomalous behavior of transfer functions of geomagnetic field at Zmeiny Island before the disastrous earthquake in Turkey, 17.08.1999 // IWSE2000, Tokyo, Japan, 19-22.09.2000, P1-38.
- Vozar J., Semenov V.Yu. Compatibility of induction methods for mantle soundings // J.G.R. 2010. V. 115. B03101.

НОВІ ДАНІ ПРО ЧАСОВУ МІНЛИВІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЛИБИННИХ МАГНІТОВАРІАЦІЙНИХ ЗОНДУВАНЬ

М.С. Петришев, В.Ю. Семенов

Наведено нові дані про мінливість позірного опору і двох градієнтів імпедансу (аналогів індукційних векторів) визначених синхронно для регіонів у центральній Європі і на Далекому Сході. Дослідження проведені на базі нового підходу до визначення імпедансних зв'язків у магнітоваріаційному зондуванні. Регіональні результати мають загальні властивості змін позірних опорів і розрізняються характером градієнтів імпедансу в різних регіонах. Спостерігається їх сильна мінливість під час магнітних бур.

Ключові слова: часові варіації імпедансу; градієнти імпедансу.

NEW DATA ABOUT VARIABILITY OF THE DEEP MAGNETOVARIATION SOUNDING RESULTS

M. Petrishchev¹, V. Semenov²

The new data are introduced about time-variability of impedances (apparent resistivity) and two its gradients (some analogs of the induction arrows) estimated simultaneously for two separated regions (Central Europe and Far East). The investigations were based on the new approach using estimations of impedances from new relationship for the magnetovariation soundings. The obtained results are characterized by the common property: the periodic variations of apparent resistivities at both regions. The difference of those results can exist in properties of the induction arrows. The possible causes of the observed phenomenon are discussed.

Key words: time-variations of impedance; gradients of impedance.

¹Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург

²Инстит Геофизики Польской Академии Наук, г. Варшава