

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОМЕРНОЙ ИНВЕРСИИ ГЛУБИННЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ УКРАИНЫ

Излагается методика и результаты определения геоэлектрических параметров мантии Земли на территории между  $52^{\circ}$  и  $47.5^{\circ}$ с.ш.,  $21^{\circ}$  и  $31^{\circ}$ в.д. на основе одномерной инверсии обобщенных кривых зондирования. Обобщенные кривые построены путем сочленения кривых глубинных магнитотеллурических зондирования в отдельных пунктах площади с кривыми магнитовариационного зондирования, полученными с использованием спокойных солнечно-суточных вариаций и Dst- вариаций на геомагнитных обсерваториях Киев и Львов.

**Ключевые слова:** электропроводность; мантия Земли

Перед методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) возникают большие трудности при изучении глубинного геоэлектрического строения Земли. Методическим препятствием метода МТЗ на пути геоэлектрических исследований мантии Земли (а в осадочных бассейнах и консолидированной земной коры) служит экранирование глубинных объектов проводниками в земной коре, расположенных как вблизи, так и на значительном расстоянии от пункта наблюдения.

Наиболее сложным является определение меры искажения МТ-поля. Гальванические искажения МТ-поля приводят к статическому смещению амплитудных кривых МТЗ. Для исключения этого эффекта кривые МТЗ нуждаются в нормализации.

В настоящей работе, учет гальванических искажений заключается в восстановлении нормального положения низкочастотных ветвей кривых МТЗ, отражающих электропроводность нижних частей тектоносферы. Предполагается, что на глубинах, превышающих 300 км горизонтальные изменения электропроводности должны быть малыми и кривые зондирования, полученные на площадях сопоставимых по размерам с этой глубиной, должны сливаться на периодах больших трех часов. Поэтому для исследования геоэлектрического разреза земной коры и верхней мантии региональные МТЗ необходимо комплексировать с глубинными МТЗ (ГМТЗ), наблюдения на которых позволяют получить кривые МТЗ на периодах более часа. Необходимым условием построения обобщенных кривых зондирования является совпадение фазовых кривых импеданса, полученных из данных МТЗ и магнитовариационного зондирования (МВЗ).

Это важное правило основывается на том факте, что между кажущимся сопротивлением и фазой импеданса ( $\varphi(\omega_0)$ ) существует дисперсионное соотношение второго рода [Бердичевский, Дмитриев, 2009]. В работе [Ваньян и др., 1961] показано, что основное влияние на величину  $\varphi(\omega_0)$  имеют значения логарифмической производной в непосредственной близости к  $\omega_0$  (значение частоты, для которой определяется фаза).

Существование дисперсионного соотношения второго рода для двумерных и трехмерных моделей многие годы проверяется и находится много примеров, когда оно нарушается. Л.Л.Ваньян предложил итерационную процедуру [Бердичевский, Дмитриев, 2009], которая позволяет добиться существования кажущегося сопротивления и фазы импеданса, связанных друг с другом преобразованием Гильберта.

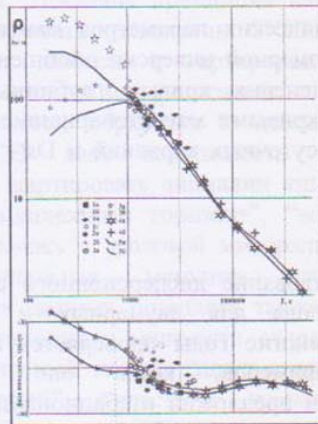
В настоящей работе для моделирования используются данные разных авторов, зачастую не представленные в главных направлениях импеданса. Известно, что при наличии сильных неоднородностей проводимости в недрах Земли значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса сильно зависят от ориентации измерительных линий. Все кривые МТЗ были проанализированы с учетом этого факта и для интерпретации использованы только те кривые МТЗ, для амплитуд и фаз которых выполняется дисперсионное соотношение второго рода.

Наиболее простой способ определения геоэлектрических параметров среды – одномерная инверсия (1D). В работе используется инверсия OCCAM [Constable et al., 1987], которая заключается в подборе плавно изменяющихся по проводимости конечного числа слоев, аппроксимирующих экспериментальные данные. Инверсия OCCAM большой вес придает значениям фаз импеданса. Таким образом с помощью этого метода не только определяются геоэлектрические параметры среды, но и проверяется существование кажущегося сопротивления и фазы импеданса, связанных друг с другом преобразованием Гильберта.

Для инверсии использовались обобщенные кривые зондирования, построенные путем совмещения кривых МТЗ в отдельных пунктах с кривыми МВЗ на опорных пунктах. Результаты первого опыта использования такой комбинации для украинских обсерваторий с использованием данных МТЗ из аналоговых наблюдений приведен в работах [Semenov et al., 1996].

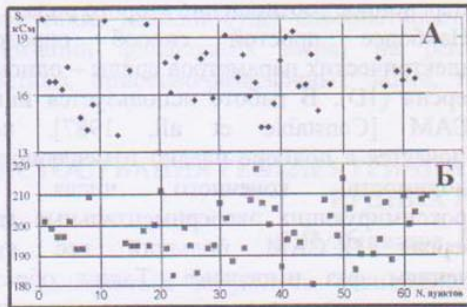
Для построения обобщенных кривых на отдельных пунктах в первую очередь было необходимо построить обобщенные кривые на опорных пунктах, в качестве которых были взяты

геомагнитные обсерватории Киев и Львов. Обсерватория Киев может выступать в качестве опорной для пунктов расположенных на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП), а Львов – для Карпатского региона (КР).



**Рис. 1.** Сопоставление обобщенных кривых зондирований с одномерной инверсией методом OCCAM в обсерваториях Киев (5а) и Львов (5б).

Экспериментальные данные: 1а - по методу обобщенного МВЗ; 1б, 2а - по данным проекта SEMES (для ВЕП и Карпатского региона, соответственно); 1в - по данным пары KIV-Бвц; 2б - по данным пары LVV-МОР и по профилю PREPAN-95; по данным [Olsen, 1998] для KIV (1г) и LVV (2в); кривые ГМТЗ для KIV (3а) и LVV (3б); МВЗ по  $D_{st}$  вариациям для KIV (4а) и LVV (4б).



**Рис. 2.** Значения  $S_{\Sigma}$  на глубинах 600 км (А) и 740 км (Б).

На рис.1 приведен результат одномерной инверсии обобщенных кривых зондирований для обсерваторий KIV и LVV, полученных путем сочленения данных ГМТЗ [Semenov et al., 2008], различных модификаций метода пространственных градиентов [Olsen, 1998; Logvinov, 2002; Ладановский и др., 2010] и МВЗ по  $D_{st}$  вариациям [Semenov, 1998]. Для диапазона периодов  $S_{\Sigma}$  вариаций значения  $\rho_k$  и фазы импеданса определялись как среднегеометрическое для всех данных. Модельные данные лучше всего согласуются с результатами по методу

обобщенного МВЗ (для амплитуд и фаз которых наилучшим образом выполняется дисперсионное соотношение второго рода).

Для дальнейшего анализа были взяты приведенные обобщенные кривые МВЗ. В качестве экспериментальных кривых ГМТЗ использовались данные из [Ингерев, 1989; Трегубенко и др., 1989, 1994; Ладановский и др., 2005; Ладановский, Лящук, 2006] и полученные сотрудниками ИГФ НАН Украины [Гордиенко и др., 2005, 2011]. В результате соблюдения всех методических требований оказалось, что обобщенные кривые зондирований с минимальным разрывом между данными ГМТЗ (принимались в расчет только ГМТЗ с периодами более 7200 с) и МВЗ можно построить приблизительно в 70 пунктах на территории ВЕП и 20 – на территории КР.

На первом этапе было проанализировано изменение параметров наиболее общего для всей ВЕП проводящего слоя на глубинах более 600 км [Semenov, 1998; Semenov et al., 2008]. Оказалось, что представление геоэлектрических параметров разреза в виде распределения интегральной проводимости ( $S_{\Sigma}$ ) с глубиной наиболее соответствует погрешностям, которые вносят в конечный результат используемые данные. Интегральная проводимость вычисляется в виде суммы  $S$  всех слоев до рассматриваемой глубины.

На рис.2 представлены значения  $S_{\Sigma}$  на глубинах 600 и 740 км в пунктах расположенных на территории Вольно-Подольской плиты и Украинского щита. Значения  $S_{\Sigma}$  в обсерватории Киев на этих глубинах составляют 16.5 и 203 кСм [Semenov et al., 2008], соответственно. На рис.2 проведены линии значений  $S_{\Sigma}$  соответствующие 20% отклонению от такового для обсерватории Киев на глубине 600 км и 5% отклонению на глубине 740 км.

Как видно из рисунка на более чем 80 % пунктов зондирований отклонение  $S_{\Sigma}$  не превышает 20% на глубине 600 км и 5% на глубине 740 км. Для дальнейших построений распределения геоэлектрических параметров были взяты результаты только в тех пунктах, где погрешность определения  $S_{\Sigma}$  не превышала указанные значения.

Этот факт дает основание считать, что геоэлектрические параметры на глубинах меньших 600 км тоже могут быть признаны определенными с погрешностью порядка 20 %.

### Литература

- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. - М., Научный мир, 2009. - 680 с.
- Ваньян Л.Л., Кауфман А.А., Терехин Е.И. Расчет фазовых кривых частотного зондирования способом трансформации // Прикладная геофизика. М. : Гостоптехиздат, 1961. – Вып.30. – С.103-114.

- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Украинский щит (геофизика, глубинные процессы). - К.: Корвін прес. - 2005. - 210с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Украинские Карпаты (геофизика, глубинные процессы). - К.: Логос. - 2011. - 128 с.
- Ингертов А.И. Результаты изучения кристаллического фундамента Украинского щита электромагнитными зондированиями. Автореф. дис. к. геол.-мин. наук. Днепропетровск, 1989.- 16 с.
- Ладанівський Б.Т., Лящук Д.Н. Геоелектрична модель південно-західної околиці Східно-Європейської платформи вздовж профіля РП-5 Глибока – Кельменці//Доповіді НАН України, 2006.— № 5.— С. 99—104.
- Ладанівський Б.Т., Лящук Д.Н., Сапужак Я.С., Чебан В.Д. Геоелектрична модель зони зчленування Передкарпатського прогину та Східно-Європейської платформи вздовж профіля РП-4а Косів–Мельниця–Подільська//Доповіді НАН України, 2005.— № 5.— С.99—104.
- Ладанівський Б.Т., Семенов В.Ю., Логвинов И.М. Методика магнитовариационного зондирования мантии Земли в диапазоне периодов  $10^4$ - $10^5$  с // Геофиз. Журн, 2010. Т.32. № 3.-С.50-59.
- Трегубенко В.И., Мегель Г.В., Горняк З.В., Василенко В.А. Результаты площадной съемки МТЗ м-ба 1:2500000 в западной части Украины // Киев: Геоинформ, 1994. - 210с.
- Трегубенко В.И., Финчук Л.Л., Белошапская Н.В. Результаты региональных работ методом МТЗ северо-западной части УССР//Киев: УТГФ, 1989. - 130 с.
- Adam A., Ernst T., Jankowski J., Jozwiak W., Hvozدارa M., Szarka L., Westergom V., Logvinov I., Kulik S. Electromagnetic induction profile (PREPAN95) from the East European Platform (EEP) to the Pannonian basin//Acta Geod. Geoph. Hung. —1997.—32(1-2). — P. 203—223.
- Ernst T., Jankowski J., Jozwiak W., Lefeld J., Logvinov I. Geoelectrical model along a profile across the Tornquist-Teisseyrezone in southeastern Poland//Acta Geophysica Polonica -2002. - Vol. 50, No. 4 - P.505-515.
- Constable S.C., Parker R.L., Constable C.G. Occam's inversion: a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data//Geophysics,1987.-52.-P.289-300.
- Logvinov I.M. Estimating Deep Electrical Conductivity in Ukraine and around its region by the Horizontal Spatial Gradient Method//Acta Geoph. Polonica, 2002.-Vol. 50, No 4 - P.567-573.
- Olsen N. The electrical conductivity of the mantle beneath Europe derived from C-responses from 3 to 720 hr//Geophys. J. Int, 1998. -133. -P.298-308.
- Logvinov I.M. Estimating Deep Electrical Conductivity in Ukraine and around its region by the Horizontal Spatial Gradient Method//Acta Geoph. Polonica, 2002. -Vol.50, No.4.-P.567-573.
- Semenov V.Yu. Regional conductivity structures of the Earth's mantle//Publish. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc, 1998. - C-65(302). -122 p.
- Semenov V.Yu., Kulik S.N., Logvinov I.M. Estimations of the geoelectrical structure of the mantle in Ukraine//ДНАН України, - №12. - P.134-137.
- Semenov V.Yu., Pek J., Adam A., Jozwiak W.,Ladanyvsky B., Logvinov I., Pushkarev P.,Vozar J. Electrical structure of the upper mantle beneath Central Europe: Results of the CEMES project//Acta Geoph.,2008.-v.56, N 4. -P. 957-981

## РЕЗУЛЬТАТИ ОДНОВИМІРНОЇ ІНВЕРСІЇ ГЛИБИННИХ МАГНІТОТЕЛУРИЧНИХ ЗОНДУВАНЬ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

I.M. Логвінов

Викладена методика і результати визначення геоелектричних параметрів мантиї Землі на території між  $52^{\circ}$  і  $47.5^{\circ}$  пн.ш.,  $21^{\circ}$  і  $31^{\circ}$  сх.д. на основі одновимірної інверсії узагальнених кривих зондувань. Узагальнені криві побудовані шляхом зчленування кривих глибинних магнітотелуричних зондувань в окремих пунктах площі з кривими магнітоваріаційного зондування, отриманими з використанням спокійних сонячно-добових варіацій і Dst- варіацій на геомагнітних обсерваторіях Київ і Львів.

**Ключові слова:** електропровідність; мантия Землі

## RESULTS OF 1 D INVERSION OF DEEP MAGNITOTELLURIC SOUNDINGS ON TERRITORY OF WESTERN UKRAINE

I.M. Logvinov

A method and results of determination of geoelectric parameters of mantle of Earth is expounded on territory between  $52^{\circ}$  and  $47.5^{\circ}$  с.ш.,  $21^{\circ}$  and  $31^{\circ}$  в.д. on the basis of unidimensional inversion of the generalized crooked soundings. The generalized curves are built by the coarticulation of the crooked deep magnetotelluric soundings in the items of area with by the curves of the магнитовариационного sounding, got with the use of quiet daily sun-allowance variations and Dst- of variations on the geomagnetical observatories of Kiev and Lviv.

**Keywords:** conductivity, mantle of Earth.