



<http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2016.07.078>

УДК 550.837.211(477.7)

И. М. Логвинов, В. Н. Тарасов, **В. Н. Трегубенко**

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев

E-mail: [anna\\_log@ukr.net](mailto:anna_log@ukr.net)

## Геоэлектрическая модель зон сочленения Скифской плиты с Восточно-Европейской платформой и Горным Крымом

*(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)*

*Методом двумерной инверсии данных магнитотеллурических зондирований впервые определены геоэлектрические параметры земной коры и верхней мантии зоны сочленения Скифской плиты с прилегающими к ней с севера Восточно-Европейской платформой (ВЕП) и с юга — Горным Крымом. Высказано обоснованное предположение о существовании в исследуемом регионе двух проводящих объектов, один из которых является продолжением Кировоградской аномалии электропроводности, другой имеет широтное простиранье и явно может быть отнесен к зоне сочленения ВЕП и Скифской плиты.*

**Ключевые слова:** электропроводность, геоэлектрические разрезы, Южно-Украинская моноклиналь, Скифская плита, Горный Крым.

Результаты геоэлектрических исследований последних лет с использованием цифровой аппаратуры нового поколения на территории юга Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Крыма позволяют перейти к построению модели земной коры и верхов мантии этого региона.

Сотрудниками производственных организаций Украины в конце 20 века были построены карты суммарной продольной проводимости осадочных отложений ( $S_{oc}$ ) всей южной части Украины [1–4]. Карты построены на основании данных каротажа, результатов исследований методами искусственных электрических полей и региональных магнитотеллурических зондирований (РМТЗ). Данные РМТЗ в основном получены в диапазоне периодов, не позволяющих исследовать геоэлектрические параметры пород, подстилающих осадки. В работе [5] было выполнено обобщение известных карт  $S_{oc}$  Центральной Украины с учетом

© И. М. Логвинов, В. Н. Тарасов, В. Н. Трегубенко, 2016

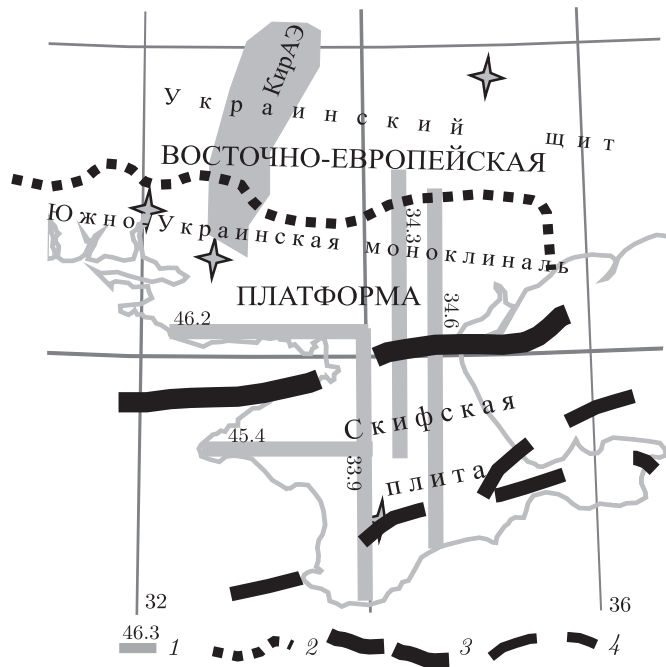


Рис. 1. Карта расположения интерпретационных профилей (1). Тектоническая основа по [8]. Границы: УЩ и ЮУМ (2); Скифской плиты с ВЕП (3), Горным Крымом и Индоло-Кубанским прогибом (4)

результатов, полученных сотрудниками Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины и Украинского государственного геологоразведывательного института.

Целью настоящей работы было построение геоэлектрической модели земной коры и верхов мантии в регионе Скифской плиты и прилегающих к ней с севера ВЕП (Южно-Украинской моноклинали (ЮУМ)) и Горного Крыма с юга (рис. 1).

**Экспериментальные данные.** Для построения глубинной модели были использованы данные магнитотеллурических зондирований (МТЗ) в частотном диапазоне от 1–16 с до периодов более 2000 с [2, 3, 6, 7]. Такой диапазон периодов обеспечивает проникновение магнитотеллурического поля на глубины, превышающие мощную толщу хорошо проводящих осадков ЮУМ и Каркинитско-Северокрымского прогиба, примыкающего к ЮУМ с юга. Для интерпретации использовались данные МТЗ, полученные с помощью цифровой аппаратуры разных поколений. Возможности применяющихся программ обработки в период наблюдений до 2000 г. [2–4] не позволили получить данные МТЗ, полностью удовлетворяющие современным требованиям. Поэтому на некоторых профилях моделирования геоэлектрические параметры недр определены с высокой погрешностью. Согласно принятой методике интерпретации обязательным условием отбора кривых МТЗ является наличие фазы импеданса.

**Методика исследований.** Интерпретация экспериментальных данных выполнена по программе двумерного моделирования (обратная задача) — с использованием алгоритма REBOSS [7]. Особенностью методики применения программы REBOSS было использование ключей программы инверсии, что позволяло учитывать реальное наличие экспериментальных данных для каждого интерпретационного параметра, в каждом пункте и на каждом периоде. В результате получены геоэлектрические параметры недр с кондиционной оценкой погрешности. Детально методика использования программы описана в [8].

На черноморском побережье Украины и в западной части Крыма возможно продолжение региональной Кировоградской аномалии электропроводности (КирАЭ) [8], имеющей квазимеридиональное простирание (см. рис. 1). В связи с этим необходимо было провести моделирование на серии широтных профилей, чтобы определить возможное продолжение КирАЭ. На серии меридиональных профилей, пересекающих сочленение Скифской плиты с прилегающими тектоническими регионами, оценивалось влияние КирАЭ на параметры МТЗ и наличие аномально проводящих объектов широтного простирания.

Для интерпретации экспериментальные пункты в полосе шириной 15–20 км были снесены на линии профилей моделирования, аббревиатура которых дана в географических координатах. Длина меридиональных профилей составила порядка 200 км (см. рис. 1). Два профиля (34.3 и 34.6) начинаются от северного борта ЮУМ и пересекают Скифскую плиту. Пр33.9 пересекает всю Скифскую плиту и оканчивается в Горном Крыму на побережье Черного моря. Северный широтный Пр46.2 длиной около 200 км начинается от меридиана Николаева на западе. Южный широтный Пр45.4 проходит в самой широкой части Скифской плиты на территории Крыма (западный край находится на оконечности Тарханкутского полуострова). В восточном направлении Пр45.4 и южное продолжение Пр34.3 ограничиваются электрифицированной железной дорогой, помехи от которой, к сожалению, не дают возможности получить кондиционные данные МТЗ.

Данные геоэлектрических исследований, полученные в указанном частотном диапазоне, и длина профилей позволяют обосновано строить геоэлектрические модели до глубин 70–90 км. Для составления первоначальной интерпретационной модели на всех профилях использовалась априорная геолого-геофизическая информация.

*Априорная информация.* Для определения геоэлектрических параметров консолидированной земной коры и мантии необходимо как можно точнее учесть геоэлектрические параметры поверхностных отложений (т. е. всех пород до кристаллического фундамента) как континентальной части Украины, так и Черного моря. С учетом результатов работ [5, 9] были вычислены значения продольного сопротивления ( $\rho_l = N_{oc}/S_{oc}$ , где  $N_{oc}$  — мощность поверхностных отложений вдоль интерпретационных профилей). Полученные значения  $N_{oc}$  и  $\rho_l$  были закреплены в стартовых моделях.

**Результаты 2D моделирования.** На основании результатов моделирования было выявлено несколько объектов пониженного сопротивления (ОПС). Для оценки геоэлектрических характеристик ОПС использовалась величина интегральной проводимости объекта  $G = \Sigma Q/\rho$  (где  $Q$  — площадь поперечного сечения блока пород постоянного сопротивления, м<sup>2</sup>;  $\rho$  — сопротивление блока пород, Ом · м). Программы моделирования дают плавные изменения сопротивлений в модели, что затрудняет определение реальных размеров ОПС. Основное влияние на величину  $G$  ОПС оказывают мощные по интегральной проводимости проводники, поэтому на результирующих рисунках геоэлектрических моделей не показаны участки с сопротивлений ( $\rho$ ) более 40 Ом · м, вклад которых в величину  $G$  составляет менее 10%.

Геоэлектрические разрезы вдоль широтных профилей, на которых должны проявиться проводящие объекты квазимеридионального простирания, представлены на рис. 2, а. В интервале 33–34° на обоих профилях выделяется проводящий объект О1, положение которого дает основание отнести его к продолжению региональной КирАЭ, которая на территории ВЕП коррелирует с Ингулецко-Криворожско-Крупецкой шовной зоной. Интегральная проводимость объекта резко уменьшается при перемещении на юг. На территории как ВЕП (Пр46.2), так и Скифской плиты (Пр45.4) основная часть О1 в контурах  $\rho$  менее 40 Ом · м

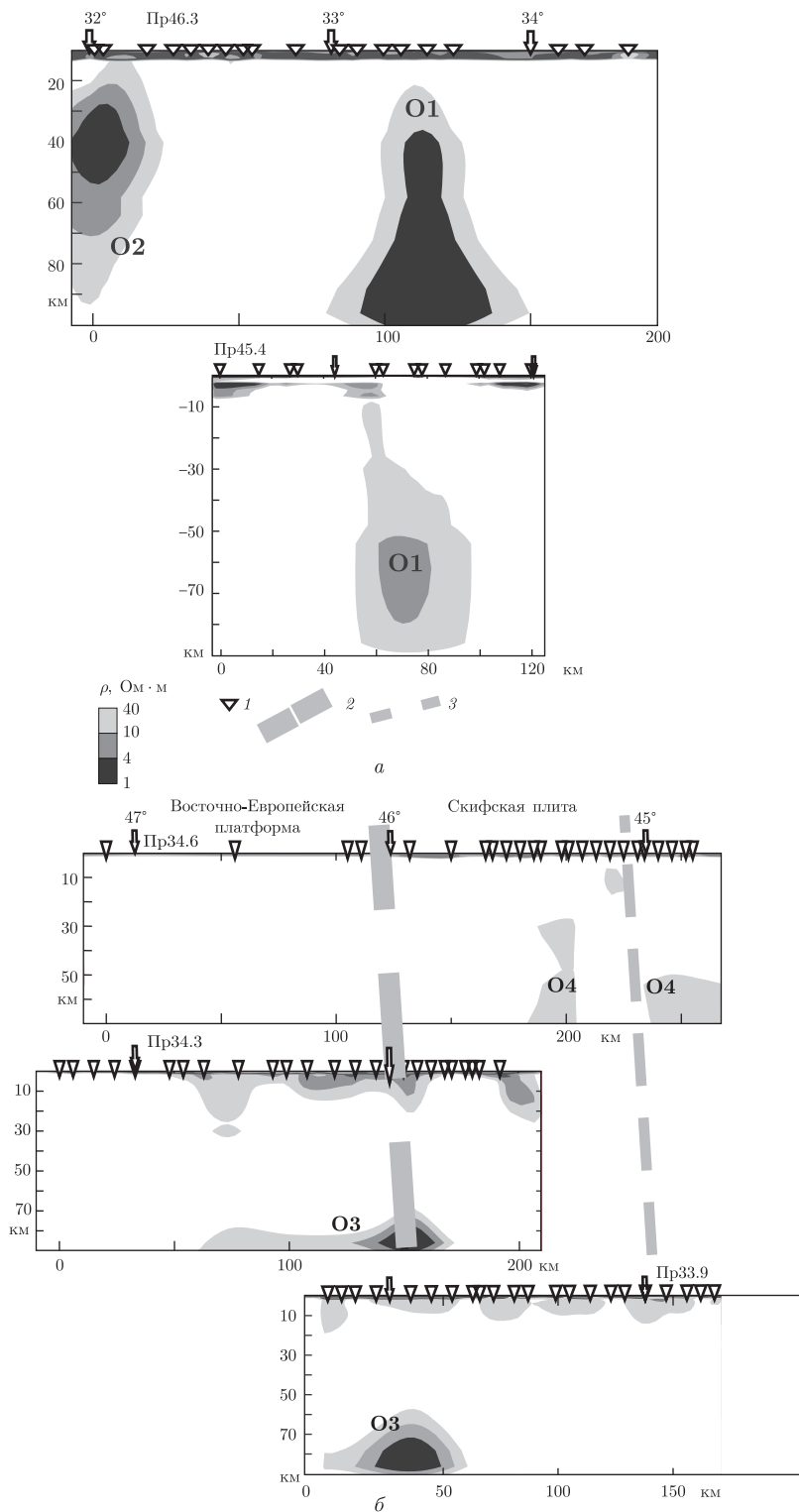


Рис. 2. Геоэлектрические модели вдоль широтных (а) и меридиональных (б) профилей. 1 — пункты МТЗ; 2, 3 — границы: Скифской плиты с ВЕП (2) и Горным Крымом (3)

располагается в интервале глубин 30–90 км. Крайние два пункта на восточном конце Пр46.3 отстоят почти на 30 км от предыдущих пунктов, что не позволяет определить кондиционные геоэлектрические параметры разреза в районе 34° в. д. Выделение объекта О2 сомнительно: оно основано на данных моделирования практически в одном пункте, расположенном на берегу моря; подобный объект не выделяется на широтном профиле 46.7 [8]; особенности программы моделирования часто приводят к выделению проводящих объектов на краях модели.

Полученное положение КирАЭ в рассматриваемом регионе указывает на ее влияние на результаты моделирования на близко расположенных меридиональных профилях. Индукционное влияние КирАЭ может обнаруживаться в виде ложных минимумов на амплитудных кривых МТЗ, что может быть проинтерпретировано как проявление проводящего объекта. Если бы такой ОПС наблюдался вдоль всего протяжения меридиональных профилей, его можно было бы определить как боковое влияние КирАЭ. При этом, с удалением от КирАЭ в восточном направлении, глубина до кровли такого ОПС должна увеличиваться.

Для подтверждения высказанного предположения необходимо было выполнить моделирование на меридиональных профилях, протягивающихся на как можно большие расстояния вдоль КирАЭ. К сожалению, отсутствие экспериментальных наблюдений не позволило провести моделирование вдоль Пр33.9 необходимой длины.

Как видно из рис. 2, б, на длинном Пр34.3 прослеживается проводящий объект почти на 100 км участке севернее края Скифской плиты, что может свидетельствовать об индукционном влиянии КирАЭ. Отсутствие ОПС на Пр34.6 в этом случае может объясняться большим расстоянием от КирАЭ. В то же время интегральная проводимость ОПС (О3) в зоне сочленения ВЕП и Скифской плиты, появляющегося на Пр33.9 и Пр34.3, во много раз превышает таковую в расположенном севернее проводнике. Учитывая сказанное, можно рассматривать О3 как самостоятельный объект широтного простирания, пространственно связанный с зоной сочленения ВЕП и Скифской плиты (см. рис. 2, б). Глубина центральной части О3 (около 80 км) и его горизонтальные размеры одинаковы на обоих профилях. Отсутствие подобного объекта на Пр34.6, возможно, связано с: окончанием объекта О3 в промежутке между Пр34.3 и Пр34.6; малой плотностью экспериментальных пунктов в рассматриваемой зоне; диапазоном данных МТЗ (1–900 с), не позволяющих уверенно моделировать геоэлектрические параметры на глубинах низов земной коры.

К сожалению, помехи от электрифицированных железных дорог, не позволяют уверенно судить о наличии ОПС в южной части Скифской плиты в зоне ее сочленения с Горным Крымом. На Пр34.6 в этой части плиты появляются малые по интегральной проводимости ОПС (О4) на глубинах более 30 км.

**Обсуждение.** Из анализа распределения ОПС по глубине видно, что центры проводников располагаются в верхней мантии. В региональном плане положение ОПС в пространстве позволяет предположить их связь с разломными зонами.

Объект КирАЭ на протяжении от 48° до Пр45.4 размещается в полосе, где выделяются разломы как древнего заложения, так и характеризующие современные зоны активизации (рис. 3) [9–11]. Часть разломных зон, выделенных на различных тектонических картах, перекрывается, ширина многих зон иногда больше 10 км. Зачастую расхождения положения разломных зон обусловлены картографическими причинами. Как видно из рис. 3, во многих случаях современные зоны активизации детально совпадают с древними структурными элементами, даже в случаях, когда последние перекрыты осадочным чехлом. Все указанные признаки свидетельствуют о генетической связи природы КирАЭ с современной



Рис. 3. Сопоставление объектов пониженного сопротивления (O2 и O3) с разломными зонами: 1 — активные в плиоцен-четвертичное время [10]; 2 — линейamentные зоны, активные в новейшее время (8 — Новгород-Северско-Новокаховская) [11]; 3 — по [9]: Западно-Ингулецкая (ЗИ), Херсонская (ХР), Криворожско-Кременчугская (КР), Центрально-Крымская (ЦКР), выделенные уверенно (а) и предположительно (б)

активизацией.

Выделение объекта O3 менее достоверно, и можно отметить его связь с зоной сочленения ВЕП со Скифской плитой. Глубина объекта также указывает на современный характер процессов, обуславливающих его пониженное сопротивление.

Таким образом, впервые методом двумерной инверсии определены геоэлектрические параметры зоны сочленения Скифской плиты с прилегающими к ней с севера ВЕП и с юга — Горным Крымом. Подытоживая полученные результаты, можно высказать обоснованное предположение о существовании в исследуемом регионе двух проводящих объектов — O2 и O3. Объект O2 принят нами за продолжение КирАЭ. Объект O3 пространственно может быть отнесен к зоне сочленения ВЕП и Скифской плиты и имеет широтное простираие. Сочленение этих двух объектов создает сложную суперпозицию магнитотеллурических полей и, соответственно, неизбежные ошибки при определении их геоэлектрических параметров способом двумерного моделирования. Для более правильного определения параметров необходимо проведение экспериментальных исследований на площади, перекрывающей всю зону сочленения ВЕП и Скифской плиты, и использование аппарата трехмерного моделирования.

Имеется недостаточно обоснованное на современном этапе указание на существование

ОПС в районе 35° в. д. в зоне сочленения Скифской плиты, Горного Крыма и Индоло-Кубанского прогиба.

## Цитированная литература

1. *Ingerov A. I., Rokityansky I. I., Tregubenko V. I.* Forty years of MTS studies in the Ukraine // *Earth Planet Space*. – 1999. – **51**. – P. 1127–1133.
2. *Ингеров А. И., Бугримов Л. П., Рокитянский И. И., Колдунов А. А.* Результаты региональных исследований МТЗ по изучению глубинного строения Юго-Восточной Украины. – Киев: Геоинформ, 1987. – 375 с.
3. *Рокитянский И. И., Креймер С. Г.* Магнитотеллурические зондирования на профиле Тарханкут–Керчь в Крыму // *Физика Земли*. – 1984. – № 2. – С. 115–125.
4. *Ингеров А. И., Бугримов Л. П., Колдунов А. А., Попов В. М., Рокитянский И. И.* Результаты электро-разведочных работ методом МТЗ и КМТЗ по изучению глубинного строения Крымско-Карпатского сейсмоактивного региона. – Киев: Геоинформ, 1993. – 210 с.
5. *Логвинов И. М.* Карта суммарной продольной проводимости осадочного чехла Центральной Украины // *Доп. НАН України*. – 2015. – № 11. – С. 66–74.
6. *Рокитянский И. И., Терешин А. В., Трегубенко В. И., Голубцова Н. С., Ингеров А. И., Савченко Т. С.* Обзор наблюдений МВП-МТЗ в южной части Кировоградской аномалии электропроводности и первый опыт пленочного моделирования структуры Украинского щита // *Геофиз. журн.* – 2012. – **34**, № 3. – С. 92–101.
7. *Siripunvaraporn W., Egbert G.* An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data // *Geophysics*. – 2000. – **65**, No 3. – P. 791–803.
8. *Логвинов И. М.* Геоэлектрические характеристики земной коры и мантии юго-запада Восточно-Европейской платформы и Карпат: Дис. . . до-ра геол. наук: 04.00.22. – Киев, 2012. – 306 с.
9. *Карта гипсометрии подошвы плитных комплексов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки)* / Ред. Н. А. Крылов. – 1: 1000000. – Москва: Мингео СССР, 1988.
10. *Національний атлас України*. – Київ: ДНВП "Картографія", 2007. – 440 с.
11. *Верховцев В. Г.* Новейшая тектоника Западного (Преддобруджского) сегмента Скифской плиты и прилегающих территорий // *Геофиз. журн.* – 2010. – **32**, № 3. – С. 29–42.

## References

1. *Ingerov A. I., Rokityansky I. I., Tregubenko V. I.* *Earth Planet Space*, 1999, **51**: 1127–1133.
2. *Ingerov A. I., Bugrimov L. P., Rokityansky I. I., Koldunov A. A.* Regional MTS research results on the study of the deep structure southeast Ukrainian, Kiev: Geoinform, 1987 (in Russian).
3. *Rokityansky I. I., Kremer S. G.* *Fizika Zemli*, 1984, No 2: 115–125 (in Russian).
4. *Ingerov A. I., Bugrimov L. P., Koldunov A. A., Popov V. M., Rokityansky I. I.* The results of electrical exploration by MTS and KMTS to study the deep structure of the Crimean-Carpathian seismically active regions, Kiev: Geoinform, 1993 (in Russian).
5. *Logvinov I. M.* *Dopov. NAN Ukraine*, 2015, No 11: 66–74 (in Russian).
6. *Rokityansky I. I., Tereshin A. V., Tregubenko V. I., Golubtsova N. S., Ingerov A. I., Savchenko T. S.* *Geofiz. zhurn.*, 2012, **34**, No 3: 92–101 (in Russian).
7. *Siripunvaraporn W., Egbert G.* *Geophysics*, 2000, **65**, No 3: 791–803.
8. *Logvinov I. M.* Geoelectrical parameters of the crust and mantle south-west of the East-European platform and Carpathians: Dis. . . d-ra geol. nauk: 04.00.22, Kiev, 2012 (in Russian).
9. *Map hypsometry sole plate complex southwest of the USSR (with the use of satellite imagery)*, Ed. N. A. Krilov, 1: 1000000, Moskow: USSR Ministry of Geology, 1988 (in Russian).
10. *National Atlas of Ukraine*, Kiev: DNVP "Kartographia", 2007 (in Ukrainian).
11. *Verkhovtsev V. G.* *Geofiz. zhurn.*, 2010, **32**, No 3: 29–42 (in Russian).

Поступило в редакцию 14.01.2016

І. М. Логвінов, В. М. Тарасов, В. І. Трегубенко

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ

E-mail: anna\_log@ukr.net

## Геоелектрична модель зон зчленування Скіфської плити з Східноєвропейською платформою і Гірським Кримом

*Методом двовимірної інверсії даних магнітотелуричних досліджень вперше визначено геоелектричні параметри земної кори і верхньої мантії зони зчленування Скіфської плити з прилеглими до неї з півночі Східноєвропейською платформою (СЄП) і з півдня — Гірським Кримом. Висловлено обґрунтоване припущення про існування в досліджуваному регіоні двох провідних об'єктів, один з яких прийнятий за продовження Кіровоградської аномалії електропровідності, інший — має широтне простягання і явно може бути віднесений до зони зчленування СЄП і Скіфської плити.*

**Ключові слова:** електропровідність, геоелектричні розрізи, Південоукраїнська монокліналь, Скіфська плита, Гірський Крим.

I. M. Logvinov, V. N. Tarasov, V. I. Tregubenko

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: anna\_log@ukr.net

## Geoelectric model of the junction zones of the Scythian plate with the East European platform and the Mountain Crimea

*Based on the method of two-dimensional inversion of the data of magnetotelluric studies, we have first identified geoelectric parameters of the crust and the upper mantle of the junction between the Scythian plates and the East European platform (EEP) adjacent to it on the north and the mountain Crimea from the south. A reasonable assumption about the existence of two conducting objects in the studied region is made. One of them is accepted to be the continuation of the Kirovograd electric conductivity anomaly. Another one has a latitudinal stretch and can be obviously attributed to the junction between EEP and Scythian plates.*

**Keywords:** conductivity, geoelectric section, South-Ukrainian monocline, Scythian plate, Crimea.