

Геоэлектрическая модель консолидированной земной коры и верхней мантии вдоль геотраверса Евробридж-97

© В. Н. Астапенко¹, И. М. Логвинов², 2014

¹РУП "Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт", Минск, Беларусь

²Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 24 сентября 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Уздовж профілю Євробридж-97 виявлено 11 локальних об'єктів зниженого опору (ОЗО) за результатами двовимірної інверсії магнітотелуричних зондувань. Більшість об'єктів розташовані в перехідному шарі земної кори. У верхній мантиї північної частини Прип'ятського прогину і півдня Українського щита виявлено ОЗО, які просторово відповідають підвищеним значенням теплового потоку. Розглянуто зв'язок ОЗО з сейсмічними розрізами уздовж профілю.

Ключові слова: електропровідність, земна кора, Прип'ятський прогин, Український щит.

Введение. Основой для настоящей работы послужили геоэлектрические исследования, выполненные в рамках международного проекта Евробридж. В 1995—1996 гг. одновременно с сейсмическими исследованиями на профилях Евробридж-96 и Евробридж-97 (ЕВ'96, ЕВ'97 рис. 1 врезка) были выполнены магнитотелурические наблюдения цифровой электроразведочной станцией ЦЭС-2. Регистрация вариаций магнитотелурического (МТ) поля велась в течение суток, а на каждом пятом пункте — трех суток. В начале 1990-х аппаратурой ЦЭС-2 севернее сейсмического профиля ЕВ'97 на части Белорусско-Прибалтийского геодинамического полигона также были выполнены наблюдения вариаций МТ поля. В результате обработки по программе, разработанной в 80-х годах прошлого столетия в Центральной геофизической экспедиции бывшего Мингео Украины (авторы Л. И. Томчаков и Л. Я. Токарева), на обоих участках были получены оценки импедансов и построены кривые магнитотелурических зондирований (МТЗ) в опорных пунктах от 1 до 10 000 с. Детальный анализ результатов интерпретации МТЗ на территории Беларуси имеющимися в

то время программами приведен в обобщающей монографии В. Н. Астапенко [Астапенко, 2012].

На территории Украины для интерпретации привлечены данные в пунктах, расположенных в полосе шириной 40—50 км вдоль сейсмического профиля ЕВ'97 от ПК 210 до ПК 580. Наблюдения выполнены станцией ЦЭС-2, получены оценки импедансов и магнитных переходных функций (МПФ) в диапазоне периодов, не превышающих 900 с на большинстве пунктов [Ингеров, 1989; Трегубенко и др., 1989, 1994]. Кроме того, привлечены результаты интерпретации данных аналоговых станций [Бурахович и др., 1997]. На крайнем южном пункте, находящемся на продолжении сейсмического профиля ЕВ'97, импедансы и МПФ определены из наблюдений вариаций МТ поля цифровой магнитоэлектрической станцией [Логвинов, 2012].

В настоящей статье представлены геоэлектрические модели, полученные в результате двумерной инверсии амплитудных (сопротивление) и фазовых (фазы импеданса) кривых МТЗ, расположенных на меридиональном профиле от Белорусской антеклизы на севере до южной гра-

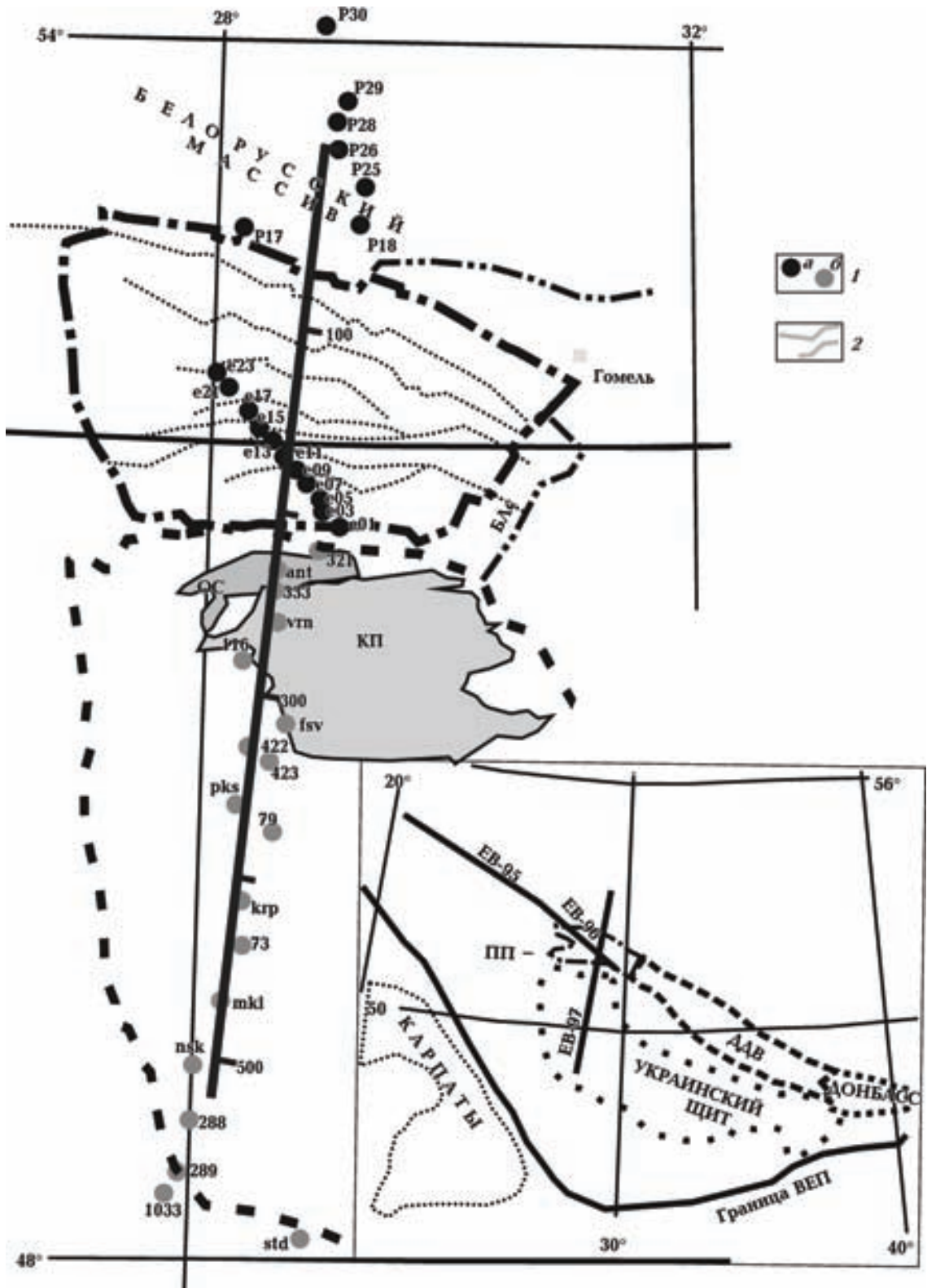


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений МТЗ (1) на территории Беларуси (а) и Украины (б), 2 — разломы мантийного заложения [Геология ..., 2001, с. 520]. БЛс — Брагинско-Лоевская седловина, ОС — Овручский синклиорий, КП — Коростенский плутон. На врезке: ПП — Припятский прогиб.

ницы Украинского щита (УЩ). Основной поверхностной проводящей структурой являются осадки Припятского прогиба, который аппроксимируется двумерной моделью широтного простирания (рис. 2). Для единообразия использования данных разных авторов частотный диапазон экспериментальных данных выбран в интервале 16—3 600 с. Как показали результаты инверсии, такой частотный диапазон позволяет достаточно обоснованно оценить геоэлектрические параметры (сопротивления, горизонтальные и вертикальные размеры, положение в пространстве) в интервале глубин от первых километров до 100 км.

Экспериментальные данные. Поскольку используемые программы обработки МТЗ в производственных организациях Беларуси и Украины не предусматривали оценки погрешности определения импедансов и в отчетах она не приведена, то при геоэлектрическом моделировании была принята погрешность 30 % для сопротивлений и 7° для фаз импеданса.

Для повышения качества оценок импедансов и МПФ аналоговые наблюдения прежних лет были оцифрованы, а затем обработаны с применением современного комплекса программ [Логвинов, Тарасов, 2003]. Детальный анализ МТЗ на территории Украины в пунктах в полосе шириной 40—50 км вдоль интерпретационного профиля показал, что в пределах УЩ главные направления региональных неоднородностей в большинстве пунктов близки к типичным для Припятского прогиба [Логвинов и др., 2006; Логвинов, Тарасов, 2010].

Двумерная инверсия. Двумерная инверсия выполнена по программе REBOCC [Siripunvarorn, Egbert, 2000] на основе алгоритма OCCAM. Программа REBOCC достаточно формализована — моделирование можно начинать с наиболее простой модели (полупространства) и затем, после получения модели, удовлетворяющей исходным данным, изменять параметры самой модели и ключи программирования. Особенностью применения методики программы REBOCC в данной статье было использование ключей программы инверсии, которые позволяли учитывать реальное наличие экспериментальных данных для каждого параметра, пункта и периода.

Построение интерпретационной модели. Для составления первоначальной интерпретационной модели на всех профилях использовалась априорная геолого-геофизическая информация о строении региона, которая заключается в следующем.

Учет мощности пород осадочного чехла на территории Беларуси проведен по работе [Геология ..., 2001]. При задании в модели сопротивлений верхней километровой толщи учитывались значения суммарной продольной проводимости осадков Припятского прогиба, взятые из работы [Астапенко, 2012], а для территории Украины — по данным исследований на постоянном токе [Трегубенко и др., 1989].

По оси x шаг моделирования изменялся в зависимости от расстояний между соседними пунктами наблюдений от 3 до 10 км. По вертикальной оси шаг моделирования составлял 100—500 м для верхних 2 км, ниже увеличивался до 1 000—4 000 м до глубины 50 км. Для глубин верхней мантии шаг изменялся с глубиной от 8 до 30 км. Такие геометрические параметры модели полностью удовлетворяют условиям распространения МТ поля в среде исследуемого региона. Частотный диапазон экспериментальных данных и длина профиля позволяют исследовать не только земную кору, но и захватывать верхнюю мантию. Разрез вмещающей среды верхней мантии взят по результатам инверсии кривых зондирования на геомагнитных обсерваториях "Минск" и "Киев" [Semenov et al., 2008].

Результаты моделирования. На первом этапе моделирование было проведено с закреплением параметров на глубине более 45 км (вариант I). Затем параметры объектов пониженного сопротивления в земной коре, полученные по модели с наименьшим gms , были введены в стартовую модель и моделирование было выполнено для мощности 100 км (вариант II).

В табл. 1 приведена количественная оценка сходимости результатов моделирования и экспериментальных данных в выбранных моделях для различных мод. Как следует из табл. 1, все выбранные модели имеют практически одинаковые невязки по всем параметрам. Общие невязки всех моделей менее 2,5, что является достаточно удовлетворительным результатом меры оценки согласия модельных и экспериментальных данных. Наилучшие значения gms для всех параметров получены для 2D инверсии с использованием совместно ТЕ и ТМ мод. Дальнейшие оценки геоэлектрических параметров проводящих объектов приведены по результатам этих моделей.

На рис. 3, *а* представлены модели (с наименьшими значениями gms по всем параметрам), полученные по результатам 2D инверсии варианта I с использованием ТЕ и ТМ мод как отдельно, так и совместно, на рис. 3, *б* — модели варианта II, полученные с использовани-



Рис. 2. Карта суммарной продольной проводимости поверхностных отложений в полосе вдоль профиля Евробридж-97, по [Астапенко, 2012; Трегубенко и др., 1989].

ем совместно ТЕ и ТМ мод. Поскольку МТ поле имеет плохую разрешающую способность по определению сопротивления высокоомных пород и основное влияние на параметры МТ поля оказывают мощные по интегральной проводимости проводники, то на рисунке участки с $\rho > 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ показаны белым цветом.

Рассмотрим наиболее общие геоэлектрические характеристики вдоль профиля. Первое, что показывает результат моделирования, — отсутствие единого проводящего слоя на всем протяжении профиля на любой глубине в земной коре. Этот вывод следует из результатов обоих вариантов. Вместо единого проводящего слоя на всем протяжении профиля выделяется ряд локальных объектов пониженного сопротивления (ОПС). И. И. Рокитянским предложен параметр, определяющий интегральную характеристику локального проводящего объекта $G = \Sigma h L / \rho$, где h — мощность блока пород постоянного сопротивления, м; L — его ширина, м; ρ — сопротивление блока пород, $\text{Ом} \cdot \text{м}$ [Рокитянский, 1975]. Использование параметра G позволяет более обоснованно подходить к выбору наиболее приемлемого результата моделирования, так как допускает существование моделей с разными геометрическими параметрами и сопротивлениями, но с неизменным значением G .

С учетом этого параметра на разных глубинах земной коры было выделено восемь объектов пониженного сопротивления (О1—О8), в которых $\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Объект, находящийся на северном крае профиля, не учтен в рассмотрении, поскольку он может быть обусловлен краевыми эффектами, связанными с особенностями программы моделирования. Наиболее сомнительно выделение объекта О2, который располагается в северной части Припятского прогиба между пунктами Р17 и е23. Он находится в части профиля, где непосредственно над объектом нет экспериментальных данных.

Результаты моделирования для верхней мантии рассмотрим на примере модели m04 варианта II (см. рис. 3, б), для этой модели невязки несколько предпочтительнее, чем в m03 варианта I (см. табл. 1). Можно предположить существование двух районов, в которых $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Один район (объект О9) пространственно совпадает с коровым объектом О2, второй (объекты О10 и О11) располагается в южной части профиля, вне профиля ЕВ'97. Объект О9 с $\rho < 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ полностью находится в пределах северной части Припятского прогиба. По значениям $\rho < 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ можно предположить, что объект О9 имеет ответвление, которое связывает с ним объекты О4 и О5 в земной коре. Над

Т а б л и ц а 1. Распределение невязок (rms) экспериментальных и расчетных данных

| Используемые моды | Номер модели | Все модели | ρ | | | Фаза импеданса | | |
|----------------------|--------------|------------|--------------|--------------------|---------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| | | | Мах в пункте | Количество пунктов | Количество периодов | Мах в пункте | Количество пунктов | Количество периодов |
| Вариант I (rms < 3) | | | | | | | | |
| ТЕ | ТЕ_ТМ m03 | 2,16 | 3,8 | 32 | 10 | 3,6 | 29 | 10 |
| ТМ | | | 2,1 | 33 | 10 | 3,5 | 27 | 10 |
| ТЕ | m05 | 2,08 | 3,7 | 29 | 10 | 3,4 | 32 | 10 |
| ТМ | m04 | 2,41 | 3 | 32 | 10 | 3,7 | 27 | 5 |
| Вариант II (rms < 2) | | | | | | | | |
| ТЕ | ТЕ_ТМ m03 | 2,17 | 3,2 | 23 | 5 | 4 | 29 | 10 |
| ТМ | | | 2,8 | 33 | 10 | 6 | 27 | 7 |
| ТЕ | ТЕ_ТМ m04 | 2,13 | 3,5 | 27 | 6 | 3,5 | 31 | 10 |
| ТМ | | | 2,8 | 33 | 10 | 4 | 27 | 6 |

объектами О10 и О11 находятся коровые ОПС О6—О8. Если рассматривать весь объем пород с $\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ как один объект, то можно отметить явную связь мантийных объектов с объектами О6—О8.

В табл. 2 приведены основные характеристики каждого объекта пониженного сопротивления. Глубина кровли объектов (H_K) бралась по изолинии $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для объектов О1—О5, О7, О9, О11 и по изолинии $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для объектов О6, О8, О10. Глубина залегания центра ($H_{Ц}$) — внутри указанных изолиний.

Как следует из табл. 2, изменение мощности модели по глубине (т. е. использование варианта I или II) не привело к изменению параметра G большинства объектов, что указывает на достоверность их выделения. Отличия G для объектов О3, О4 и О8 связаны с тем, что под этими объектами при изменении глубинности модели обнаружены мощные проводящие объекты в мантии.

Кровля практически всех выделенных ОПС находится в гранитном слое земной коры, хотя основной их объем располагается в промежуточном слое. В то же время нельзя исключать возможной генетической связи объектов О3, О4 и О5 с мантийным проводником О9, а объектов О6, О7 и О8 — с мантийным проводником О11. На территории Белорусского массива и Припятского прогиба значения G коровых ОПС больше, чем на территории УЩ. В основном это происходит из-за более высоких минимальных значений ρ объектов на территории последнего.

Большой интерес представляет геоэлектрическая модель на территории Беларуси, так как

двумерная инверсия в этой части Ев'97 выполнена впервые. Геоэлектрические разрезы, полученные для варианта I (как видно из табл. 2 различия моделей вариантов I и II в этом интервале глубин незначительны) до предполагаемых глубин поверхности кристаллического фундамента в Припятском прогибе представлены на рис. 4, а, полученные для варианта II для всей мощности консолидированной земной коры — на рис. 4, б.

Надсолевые осадки мезо-кайнозоя (и, возможно, верхи палеозойских отложений) выступают как один слой с $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Отсутствие пунктов наблюдений севернее Петриковского погребенного выступа не позволяет утверждать, что этот проводящий слой протягивается вплоть до северной прибортовой части Припятского прогиба. Пониженными сопротивлениями ($\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) характеризуются два участка в осадочной толще (см. рис. 4, а). Наиболее выразительный участок полностью перекрывает Буйновичское поднятие и уходит в нижние горизонты земной коры. Его горизонтальные размеры под осадками ограничены разломами мантийного заложения R2 и R3 (см. рис. 4, б). Другой участок пространственно согласуется с Шестовичским поднятием, но по глубине захватывает только подсолевые осадки Припятского прогиба, располагаясь большей частью в кристаллическом фундаменте. Из особенностей осадков на этом участке можно отметить наличие в низах осадочного слоя отложений венда и рифея. Последние в расположенных юго-восточнее районах ДДВ имеют большую мощность и характеризуются значениями $\rho < 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Т а б л и ц а 2. Геоэлектрические параметры объектов пониженного сопротивления

| Параметры | О1 | О2 | О3 | О4 | О5 | О6 | О7 | О8 | О9 | О10 | О11 |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|--------|---------|
| H_K | 8/7 | 8/7 | 12/7 | 7/10 | 11/10 | 17/16 | 6/6 | 13/6 | /68 | /76 | /66 |
| $H_{Ц}$ | 16/16 | 13/10 | 17/12 | 9/16 | 16/14 | 28/19 | 10/9 | 22/9 | /92 | /92 | /92 |
| Ширина, км | 33/36 | 67/83 | 21/9 | 7/9 | 30/24 | 65/45 | 25/25 | 24/18 | /75 | /45 | /82 |
| Интервал минимального ρ , Ом · м | 10—30/ 15—30 | 10—30/ 10—30 | 3—30/ 25—40 | 6—30/ 1—30 | 10—30/ 8—30 | 30—50/ 30—80 | 15—40/ 20—40 | 25—50/ 35—50 | /1—30 | /45—80 | /2,5—30 |
| $G \cdot 10^7$, Ом · м | 2,6/2,6 | 3,2/3,7 | 4/0,3 | 0,6/3,9 | 1,4/1,5 | 1,8/1,9 | 0,7/0,8 | 2,3/0,4 | /56 | /2,2 | /40 |

Примечание. В числителе данные для варианта I, в знаменателе для варианта II.

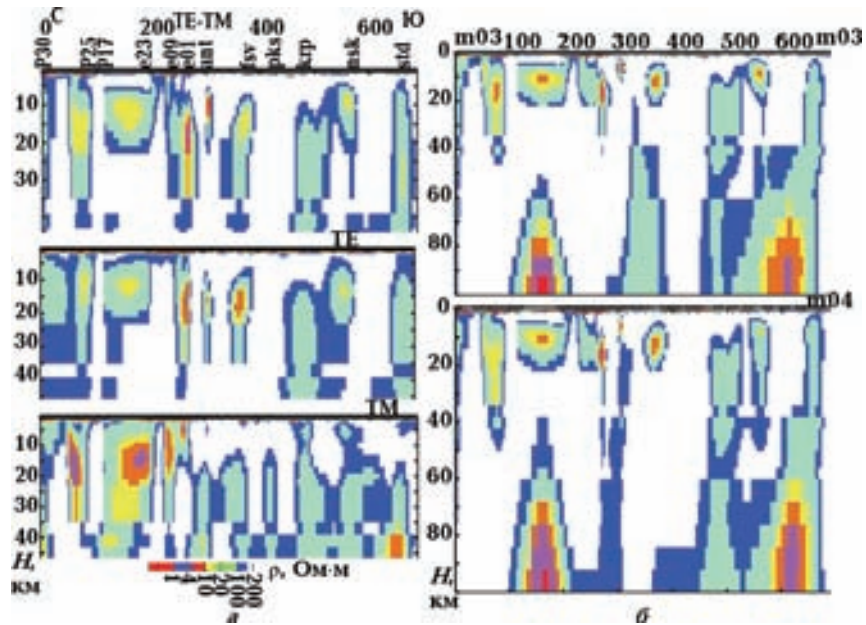


Рис. 3. Геоэлектрические модели, полученные с использованием различных мод: а — вариант I, б — вариант II.

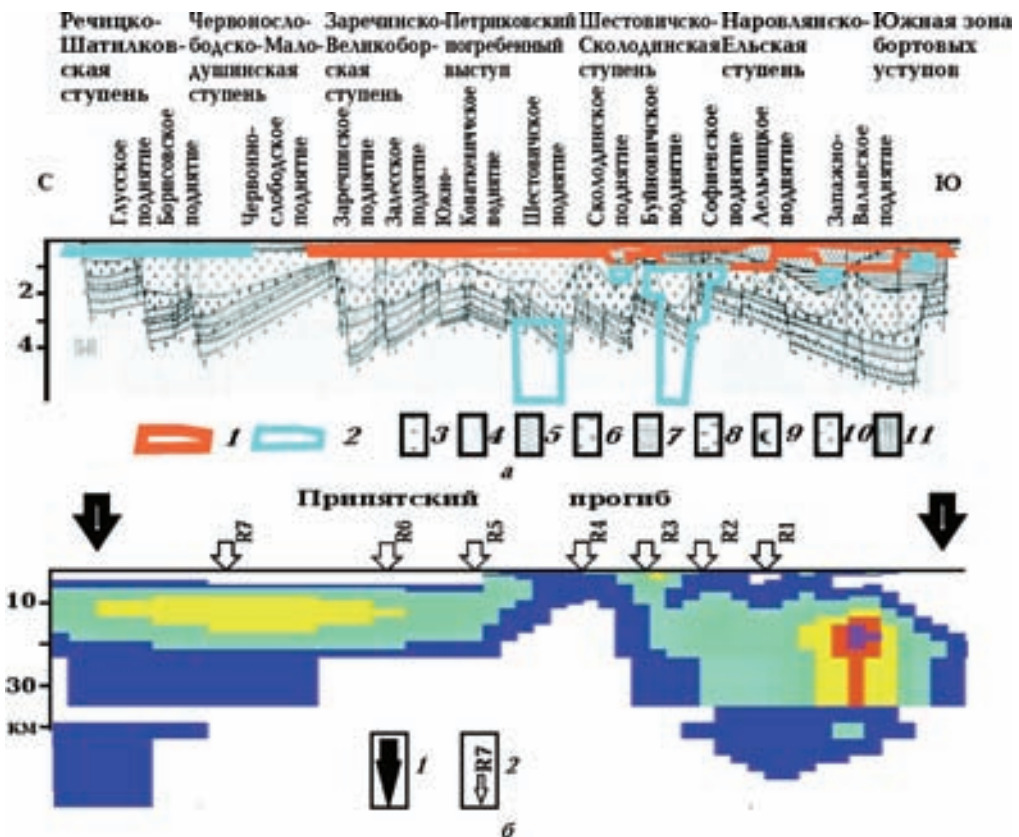


Рис. 4. Сопоставление геоэлектрической модели на территории Припятского прогиба с геологическим разрезом осадочного слоя вдоль сейсмического профиля III [Геология ..., 2001] (а): 1, 2 — контуры ОПС (1 — $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, 2 — от 10 до 100 $\text{Ом} \cdot \text{м}$), отложения: 3 — архейско-протерозойские, 4 — рифейско-вендские, 5 — подсолевые девонские, 6 — нижнесоленосные евлановско-ливенские, 7 — межсолевые задонско-петриковские, 8 — брекчи кепрока, 9 — глинисто-галитовой подтощи, 10 — надсолевые девонские, каменноугольные и нижнепермские, 11 — мезо-кайнозойские; б — геоэлектрическая модель земной коры: 1 — границы ПП, 2 — разломы мантийного заложения, по [Геология ..., 2001].

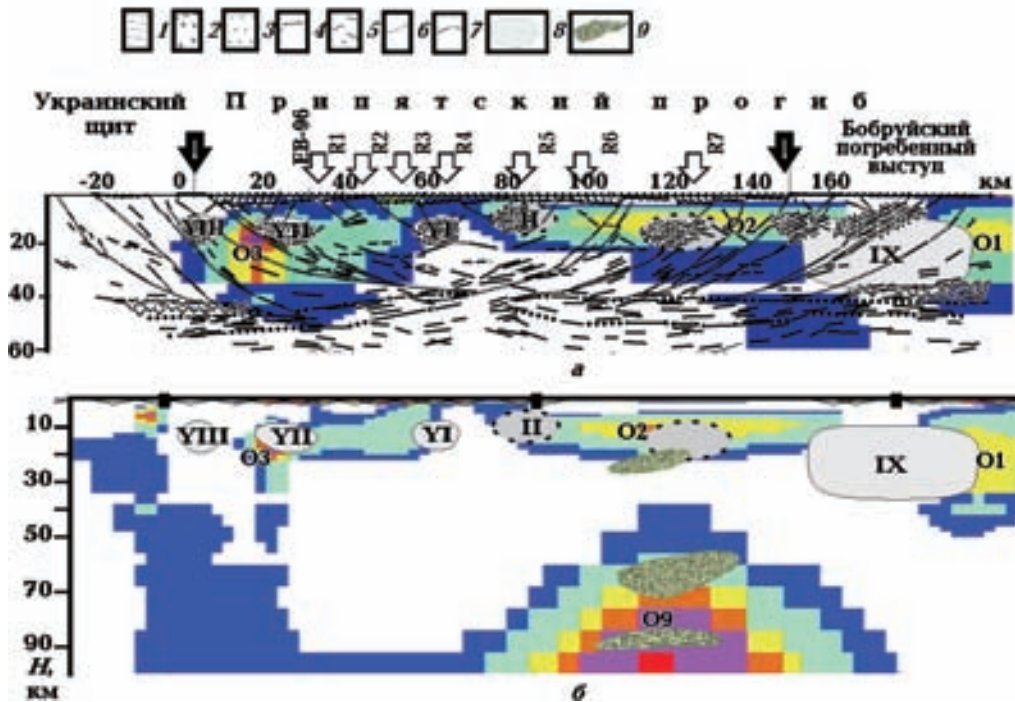


Рис. 5. Положение сейсмических профилей (а); сопоставление геоэлектрических, по [Астапенко, 2012], и 2D моделей с сейсмогеологическими разрезами по профилю III [Сейсмология ..., 1990] (б) и YIII [Гарецкий, Клушин, 1987] (в): 1 — платформенный чехол, 2 — клиноформы в низах земной коры и их контуры, 3 — зоны разуплотнения, 4 — поверхность кристаллического фундамента, 5 — отражающие площадки, 6 — литрические разломы, 7 — поверхность Мохо и подошва зоны коромантийной смеси, 8 — объекты пониженного сопротивления (II — Червонослободская, YI — Шестовичская, YII — Ельская, YIII — Южно-Припятская, IX — Бобруйская, X — Речицкая), 9 — зоны пониженных скоростей V_p . Остальные обозначения см. на рис. 3.

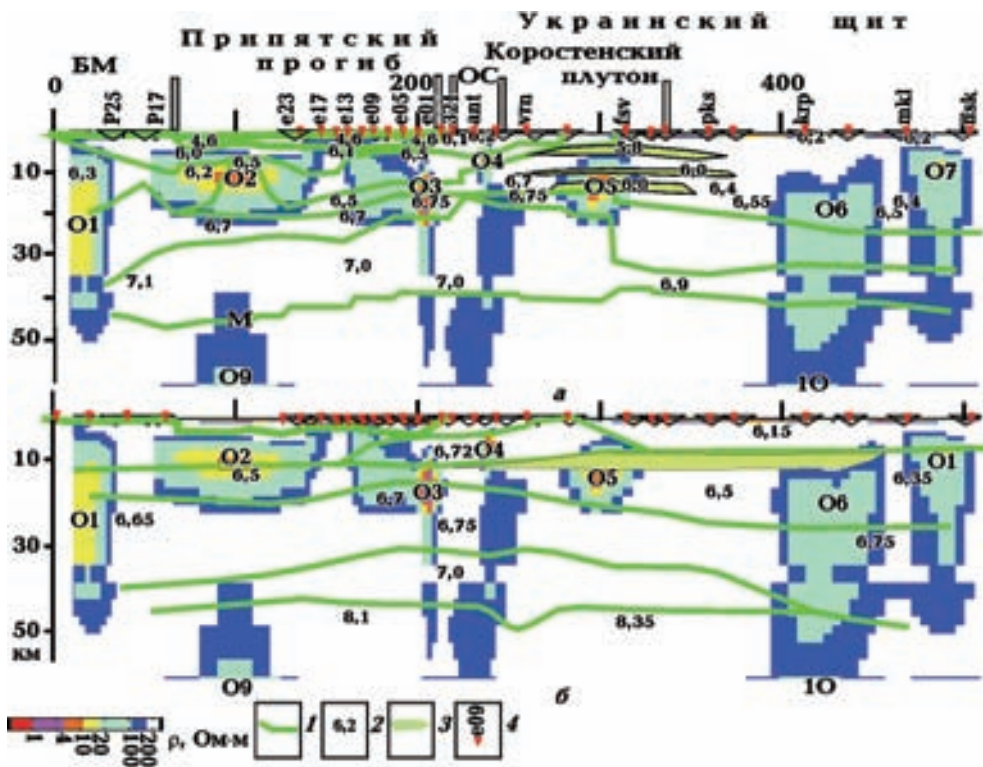


Рис. 6. Сопоставление геоэлектрической (а) и сейсмических (б) моделей вдоль профиля Евробридж-97: 1 — изолинии сейсмической скорости, 2 — их значения, 3 — зоны пониженной скорости, 4 — пункты МТЗ.

Обсуждение и выводы. Интересно сравнить полученный геоэлектрический разрез с результатами предыдущих геоэлектрических исследований и другими геолого-геофизическими данными.

По территории Беларуси профиль Евробридж-97 проходит рядом с сейсмическим профилем III (отработанным методом общей глубинной точки) [Сейсмология ..., 1990], а несколько восточнее расположен профиль ГСЗ—МОГТ VIII (рис. 5, а). На рис. 5, б представлено совмещение результатов, полученных при 2D моделировании, и приведенных в работе [Астапенко, 2012] геоэлектрических моделей вдоль профилей Ев'96 и III. Сейсмогеологический разрез по профилю III характерен для данной области [Сейсмология ..., 1990] и демонстрирует систему литрических разломов, образовавшихся при рифтообразовании Припятского прогиба в результате растяжения литосферы [Гарецкий, Клушин, 1987, 1989]. Согласно сейсмическим данным в земной коре зафиксировано большое число наклонных отражающих площадок. С зонами пересечения разрывов со встречными падениями совпадают зоны разуплотнения, связанные с тектонической трещиноватостью и сопровождающиеся понижением скоростей распространения продольных (V_p) сейсмических волн. Глубины до подобных участков не превышают 20 км, а верхняя граница их развития может располагаться как на глубине 10 км, так и приближаться к поверхности фундамента. Вся совокупность этих участков может рассматриваться как неоднородный волноводный слой [Сейсмогеология ..., 1990].

Выделенные в работе [Астапенко, 2012] зоны ОПС (УIII, УII, УI, IX непосредственно по данным МТЗ, а II и X предположительно по аналогии с предыдущими) хорошо коррелируют пространственно с зонами разуплотнения (см. рис. 5, б). ОПС УIII, УII, II и X попадают в пределы объектов О2 и О3, а УI и IX располагаются в краевых частях О2 и О3. В северной части Припятского прогиба на профиле УIII (рис. 5, в) в мантии в интервале глубин 60—90 км выделяются зоны пониженных скоростей V_p (ниже 7,8 км/с на глубине около 60 км и до 8,4 км/с на глубине более 90 км) [Гарецкий, Клушин, 1987]. Зоны пониженных скоростей V_p пространственно и по глубине согласуются с объектом О9.

На территории УЩ опубликованы результаты 1D инверсии вдоль профиля Ев'97 в интервале ПК 260—500 [Логвинов, Тарасов, 2010]. Поскольку 1D инверсия предполагает горизон-

тально-слоистое строение среды, а 2D моделирование показало наличие локальных объектов, то нельзя ожидать полного согласия геоэлектрических параметров выделенных ОПС. Кроме того, при 1D инверсии использовались в большом количестве данные МТЗ в диапазоне периодов 1—900 с, что резко сокращало достоверность результатов на глубине более 30 км. Тем не менее выделенные объекты в интервале ПК 310—340 и 400—440 нашли свое подтверждение и при 2D инверсии [Логвинов, Тарасов, 2010]. Естественно, при переходе от горизонтально-слоистой к неоднородной среде ρ внутри локального объекта уменьшилось. Заметим, что известная трансрегиональная Днепровско-Лабская зона [Быстревская, Пашкевич, 1979], пересекаемая профилем в интервале ПК 400—440, при 2D моделировании проявилась наличием не только корового, но и мантийного проводника.

В литературе приведены два варианта сейсмической модели вдоль профиля Евробридж-97 [Ильченко, 2002; Thybo et al., 2003]. В первом варианте [Ильченко, 2002] в распределении V_p имеется ряд деталей, позволяющих найти их корреляцию с геоэлектрической моделью (рис. 6, а). В зоне объектов О1 (Белорусский массив), О6 и О7 (юг УЩ) во всей толще земной коры наблюдаются более пониженные скорости V_p , чем в интервале ПК 50—400. Объект О2 согласуется с резким повышением V_p . Незначительные особенности распределения V_p характерны для объектов О3 и О4. Объект О5 (Коростенский плутон) попадает в зону пониженных скоростей V_p . Зонам мантийных проводящих объектов О9 и О11 соответствует увеличение мощности земной коры.

Во втором варианте [Thybo et al., 2003] сейсмический разрез представлен более плавными изменениями V_p . Объект О5 попадает в зону пониженных скоростей, которая в горизонтальном направлении почти в два раза шире, чем в первом варианте. Объекты О6 и О7 сопровождаются пониженными скоростями V_p в переходном слое. Мантийные проводящие объекты О9 и О10, как и в первом варианте, сопровождаются повышением мощности земной коры.

Возможно, надо искать не прямую связь геоэлектрических параметров с распределением V_p , а рассмотреть более тонкую структуру распределения V_p , например градиент изменения скоростей сейсмических волн в зонах ОПС.

По положению в структуре земной коры объекты О2 и О4 большей своей частью располагаются в "гранитном" слое. Остальные объекты, хотя и имеют кровлю на глубине "гранит-



Рис. 7. Распределение значений теплового потока (1): а — достоверные, б — предполагаемые, 2 — пункты определения теплового потока и их значения, 3 — положение ОПС в мантии.

ного" слоя, основной своей частью располагаются в переходном слое.

Полученные результаты в основном подтвердили выводы о геоэлектрическом строении территорий, пересекаемых профилем, сделанные на основании 1D инверсии. Несколько уменьшилось количество аномальных объектов на участке Припятского прогиба, уточнились геоэлектрические параметры всех ранее выделенных объектов. Принимая во внимание соотношение ширины и мощности по глубине, можно сопоставить объекты ОЗ и О4 с разломными зонами. Объект ОЗ соответствует Южно-Припятскому разлому, отделяющему Припятский прогиб от УЩ, объект О4 расположен на границе Овручского синклинария с Коростенским плутоном. По данным 2D инверсии наибольшие изменения отмечаются в геоэлектрическом строении трансрегиональной Днепровско-Лабской зоны (зона сопровождается не объектом пониженного сопротивления, имеющим ограниченные размеры, а характеризуется значениями $\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ массива пород от подошвы "гранитного" слоя вплоть до 100 км). В заключение отметим, что проведенные исследования кардинально изменили представления об интегральной проводимости земной коры западной части УЩ, представленные в качестве обобщающих результатов магнитотеллурических исследований в конце XX в. [Ingerov et al., 1999].

Если для объяснения природы коровых проводящих объектов можно привлечь несколько гипотез, то для объяснения мантийных проводников трудно предложить другую причину, кроме наличия частично расплавленных пород. Расплав должен отражаться в наблюдаемом на поверхности Земли тепловом потоке (ТП). На рис. 7 приведено сопоставление положения ОПС в мантии, полученное по результатам 2D инверсии, с распределением глубинного ТП на территории Беларуси [Гарецкий и др., 2002] и УЩ [Гордиенко и др., 2007]. Объекты О9 и О11, имеющие высокие значения G (см. табл. 2), хорошо согласуются с зонами повышенного ТП. Объект О10 имеет намного меньшие значения G , чем предыдущие, а минимальные сопротивления превышают $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. В зоне распространения объекта отсутствуют площадные измерения ТП и поэтому искать связь объекта с распределением ТП невозможно.

Полученные оценки геоэлектрических параметров вдоль профиля Евробридж-97, конечно, нельзя считать окончательными. Задачи дальнейших исследований — выполнение магнитотеллурических наблюдений в диапазоне периодов 1—10 000 с в северной части Припятского прогиба и на УЩ; привлечение для проведения 2D инверсии магнитовариационных параметров МТ поля.

Список литературы

- Астапенко В.Н. Земная кора и мантия территории Беларуси по магнитотеллурическим данным. Минск: Экономпресс, 2012. 208 с.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Логвинов И.М., Гордиенко И.В., Тарасов В.Н. Электропроводность земной коры северо-запада Украинского щита. Докл. НАН Украины. 1997. № 10. С. 125—128.
- Быстревская С.С., Пашкевич И.К. О глубинной трансрегиональной зоне длительной активизации в пределах Восточно-Европейской платформы. Геол. журн. 1979. № 6. С. 57—64.
- Гарецкий Р.Г., Клушин С.В. Глубинное строение Припятского палеорифта. Докл. АН СССР. 1987. Т. 297. № 6. С. 1448—1442.
- Гарецкий Р.Г., Клушин С.В. Листрические разломы в Припятском прогибе. Геотектоника. 1989. № 1. С. 48—60.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Астапенко В.Н., Данкевич И.В. Геофизические поля и динамика тектоносферы Беларуси. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2002. 166 с.
- Геология Беларуси. Под ред. Р.Г. Гарецкого, А.В. Матвеева, А.С. Махнача. Минск: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- Глубинное строение и динамика земных недр территории Республики Беларусь. Минск: Наука і тэхніка, 1991. 317 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Логвинов И.М. Тепловое поле и объекты высокой электропроводности в земной коре и верхней мантии Украины. Физика Земли. 2007. № 4. С. 28—34.
- Ильченко Т.В. Результаты исследований методом ГСЗ трансекта EUROBRIDGE'97. Геофиз. журн. 2002. Т. 24. № 3. С. 36—50.
- Ингеров А.И. Результаты изучения кристаллического фундамента Украинского щита элект-

- ромагнитными зондированиями: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Днепропетровск, 1989. 16 с.
- Логвинов И. М. Геоэлектрические характеристики земной коры и мантии юго-запада Восточно-Европейской платформы и Карпат: Дис. ... д-ра геол. наук. Киев, 2012. 306 с.
- Логвинов И. М., Тарасов В. М. Геоэлектрические параметры земной коры Днепро-Лабской зоны на территории Восточно-Европейской платформы по данным одномерной инверсии магнитотеллурических зондирований. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32, № 5. С. 61—68.
- Логвинов И. М., Тарасов В. Н. Магнитовариационные параметры по данным геомагнитных обсерваторий Украины. *Доп. НАН України.* 2003. № 2. С. 118—123.
- Логвинов И. М., Тарасов В. М., Дигенко Л. П. Глубинный геоэлектрический разрез вдоль сейсмического профиля EUROBRIDGE'97. *Доп. НАН України.* 2006. № 6. С. 120—125.
- Роктянский И. И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 279 с.
- Сейсмогеология Припятского прогиба. Под ред. Р. Г. Гарецкого. Минск: Наука и техника, 1990. 162 с.
- Трегубенко В. И., Финчук Л. Л., Белошанская Н. В. Результаты региональных работ методом МТЗ северо-западной части УССР. Киев: Геоинформ, 1989. 130 с.
- 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.
- Ingerov A. I., Rokityansky I. I., Tregubenko V. I., 1999. Forty years of MTS studies in the Ukraine. *Earth Planets Space* 51, 1127—1133.
- Semenov V. Yu., Pek J., Adam A., Jozwiak W., Ladanvskyy B., Logvinov I., Pushkarev P., Vozar J., 2008. Electrical structure of the upper mantle beneath Central Europe: Results of the CEMES project. *Acta Geophysica* 56(4), 957—981.
- 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 K., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O. M., Ilchenko T. V., Lysynchuk D. V., Skobolev V. M., Doody J. J., 2003. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripjat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics* 371(1—4), 41—79.

Goelectric model of consolidated Earth's crust and upper mantle along the geotraverse EUROBRIDGE-97

© V. N. Astapenko, I. M. Logvinov, 2014

Along the profile EUROBRIDGE'97 11 local objects of low resistance (OLR) on the results of the two-dimensional inversion of magnetotelluric sounding have been found. Most of the objects are located in the transition layer of the crust. In the upper mantle of the northern part of the Pripjat Trough and of the south of the Ukrainian Shield conductivity objects spatially consistent with the high values of heat flow were found. Connection of OPS with seismic sections along the profile has been considered.

Key words: electrical conductivity, the crust, Pripjat Trough, Ukrainian Shield.

References

- Astapenko V. N., 2012. The Earth's crust and mantle on the territory of Belarus magnetotelluric data. Minsk: Ekonompress, 208 p. (in Russian).
- Bistrevskaya S. S., Pashkevich I. K., 1979. About trans-regional deep zone prolonged activation within the East European Platform. *Geologicheskij zhurnal* (6), 57—64 (in Russian).

- Burakhovich T. K., Kulik S. N., Logvinov I. M., Gordienko I. V., Tarasov V. N., 1997. Conductivity crust of the n-w Ukrainian shield. *Doklady NAN Ukrainsy* (10), 125—128 (in Russian).
- Deep structure and dynamics of Earth's interior territory of the Republic of Belarus, 1991. Minsk: Navuka i tehnika, 317 p. (in Russian).
- Garetsky R. G., Klushin S. V., 1987. Deep structure of the Pripyat paleorift. *Doklady AN SSSR* 297(6), 1448—1442 (in Russian).
- Garetsky R. G., Klushin S. V., 1989. Listric faults in the Pripyat Trough. *Geotectonica* (1), 48—60 (in Russian).
- Garetsky R. G., Karataev G. I., Astapenko V. N., Dankevich I. V., 2002. Geophysical fields and dynamics tectonosphere Belarus. Minsk: IGS NAS of Belarus, 166 p. (in Russian).
- Geology Belarus, 2001. Eds R. G. Garetsky, A. V. Matveev, A. S. Mahnach. Minsk: IGS NAS of Belarus, 815 p. (in Russian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Logvinov I. M., 2007. Thermal field and electric conductors in the crust and upper mantle of Ukraine. *Fizika Zemli* 4, 28—34 (in Russian). doi:10.1134/S1069351307040052.
- Ilchenko T. V., 2002. The results of research by the DSS transect EUROBRIDGE'97. *Geofizicheskij zhurnal* 24(3), 36—50 (in Russian).
- Ingepov A. I., 1989. Results of the study of the crystalline basement of the Ukrainian shield electromagnetic sounding. Abstract of the thesis. Cand. geol. and mineral. sci. diss. Dnepropetrovsk, 16 p. (in Russian).
- Logvinov I. M., 2012. Geoelectrical parameters of the crust and mantle south-west of the East-European platform and Carpathians: Dr. geol. sci. diss. Kiev, 306 p. (in Russian).
- Logvinov I. M., Tarasov V. M., 2010. Geoelectric parameters crustal Dnieper-Elbe area in the East-European platform according to the one-dimensional inversion of magnetotelluric sounding. *Geofizicheskij zhurnal* 32(5), 61—68 (in Russian).
- Logvinov I. M., Tarasov V. N., 2003. Magnetovariational parameters according geomagnetic observatories of Ukraine. *Dopovidi NAN Ukrainsy* (2), 118—123 (in Russian).
- Logvinov I. M., Tarasov V. N., Didenko L. P., 2006. Deep geoelectrical section along a seismic profile EUROBRIDGE'97. *Dopovidi NAN Ukrainsy* (6), 120—125 (in Russian).
- Rokityanskiy I. I., 1975. Investigation of the electrical conductivity anomalies magnetovariational profiling method. Kiev: Naukova Dumka, 279 p. (in Russian).
- Seismogeology Pripyat Trough, 1990. Ed. R. G. Garetsky. Minsk: Nauka i tehnika, 162 p. (in Russian).
- Tregubenko V. I., Finchuk L. L., Beloshapskaya N. V., 1989. Results of regional works by MTZ north-western part of the USSR. Kiev: Geoinform, 130 p. (in Russian).
- Tregubenko V. I., Meged G. V., Gornjak Z. V., Vasilenko V. A., 1994. Results areal survey MTZ at a scale 1 : 2 500 000 in the western part of Ukraine. Kiev: Geoinform, 210 p. (in Russian).
- Ingerov A. I., Rokityansky I. I., Tregubenko V. I., 1999. Forty years of MTS studies in the Ukraine. *Earth Planets Space* 51, 1127—1133.
- Semenov V. Yu., Pek J., Adam A., Jozwiak W., Ladanvskyy B., Logvinov I., Pushkarev P., Vozar J., 2008. Electrical structure of the upper mantle beneath Central Europe: Results of the CEMES project. *Acta Geophysica* 56(4), 957—981.
- Thybo H., Janik T., Omelchenko V. D., Grad M., Garetsky R. G., Belinsky A. A., Karatayev G. I., Zlotzki G., Knudsen E., Sand R., Yliniemi J., Tiirio T., Luosto U., Komminaho K., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O. M., Ilchenko T. V., Lysynchuk D. V., Skobolev V. M., Doody J. J., 2003. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics* 371(1—4), 41—79.