

УДК 550.837.211

*Т. А. Родина<sup>^1</sup>, Ив. М. Варенцов<sup>^2</sup>, Е. В. Мойланен<sup>^1</sup>, П. Ю. Пушкарев<sup>^1</sup>,  
Н. Л. Шустов<sup>^1</sup>, А. Г. Яковлев<sup>^1,3</sup>*

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ «АЛЕКСАНДРОВКА»

***Аннотация.** Уже почти пять лет на базе МГУ в д. Александровка Калужской области функционирует геофизическая обсерватория. Запись вариаций магнитотеллурического поля ведётся с помощью обсерваторского магнитометра LEMI-025 и низкочастотных станций LEMI-417M. Изучается корреляция низкочастотных вариаций электромагнитного поля с солнечной активностью. Получаемые в результате обработки записей разных лет компоненты тензора импеданса и матрицы Визе – Паркинсона совпадают с высокой точностью, а также хорошо согласуются с результатами более короткопериодных зондирований с аппаратурой MTU-5. Сводная кривая магнитотеллурического зондирования и выполненного ранее в обсерватории «Москва» магнитовариационного зондирования позволила получить геоэлектрический разрез осадочного чехла, земной коры и верхней мантии.*

***Ключевые слова:** геомагнитная обсерватория, магнитотеллурическое зондирование.*

**Об авторах:**

<sup>^1</sup> Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва.

<sup>^2</sup> ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Москва.

<sup>^3</sup> ООО «Северо-Запад», Москва.

*T. A. Rodina, Iv. M. Varentsov, E. V. Moilanen, P. Yu. Pushkarev, N. L. Shustov,  
A. G. Yakovlev*

## SOME RESULTS OF MAGNETOTELLURIC OBSERVATIONS IN «ALEXANDROVKA» GEOPHYSICAL OBSERVATORY OF MSU

***Abstract.** Geophysical observatory is operating at MSU base in Alexandrovka village of Kaluga region for almost five years. Magnetotelluric field variations are recorded by observatory magnetometer LEMI-025 and low-frequency stations LEMI-417M. We are studying correlation between low-frequency variations of electromagnetic field and solar activity. We also processed the data, recorded during different years, to obtain impedance tensor and tipper matrix components, and their coincidence is high, as well as the coincidence with results of short-period soundings with MTU-5 equipment. Interpretation of the consolidated curve of magnetotelluric sounding and magnetovariational sounding, performed previously at the “Moscow” observatory, provided resistivity variation with depth in the sedimentary cover, earth’s crust and upper mantle.*

***Keywords:** geomagnetic observatory, magnetotelluric sounding.*

Геофизическая база в д. Александровка Юхновского района Калужской области была основана в 1960 г. сотрудниками лаборатории электроразведки ВНИИГеофизики. Выбор места был обусловлен удаленностью от электрифицированных железных дорог, крупных населённых пунктов и других источников электромагнитных помех, а также относительной близостью к Москве и Наро-Фоминску. С 1992 г. на базе проводятся геофизические практики студентов МГУ и других вузов, а с 1995 г. база используется

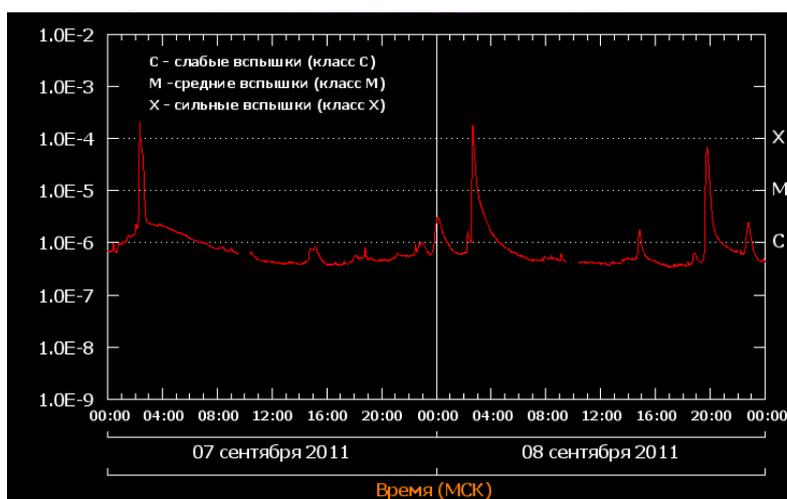
также компанией «Северо-Запад» для развития аппаратуры и методики электроразведочных работ, проведения научно-практических семинаров.



**Рис. 1. Павильон геофизической обсерватории МГУ «Александровка»:**  
слева – внешний вид, справа – отсек для датчиков

В начале 2011 г. на базе завершилось строительство немагнитного павильона для обсерваторских геофизических наблюдений, состоящего из двух отсеков – для датчиков и для регистрирующей аппаратуры (рис. 1). В нём установлена аппаратура для непрерывной регистрации геофизических полей, в том числе обсерваторский трёхкомпонентный магнитометр LEMI-025 и низкочастотные магнитотеллурические станции LEMI-417М производства Львовского центра ИКИ НАНУ и НКАУ. Магнитные компоненты поля измеряются с помощью феррозондовых датчиков, электрические – с помощью линий длиной 100 м, заземлённых разными типами электродов [1].

Для примера на рис. 2 приведены графики интенсивности рентгеновского излучения, зафиксированного геостационарным спутником GOES-15 и связанного с солнечной активностью, а на рис. 3 – записи магнитных и электрических компонент поля, полученные в геофизической обсерватории «Александровка». Сильные вспышки на Солнце, имевшие место 7 и 8 сентября 2011 г., вызвали магнитную бурю на Земле, начавшуюся 9 сентября и резко осложнившую графики электромагнитного поля, отражавшие в основном его суточные вариации.



**Рис. 2. Рентгеновское излучение 7 и 8 сентября 2011 г.  
по данным спутника GOES-15**

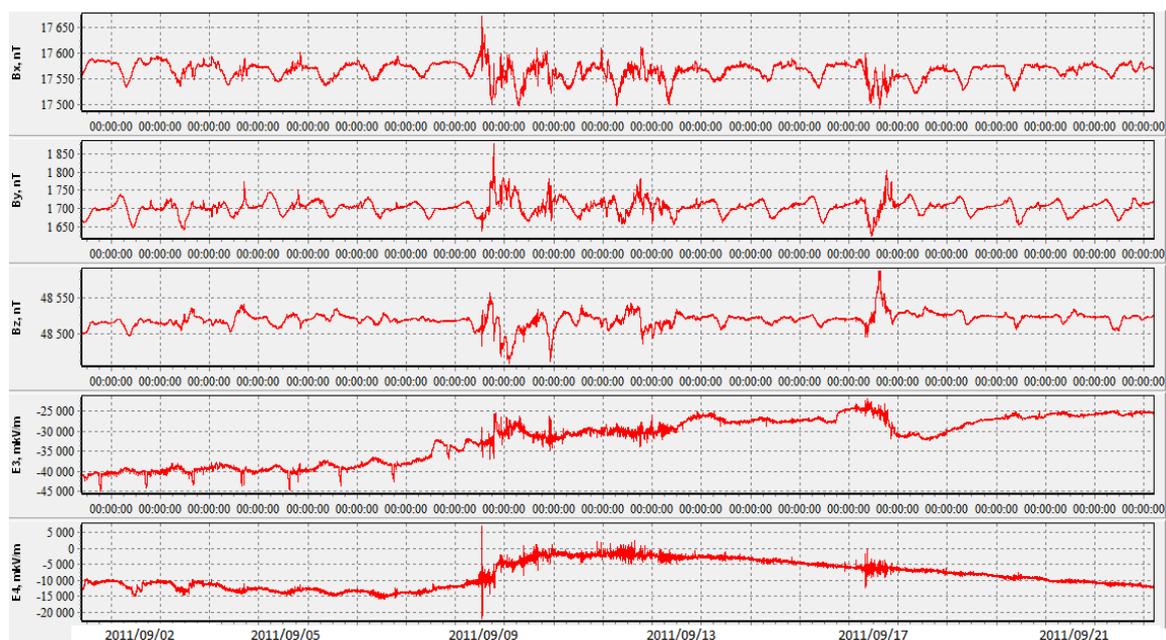


Рис. 3. Магнитные и электрические компоненты поля, зарегистрированные в обсерватории «Александровка» с 1 по 22 сентября 2011 г.

Записи магнитотеллурического поля, выполненные в 2011–2014 гг., были обработаны с помощью программы [2].

На рис. 4 и 5 представлены кривые кажущегося сопротивления и фаз основных компонент тензора импеданса в направлениях измерения (X – на север, Y – на восток), построенные по фрагментам записей, относящимся к четырём годам. В диапазоне периодов от 100 до 10 000 секунд кривые почти не отличаются, за исключением небольшого статического смещения, скорее всего связанного с изменением условий заземления электрических линий. Дополнительные импедансы более изменчивы, но по величине более чем на порядок уступают основным.

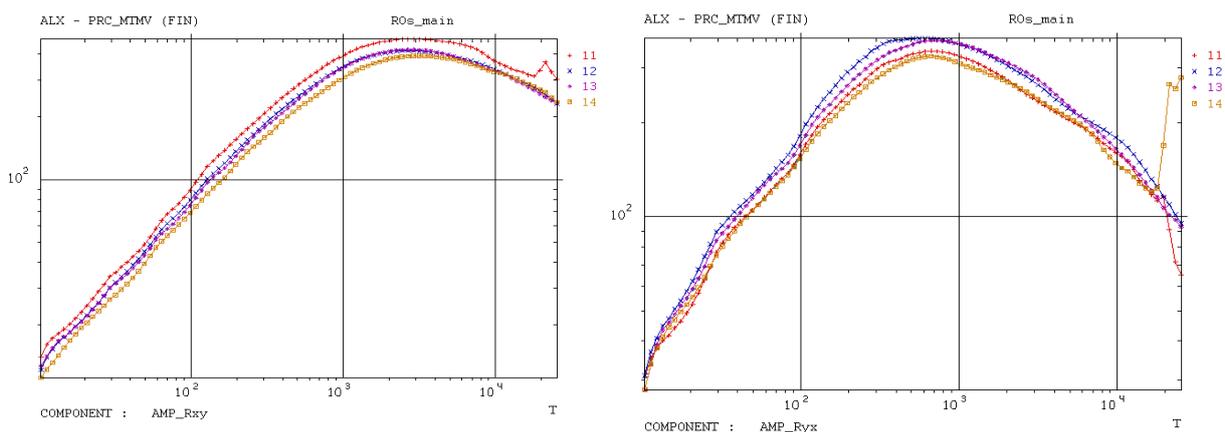


Рис. 4. Кривые кажущегося сопротивления за 4 года: слева –  $\rho_{xy}$ , справа –  $\rho_{yx}$

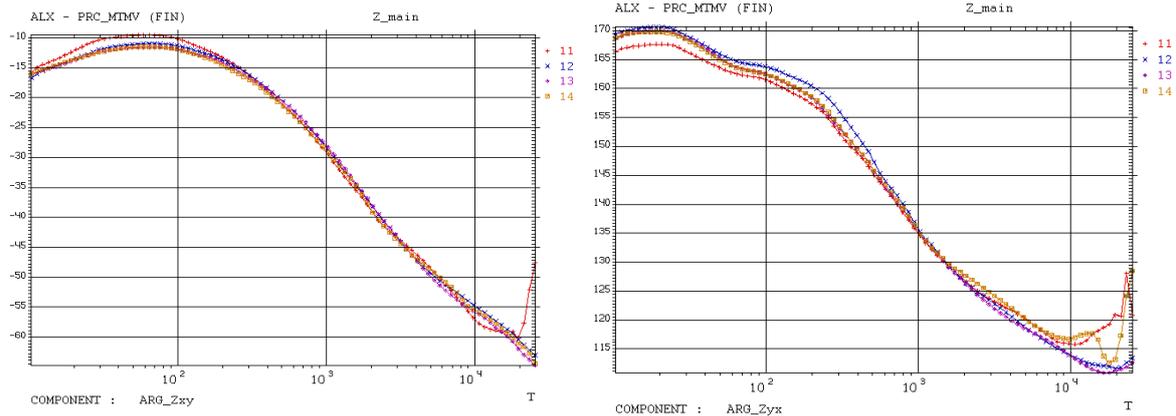


Рис. 5. Кривые фазы импеданса за 4 года: слева –  $\varphi_{xy}$ , справа –  $\varphi_{yx}$

На рис. 6 и 7 приведены частотные зависимости вещественных и мнимых частей компонент матрицы Визе – Паркинсона, они также обладают высокой стабильностью во времени. Ввиду ограниченного объёма, на рисунках приведены только результаты, полученные с использованием станции LEMI-417M № 63, однако аналогичные кривые, полученные с помощью станции LEMI-417M № 62, а также компоненты матрицы Визе – Паркинсона, полученные с помощью магнитометра LEMI-025 № 09, отличаются несущественно [3].

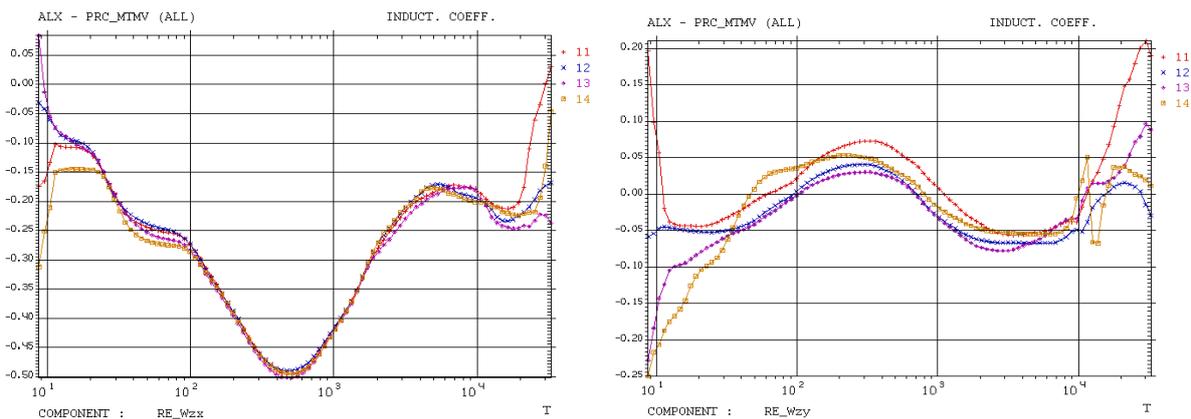


Рис. 6. Реальные компоненты матрицы Визе – Паркинсона: слева  $Re(W_{zx})$ , справа –  $Re(W_{zy})$

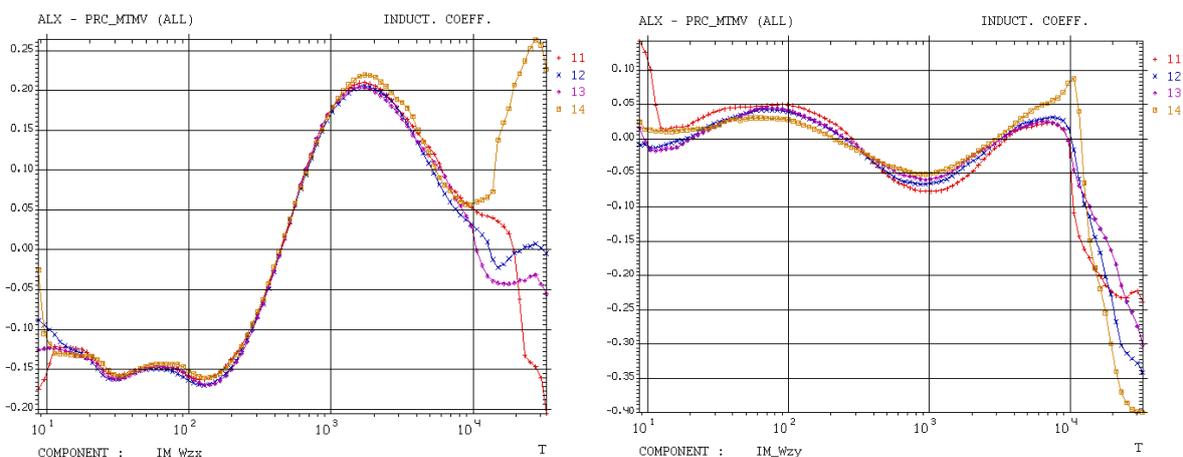


Рис. 7. Мнимые компоненты матрицы Визе – Паркинсона: слева –  $Im(W_{zx})$ , справа –  $Im(W_{zy})$

В диапазоне периодов от 100 до 1 000 секунд и более построенные кривые очень хорошо совпадают с кривыми, построенными ранее по результатам измерений с аппаратурой MTU-5 производства компании Phoenix Geophysics (Торонто), приведёнными в работе [4].

Эффективные кривые кажущегося сопротивления и фазы импеданса были дополнены в области длинных периодов соответствующими кривыми магнитовариационного зондирования, построенными В. Ю. Семеновым для обсерватории ИЗМИРАН «Москва» [5]. Интерпретация сводных кривых МТЗ-МВЗ выполнена с помощью трёх алгоритмов, её результаты представлены на рис. 8. В консолидированной коре проводящие слои не видны, хотя по алгоритму D+ выявлен проводник (160 См) на глубине порядка 65 км, возможно, являющийся проявлением относительно низкоомных горизонтов нижней коры, находящихся на меньших глубинах. Астеносферный проводник проявляется на глубинах порядка 200 км, а на 700 км виден также среднемантийный проводник [6].



Рис. 8. Результаты 1D-инверсии кривой МТЗ-МВЗ: решение по алгоритму D+ показано стрелками с указаниями проводимостей, по Оссам – сплошной, по MSU\_MTI1D – пунктирной линиями

Авторы признательны своим коллегам В. К. Хмелевскому, В. А. Куликову и А. Ю. Палёнову за усилия, увенчавшиеся созданием на геофизической базе МГУ «Александровка» геофизической обсерватории. Мы также благодарны Программе развития МГУ за предоставленные станции LEMI и компании «Северо-Запад» за создание павильона для обсерваторских геофизических наблюдений.

### Библиографический список

1. Шустов Н. Л. Создание геофизической обсерватории на Александровской базе геофизических практик геологического факультета МГУ (Калужская область) / Н. Л. Шустов, В. А. Куликов, Е. В. Мойланен [и др.] // Вестник Московского университета. – Серия 4 (Геология). – 2012. – № 4. – С. 44–48.
2. Варенцов Ив. М. Программная система PRC\_MTMV для обработки данных синхронных МТ/МВ-зондирований / Ив. М. Варенцов // Материалы VI Всероссийской школы-семинара по ЭМ зондированиям им. М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна. – Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 2013. – С. 1–4.

3. Родина Т. А. Магнитотеллурический мониторинг в Александровской геофизической обсерватории. Магистерская работа / Т. А. Родина. – М., 2015. – 48 с.

4. Алексанова Е. Д. Электромагнитные зондирования осадочного чехла и консолидированной земной коры в зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе: проблемы и перспективы / Е. Д. Алексанова, Ив. М. Варенцов, М. И. Верещагина [и др.] // Физика Земли. – 2010. – № 8. – С. 62–71.

5. Semenov V. Yu. Regional conductivity structures of the Earth's mantle / V. Yu. Semenov. – Warszawa : Publ. Inst. Geof. Pol. Acad. Sci., 1998.

6. Moilanen J. Induction sounding of the Earth's mantle at a new Russian geophysical observatory / J. Moilanen, P. Yu. Pushkarev. – Acta Geophysica. – 2015. – Vol. 63. – No. 2. – Pp. 385–397.



УДК 550.83

*В. В. Спичак<sup>^1</sup>, И. А. Безрук<sup>^1</sup>, А. Г. Гойдина<sup>^1</sup>, М. В. Захарченко<sup>^1</sup>*

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ИНВЕРСИИ ПРОФИЛЬНЫХ ТЕНЗОРНЫХ И ПЛОЩАДНЫХ СКАЛЯРНЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

***Аннотация.** В работе предложен новый метод построения объемных геоэлектрических моделей по совокупности площадных скалярных МТ-данных и тензорных МТ-данных, заданных на текущем профиле. Разработанный алгоритм успешно опробован при построении 3D-модели сопротивления в окрестности участка регионального профиля I-СБ в Восточной Сибири. Построенная модель свободна от искажений поведения удельного сопротивления с глубиной, характерных для объемных моделей, построенных только по архивным скалярным МТ-данным, или двумерных моделей, построенных с помощью инверсии профильных тензорных МТ-данных. Предложенный подход может быть использован не только для переинтерпретации архивных скалярных МТ-данных, но и для рационального планирования региональных магнитотеллурических зондирований в будущем.*

***Ключевые слова:** магнитотеллурические зондирования, региональные профили, архивные данные.*

***Об авторах:***

*<sup>^1</sup> Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН, Троицк.*

*V. V. Spichak, I. A. Bezruk, A. G. Goydina, M. V. Zakharchenko*

## A METHOD OF CONSTRUCTING THREE-DIMENSIONAL GEOELECTRIC MODELS BASED ON THE COMBINED INVER- SION OF CORE TENSOR AND AREAL SCALAR MAGNETOTEL- LURIC DATA

***Abstract.** In this paper we propose a new method of constructing volumetric resistivity models for the aggregate areal scalar and tensor MT data set on transcurrent profile. The developed algorithm is successfully tested in the construction of 3D models of resistance in the I-SAT regional profile area neighborhood in Eastern Siberia. The constructed model is free of distortion of behavior of resistivity with depth typical for three-dimensional models based only on archival scalar magnetotelluric data or two-dimensional models constructed using the inversion of profile tensor MT data. The proposed approach can be used not only for the re-interpretation of archival scalar magnetotelluric data, but also for rational planning of regional magnetotelluric soundings in the future.*