

Геоэлектрические параметры земной коры Днепро-Лабской зоны на территории Восточно-Европейской платформы по данным одномерной инверсии магнитотеллурических зондирований

© И. М. Логвинов, В. Н. Тарасов, 2010

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 29 апреля 2009 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

На основі одновимірної інверсії кривих МТЗ на площі від $48^{\circ} 40'$ до $50^{\circ} 40'$ півн. ш. і від 25° до 31° з. д. можна дійти висновку щодо розрізнення геоелектричної будови трансрегіональної Дніпро-Лабської зони та навколишніх територій. Зона відрізняється від навколишніх площ значним скупченням провідників у земній корі. Найяскравішим у межах зони є провідний горизонт у верхній частині земної кори в інтервалі глибин 6—20 км, простежений з перервами майже на 450 км уздовж простягання зони (від $25,8^{\circ}$ до $31,5^{\circ}$ сх. д.). Мінімальні опори горизонту відзначено у "гранітному" шарі в інтервалі глибин 3—11 км. На нечисленних пунктах глибинного МТЗ зафіксовано провідники у низах "базальтового" шару.

It is possible to draw a conclusion about the difference in geo-electric structure of the trans-regional Dnipro-Laba zone relative to the surrounding territories on the basis of one-dimensional inversion MTS curve on the area from $48^{\circ} 40'$ to $50^{\circ} 40'$ N and from 25° up to 31° W. The zone differs from the surrounding areas by significant aggregation of conductors in the crust. The conducting horizon is sharply revealed in the upper part of the crust at the depths of 6—20 km. It stretches discretely for 450 km along the zone (from $25,8^{\circ}$ up to $31,5^{\circ}$ E). The minimal resistances of the horizon are marked in the "granite" layer at the depths of 3—11 km. The conductors at the bottoms of a "basalt" layer are marked on the not numerous deep magnetotelluric sounding sites.

Введение. Известно, что система широтных зон разломов на УЩ более молодая по сравнению с диагональной системой: "... время ее заложения относится к концу палеопротерозоя — началу мезопротерозоя" [Алехин, Гинтов, 2004]. В пределах этих зон концентрируются различные минерагенические ассоциации. Одной из таких зон, привлекающих внимание специалистов, является трансрегиональная Днепро-Лабская (ДЛ) зона [Быстревская, Пашкевич, 1979]. На севере она граничит с активной на современном этапе развития линеаментной Яворовско-Волчанской (ЯВз) зоной [Верховцев, 2006]; на юге — с Хмельницкой (Хз) [Алехин, Гинтов, 2004; Гин-

тов, 2005]. Поэтому представляет интерес вопрос о связи перечисленных зон с их геоэлектрическими характеристиками.

Методика и используемые данные. Подбор параметров глубинного геоэлектрического разреза основывался на одномерной инверсии обобщенных кривых зондирования (инверсия Паркера [Parker, Whaler, 1981] (D + алгоритм) и инверсия OCCAM [Constable et al., 1987]). Методика интерпретации описана в предыдущих работах [Гордиенко и др., 2005; Логвинов, 2010].

Чтобы получить геоэлектрический разрез с верхних горизонтов "гранитного" слоя использовались региональные кривые МТЗ (РМТЗ),

для которых фазы импеданса были определены с периодов 1—10 с. Для исследования глубин более 20—30 км — кривые глубинного МТЗ (ГМТЗ), в которых есть данные на периодах, превышающих 1000 с. Таких кривых в материалах производственных организаций очень мало (в 14 пунктах, выполненных сотрудниками ИГФ НАН Украины, имеются кривые МТЗ до 10000 с).

В работе использованы результаты РМТЗ, полученные производственными организациями МинГео УССР под руководством А. И. Ингерова [Атлас ..., 2002; Дьяконова и др., 1986; Ингерова и др., 1987] и В. И. Трегубенко [Трегубенко и др., 1989; 1994], а также результаты ГМТЗ, полученные сотрудниками ИГФ НАН Украины [Гордиенко и др., 2005; Логвинов и др., 2009].

Для исследования отличий полосы (порядка 75 км) от 48° 40' до 50° 40' с. ш. и от 25° до 31° з. д., занятой тремя широтными зонами разломов, от окружающих областей были проанализированы кривые РМТЗ приблизитель-

но в 180 пунктах, которые крайне неравномерно распределены на исследуемой территории. Вся площадь была разбита на ячейки со сторонами 20° по долготе и 10° по широте. Всего оказалось 228 ячеек, в большинстве которых находился хотя бы один пункт наблюдений (рис. 1).

Результаты одномерной инверсии. Полученные в результате одномерной инверсии геоэлектрические параметры (глубина, суммарная продольная проводимость (S), мощность, удельное электрическое сопротивление) использованы при построении площадных моделей территории. В работе было принято традиционное деление земной коры на "гранитный" ($V_p < 6,4$ км/с), переходный или "диоритовый" ($V_p < 6,8$ км/с) и "базальтовый" ($V_p < 7,2$ км/с) слои.

Под слоем пониженного сопротивления понимается слой, если он фиксируется по значениям $S \geq 40$ См на основании инверсии D+ и имеет сопротивление (определяемое по инверсии OCCAM) не менее чем в три раза мень-

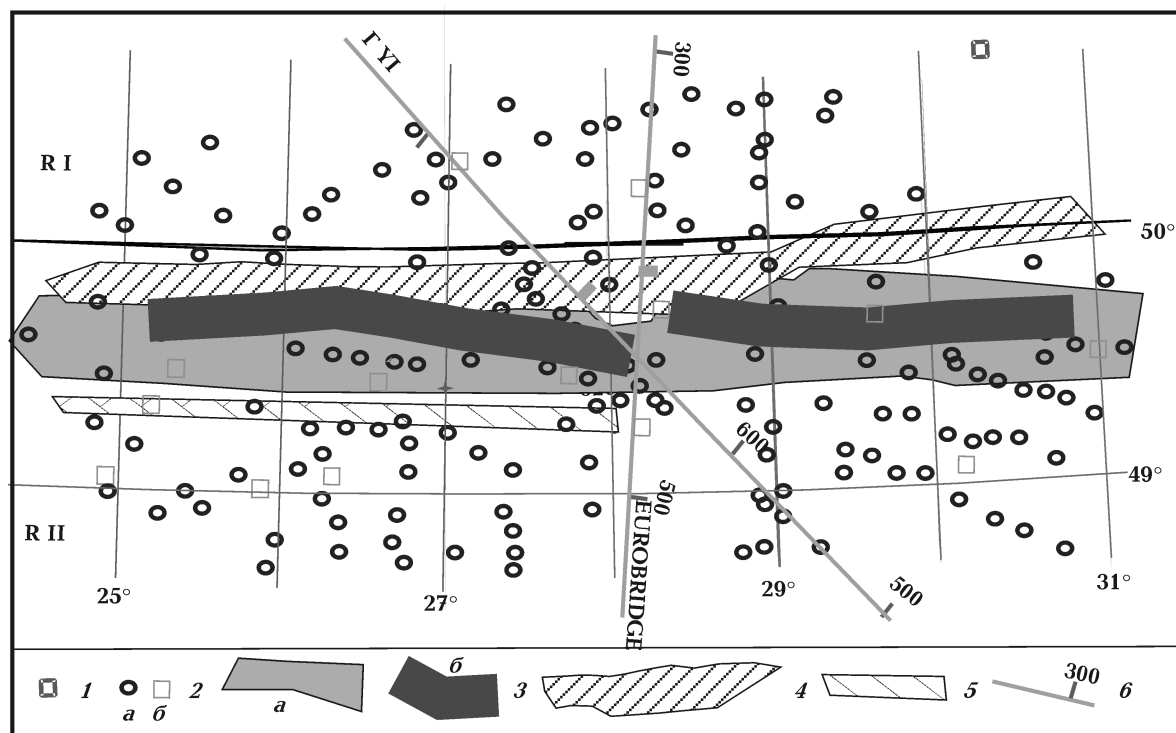


Рис. 1. Обзорная карта региона исследований: 1 — геомагнитная обсерватория Киев, 2 — расположение пунктов наблюдений (а — по [Дьяконова и др., 1986; Ингерова и др., 1987; Трегубенко и др., 1987; 1994], б — по данным авторов, 3 — Днепро-Лабская зона, выделенная по космическим снимкам [Быстревская, Пашкевич, 1979] (а) и ее ось (б), 4 — активная на современном этапе развития линейная Яворовско-Волчанская зона [Верховцев, 2006], 5 — межблоковая Хмельницкая широтная разломная зона [Гинтов, 2005], 6 — профили ГСЗ.

шее (т. е. < 200—300 Ом · м), чем вмещающие его породы.

Весь регион исследований был разбит на три площади (см. рис. 1). Первая площадь (RI) расположена севернее ЯВз до 50,4° с. ш. (общее количество пунктов 39), вторая (ДЛ) — между ЯВз и Хз (64 пункта), третья (RII) — южнее Хз до 48,2° с. ш. (60 пунктов).

Мощность "гранитного" слоя земной коры для площади RI изменяется от 9—10 км на севере до 15—16 км на юге; подошва промежуточного слоя залегает на глубине от 19—24 км на севере площади до 27—31 км на юге. На площади ДЛ мощность "гранитного" слоя изменяется от 13 до 16 км (северо-восточнее Винницы от 17 до 18 км); подошва промежуточного слоя — от 27—28 км до 30—33 км западнее 29,5° в. д. На площади RII подошва "гранитного" слоя залегает на глубине от 15 км до 17 км, а промежуточного слоя — на 30—33 км (в интервале между 30,5—31,5° в. д. на глубине 27—28 км).

В "гранитном" слое из 39 взятых для инверсий пунктов на площади RI проводники отсутствуют в 9 пунктах МТЗ-ВЗ и в 12 МТЗ-СЮ, причем амплитудно-фазовое согласие (афс) нарушено соответственно в 7 и 14 пунктах; из 64 пунктов на площади ДЛ — в 10 пунктах МТЗ-ВЗ и в 28 МТЗ-СЮ (афс нарушено в 9 и 17); на площади RII из 60 пунктов — в 11 пунктах МТЗ-ВЗ и в 34 МТЗ-СЮ (афс нарушено в 8 и 9 пунктах). В переходном слое проводники отсутствуют на площади RI в 18 пунктах МТЗ-ВЗ и в 16 МТЗ-СЮ; на площади ДЛ в 25 пунктах МТЗ-ВЗ и в 26 МТЗ-СЮ; на площади RII в 22 пунктах МТЗ-ВЗ и в 27 МТЗ-СЮ.

Общее количество пунктов, на которых выделяются проводники, и их пространственное расположение на всех площадях свидетельствуют о локальности проводников по площади. Поэтому будем называть выделяемые проводники термином — объект пониженного сопротивления (ОПС).

На первом этапе было проанализировано распределение ОПС со значениями $S > 40$ См по глубине для всех площадей (рис. 2). Судя по представленным данным в зоне ДЛ (по кривым МТЗ в обоих направлениях) выделяются слои в одинаковых интервалах глубин — до 5, 10—12, 17—19 и 28—31 км. Для остальных площадей такого совпадения интервалов глубин наличия проводников, выделенных по кривым МТЗ-ВЗ и МТЗ-СЮ, не наблюдается. Для площади RI выделяются слои на глубинах 5—8, 15—18 и 23—26 км; для RII — на глубинах 7—9, 14—15, 21—24 и 29—34 км. Видно, что по глубине залегания проводников все три площади несколько отличаются друг от друга.

В "гранитном" слое очень мало ОПС на площади RI, тогда как на двух других площадях они четко прослеживаются. Если учитывать изменения мощности "гранитного" слоя в исследуемом регионе, то следующие ОПС выделяются на глубинах, соответствующих интервалам между слоями "гранитный" — переходный и переходный — "базальтовый". Только на площади RII имеются ОПС (в интервале 21—24 км), расположенные в середине переходного слоя.

Анализ изменения удельного электрического сопротивления (у. э. с.) по площадям (см.

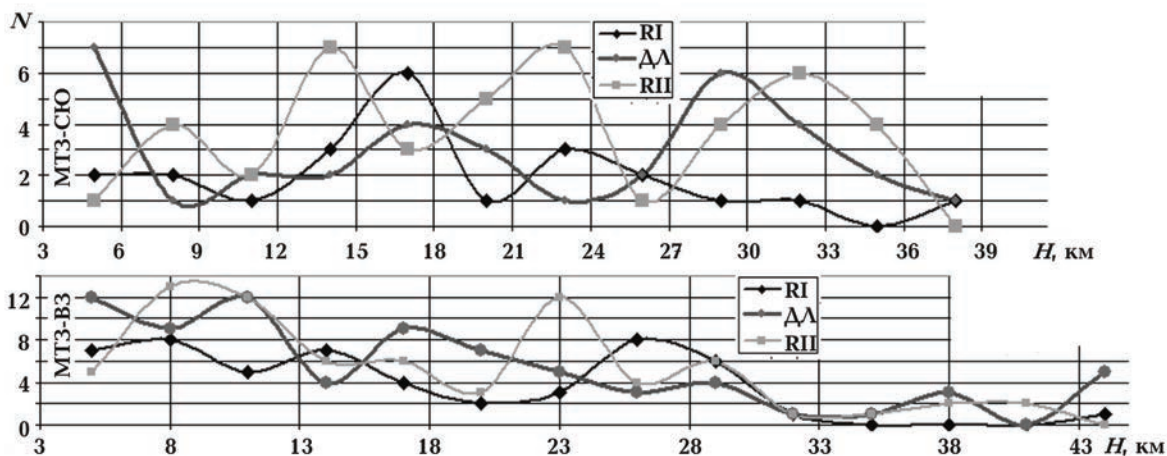


Рис. 2. Зависимость суммарной продольной проводимости ОПС от глубины.

рис. 2) указывает на то, что в "гранитном" слое медианное значение у. э. с. проводников в ДЛ составляет около $60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (что при указанной мощности слоя соответствует значениям S около 100 См), тогда как на площадях R1 и R2 — порядка $160 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. В залегающих ниже слоях у. э. с. для всех площадей изменяется в пределах $100\text{—}200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

На рис. 3 показана квазитрехмерная модель изученного региона. Значения глубин горизонтальных срезов выбраны согласно графикам распределения проводников в толще земной коры (см. рис. 2), а вертикальные срезы построены с учетом максимального количества пунктов на меридиане, пересекающем все три зоны. Наибольшее площадное распространение имеют ОПС в "гранитном" слое. Они прослеживаются от 26° до $31,5^\circ$ в. д. (т. е. на расстояние порядка 400 км), а в ширину занимают пространство от ЯВз до Хз (постепенно сужаясь к востоку). Такие пространственные размеры позволяют говорить о проводящем слое, мощность которого изменяется от 9 км (от 3 до 12 км) в районе 26° в. д. до 6 км . Слой резко выклинивается западнее 26° в. д. и восточнее 31° в. д. Соппротивление пород слоя в основном менее $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (среднее значение S около 100 См). В блоке пород района 28° в. д. наблюдается резкое увеличение у. э. с. (до $140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), т. е. суммарная продольная проводимость блока минимальна.

В интервале $15\text{—}18 \text{ км}$ распределение у. э. с. с меньшей вероятностью может быть принято как единый проводящий слой, так как для большей части территории у. э. с. принимает значение от 100 до $200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и лишь на отдельных участках на этих глубинах встречаются ОПС с у. э. с. менее $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Следующий горизонт в интервале $30\text{—}35 \text{ км}$ в зоне ДЛ может быть также принят как единый проводящий слой (у. э. с. менее $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), который простирается от 25 до 29° в. д. Глубина залегания кровли слоя изменяется от 26 км в районе 29° в. д. до 29 и 32 км на 28 и 26° соответственно. Максимальные значения S наблюдаются в блоке восточнее 28° в. д. (длиной около 50 км вдоль простираения ДЛ).

Представляет интерес рассмотрение распределения геоэлектрических параметров вдоль сейсмических профилей, пересекающих зону ДЛ. На исследуемой площади проходят два таких профиля — Y1 и EUROBRIDGE.

Для профиля EUROBRIDGE существуют две сейсмические модели (рис. 4, а, б), построен-

ные разными авторами [Thybo et al., 2003; Ильченко, 2002]. На них по разному отражаются крупнейшие геологические объекты территории — Коростенский плутон и Днепро-Лабская региональная зона. Коростенский плутон на разрезе, по [Ильченко, 2002], характеризуется несколькими зонами пониженных скоростей распространения сейсмических волн. На другой модели [Thybo et al., 2003] вся область, включающая Коростенский плутон и Днепро-Лабскую зону, характеризуется наличием одного слоя пониженной скорости на границе "гранитного" и переходного слоев.

Сопоставление геоэлектрической модели вдоль профиля с сейсмическими показывает лучшее согласие с моделью (рис. 4, б), так как ОПС в "гранитном" слое по глубине перекрывают практически все зоны пониженных скоростей, а ОПС на глубине $30\text{—}40 \text{ км}$ коррелирует с зоной резкого изменения глубины залегания кровли "базальтового" слоя. Зона ДЛ слабо проявляется в обеих сейсмических моделях. Для геоэлектрической модели предпочтительнее выглядит корреляция с сейсмической моделью на рис. 4, а. Здесь распределение ОПС в "гранитном" слое коррелирует с зоной пониженных скоростей, а в переходном слое контролируется с юга изменением мощности "гранитного" слоя.

Сейсмическая модель [Ильченко, 1984; Литосфера ..., 1988] вдоль профиля Y1 (рис. 4, в) характеризуется несколькими разломными зонами и блоками с заметно уменьшенной мощностью "гранитного" слоя. Один из таких блоков выделен в пределах центральной части ДЛ зоны и с ним коррелирует проводящий слой. Отметим, что на части профиля от ПК 500 до ПК 900 корреляция ОПС с подобными блоками наблюдается только для зоны ДЛ. С некоторой натяжкой можно предположить связь распределения ОПС на всем протяжении профиля с разломными зонами.

Рассмотрим геоэлектрический разрез (по данным ГМТЗ) вдоль простираения ДЛ зоны (рис. 5). Здесь четко видно, что приблизительно от 26° до 31° в. д. вдоль всей зоны протягивается проводящий слой. Два разрыва в слое могут на современном этапе изученности трактоваться по разному. На участке западнее 28° в. д. отсутствие слоя подтверждается на нескольких пунктах. В интервале $28\text{—}29^\circ$ в. д. нет кондиционных наблюдений, что не позволяет построить здесь геоэлектрический разрез. Глубина центра слоя изменяется от 8 км на западе в районе 26° в. д. до 17—

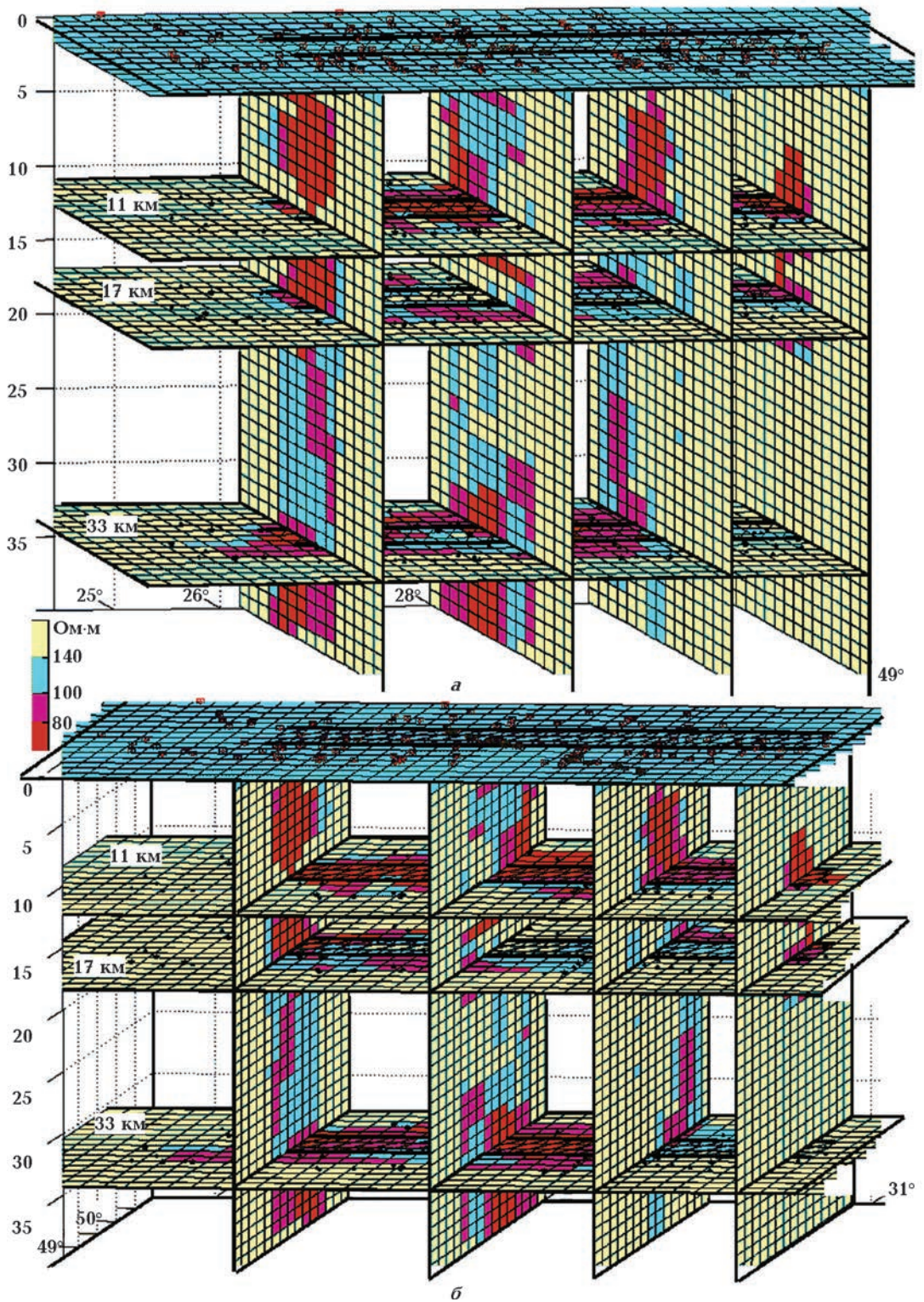


Рис. 3. Квазитрехмерная модель Днепро-Лабовской зоны и окружающих районов:
а — вид с юго-запада, *б* — с юго-востока.

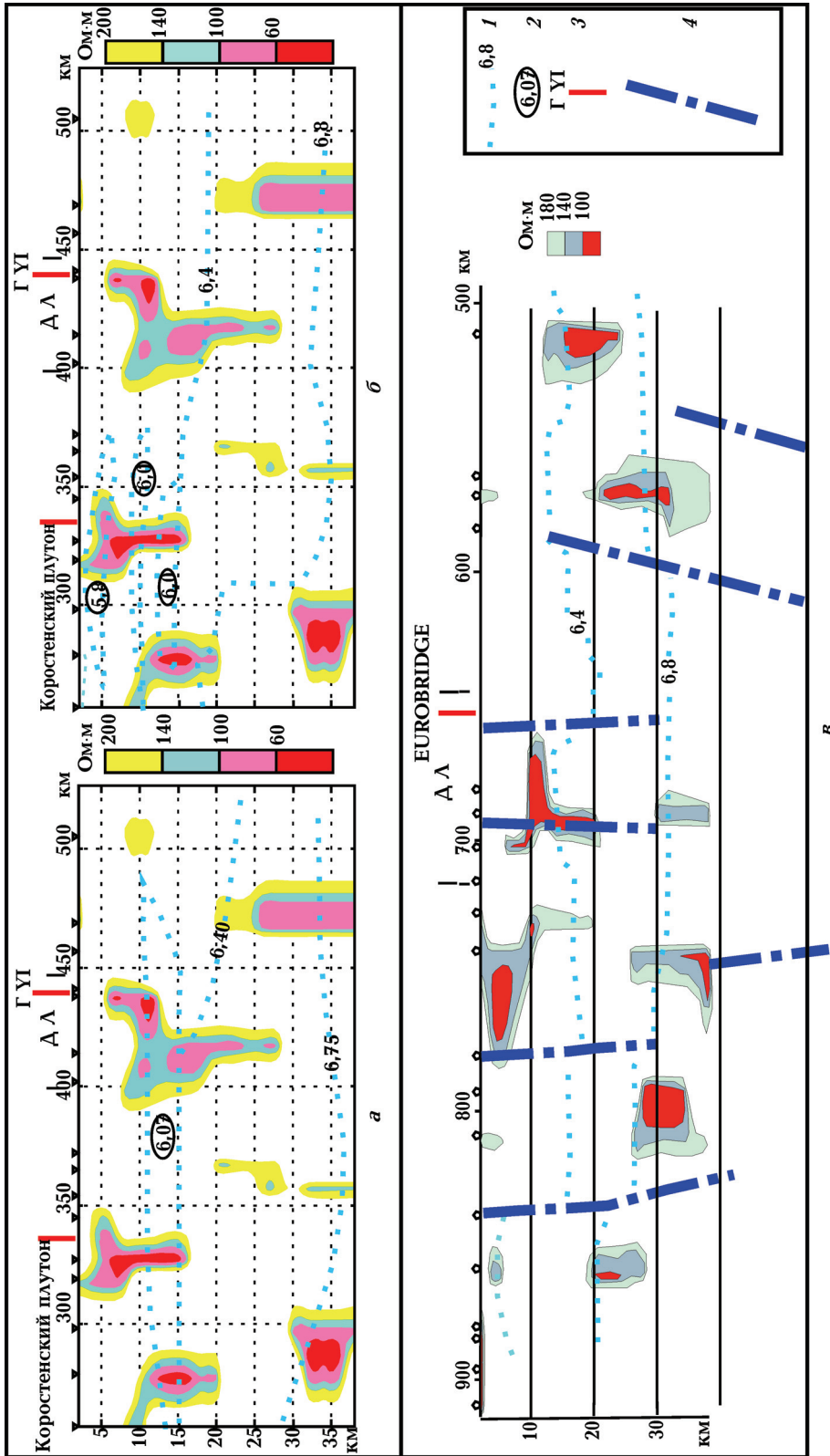


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы вдоль геотранверсов EUROBRIDGE и VI (а — по [Thybo et al., 2003], б — по [Ильченко, 2002], в — по [Литосфера ..., 1988]): 1 — значения скорости V_p (км/с); 2 — значения скорости V_p (км/с) в слоях с пониженной скоростью; 3 — точки пересечения с другими геотранверсами; 4 — разломы, выделенные по сейсмическим данным.

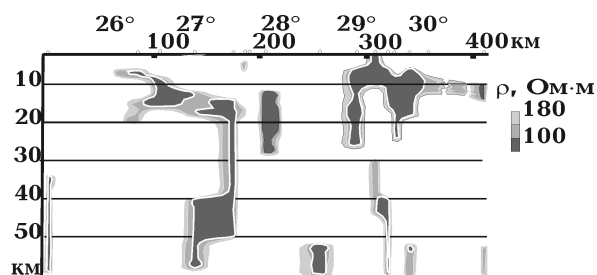


Рис. 5. Геоэлектрический разрез вдоль Днепро-Лабовской зоны.

20 км вблизи 28° в. д. Восточнее 29° в. д. глубина залегания изменяется от 8 км до 10—12 км вблизи 31° в. д. С обеих сторон участка разрыва непрерывности слоя отмечается наличие проводников вплоть до верхней мантии, что можно интерпретировать как глубинные разломы.

Выводы. Результаты анализа показали, что в геоэлектрическом отношении трансрегио-

нальная Днепро-Лабовская зона отличается от окружающих площадей значительным скоплением проводников в земной коре. Наиболее ярко в пределах зоны проявляется проводящий горизонт в верхней части земной коры в интервале глубин 6—20 км, протягивающийся с перерывами почти на 450 км вдоль простирания зоны (от 25,8 до 31,5° в. д.). Минимальные сопротивления горизонта отмечаются в "гранитном" слое на глубине 3—11 км. На малочисленных пунктах ГМТЗ прослеживаются проводники в низах "базальтового" слоя.

Полученные геоэлектрические схемы нельзя считать окончательным, так как кривые МТЗ, выполненные производственными организациями, построены только до периодов 900 с, что недостаточно для корректного построения глубинных моделей. Кроме того, на многих кривых МТЗ (до 20—30 %) наблюдается сильное амплитудно-фазовое несогласие, что не позволяет использовать их для интерпретации.

Список литературы

- Алехин В. И., Гинтов О. Б. Кинематические особенности, фазы развития и металлогения системы широтных зон разломов Украинского щита // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 6. — С. 83—101.
- Атлас. Глибинна будова літосфери та екогеологія України / Ред. М. М. Байсарович, О. Ю. Митропольський, І. С. Чуприна. — Київ: Вид. ІГН НАН України, 2002. — 55 с.
- Быстревская С. С., Пашкевич И. К. О глубинной трансрегиональной зоне длительной активизации в пределах Восточно-Европейской платформы // Геол. журн. — 1979. — № 6. — С. 105—112.
- Верховцев В. Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємовідношення з лінійними та кільцевими структурами // Энергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання. — Київ: Вид-во КНУ, 2006. — С. 129—137.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- 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). — Киев: Корвин пресс, 2005. — 210 с.
- Дьяконова А. Г., Ингертов А. И., Рокитянский И. И. Электромагнитные зондирования на Восточно-Европейской платформе и Урале. — Киев: Наук. думка, 1986. — 140 с.
- Ильченко Т. В. Результаты исследований методом ГСЗ вдоль трансекта ЕВРОБРИДЖ-97 // Геофиз. журн. — 2002. — 24, № 3. — С. 36—50.
- Ильченко Т. В. Скоростная модель земной коры по профилю Винница — Маневичи (Украинский щит) // Геофиз. журн. — 1984. — 6, № 4. — С. 78—83.
- Ингертов А. И., Бугримов Л. П., Рокитянский И. И., Колдунов А. А. Результаты региональных исследований МТЗ по профилю Ужгород — Луганск. — Киев: Геоинформ, 1987. — 275 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы ІУ, ІІ, ІІІ / Гл. ред. Н. В. Сологуб. — Киев: Наук. думка, 1988. — 172 с.
- Логвинов И. М., Гордиенко И. В., Тарасов В. Н.

- Геоэлектрические исследования на профиле Паннония — Вольно-Подольская плита // Доп. НАН України. — 2009. — № 6. — С. 148—165.
- Логвинов И.М. Геоэлектрические параметры земной коры западной части Украинского щита по данным одномерной инверсии магнитотеллурических зондирований // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 2. — С. 98—109.
- Трегубенко В.И., Мерець Г.В., Горняк З.В., Василенко В.А. Результаты площадной съемки МТЗ м-ба 1 : 2 500 000 в западной части Украины. — Киев: Геоинформ, 1994. — 210 с.
- Трегубенко В.И., Финчук Л.Л., Белошанская Н.В. Результаты региональных работ методом МТЗ северо-западной части УССР. — Киев: УТГФ, 1989. — 130 с.
- 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.
- Parker R.L., Whaler K.A. Numerical method for establishing solution to the inverse problem of electromagnetic induction // J. Geophys. Res. — 1981. — 86. — P. 9574—9584.
- Thybo H., Janik T., Omelchenko V.D., Grad M., Garetzky R. G., Belinsky A. A., Karatayev G. I., Zlotzki G., Knudsen E., Sand R., Yliniemi J., Tiiro T., Luosto U., Komminaho G., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O.M., Ilchenko T., Lysynchuk D.V., Skobolev V.M., Doody J.J. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripjat Through and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile // Tectonophysics. — 2003. — 371. — P. 41—79.