

Геоэлектрические аномалии Украинского щита и их связь с рудопроявлениями полезных ископаемых

© Т. К. Бурахович¹, И. Ю. Николаев², Е. М. Шеремет², Б. И. Ширков¹, 2015

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 27 августа 2015 г.

Представлено членом реколлегии В. Н. Шуманом

Наведено результати сучасних експериментальних електромагнітних досліджень, виконаних у 2005—2014 рр. уздовж 13 профілів, розташованих переважно у в шовних зонах Українського щита. Основний результат геоелектричних досліджень щита — виявлення численних локальних і регіональних аномалій електропровідності за даними 3D моделювання; наявність низькоомних глибинних аномалій, приурочених до зон метасоматозу уздовж протяжних зон розломів; спряженість низькоомних аномалій та металогенічних рудних вузлів і геохімічних аномалій.

Ключові слова: експериментальні електромагнітні дослідження, аномалії електропровідності, зони глибинних розломів, Український щит, родовища корисних копалин.

Введение. Шовные зоны (как правило, протяженные линейные структуры, моложе мегаблоков, которые их ограничивают) могут содержать формации, соответствующие нескольким этапам образования земной коры мегаблоков. Не все эти структуры хорошо изучены и общепризнанны. В геоэлектрическом отношении все шовные зоны в той или иной степени сопровождаются аномалиями высокой электропроводности на разных глубинах в земной коре. Прогнозированию месторождений полезных ископаемых в докембрии на основе создания геолого-геофизических моделей шовных зон Украинского щита (УЩ) посвящен цикл монографий [Геолого-геоэлектрическая..., 2005; Геолого-геофизическая..., 2006, 2008, 2009; Шеремет и др., 2013].

В большинстве случаев электрические параметры горных пород, слагающих верхнюю часть разреза, позволяют выявлять рудопроявления благодаря метасоматическим изменениям окolorудных пород, сопровождающимся высокопроводящими образованиями. В связи с этим становится понятным интерес геологов к выделению высокопроводящих зон в коре и мантии. Значительное расширение объемов электроразведочных работ с применением методов магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и магнитовариационного профилирования (МВП) при поисках и разведке рудных месторождений отмечено в работах [Куликов

и др., 2011; Варенцов и др., 2013]. В работе [Белявский и др., 2004] проанализирована приуроченность золоторудных месторождений к аномалиям повышенной электропроводности. Некоторые аспекты связи урановых проявлений альбититовой формации, золоторудных месторождений и проявлений графита с аномалиями электропроводности, полученными в результате построения объемной модели земной коры центральной части УЩ, приведены в статье [Николаев и др., 2013]. Использование результатов геоэлектрических исследований для прогнозирования месторождений полезных ископаемых на территории УЩ и их связь с глубинными аномалиями повышенной электропроводности рассмотрена в работах [Белявский и др., 2001; Варенцов, 2013; Варенцов и др., 2013; Кировоградский..., 2013; Шеремет и др., 2013].

Ниже приводится краткое рассмотрение экспериментальных геоэлектрических исследований, положенных в основу подобного прогнозирования.

Геоэлектрические исследования. Сегодня на территории УЩ накоплен громадный экспериментальный материал — кривые кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k) и индукционные параметры в диапазоне периодов 0,1—2000 с, полученные цифровыми электроразведочными станциями ЦЭС-2 [Ингерров, Рокитянский, 1993; Трегубенко и

др., 1994; Vaysorovich et al., 1998], и данные глубинных МТЗ в широком диапазоне периодов вплоть до суточных, выполненных Институтом геофизики НАН Украины аналоговыми станциями МЭВС-5 [Бурахович и др., 1988]. Результаты исследований методами МТЗ и МВП с использованием автоматических цифровых магнитотеллурических станций и их обработка современными программными комплексами были опубликованы в работе [Гордиенко и др., 2005].

Совместными работами Институтов НАН Украины при создании геолого-геофизических моделей шовных зон на территории УЩ

[Геолого-геоэлектрическая..., 2005; Геолого-геофизическая..., 2006, 2008; 2009] были проведены экспериментальные МТ и МВ исследования с помощью современных цифровых станций LEM1-410 и LEM1-417, разработанных Львовским центром Института космических исследований. Обработка полевых материалов осуществлялась на основе программного комплекса PRC_MTMV [Varentsov, 2007].

Согласно последним представлениям, УЩ состоит из шести мегаблоков с тремя шовными зонами, в соответствии с корреляционной хроностратиграфической схемой раннего докембрия [Кореляційна..., 2004]. С позиции

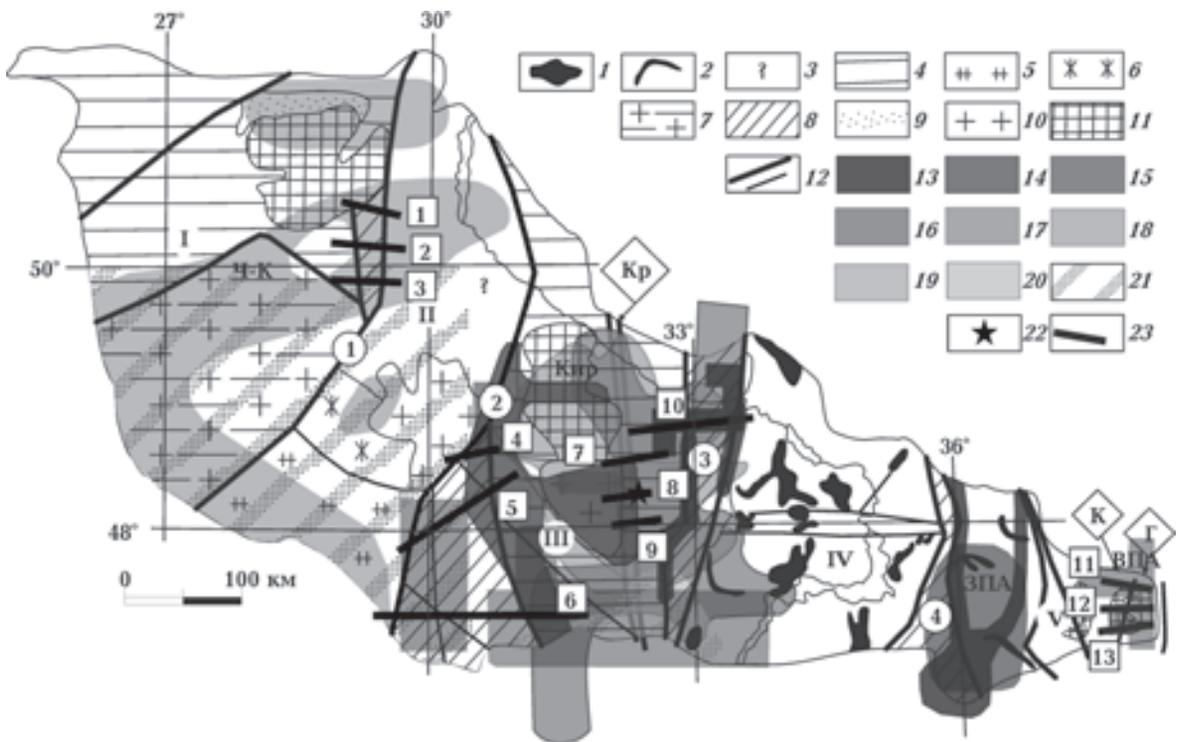


Рис. 1. Современные экспериментальные МТ и МВ исследования, 3D аномалии электропроводности в земной коре и верхней мантии на схеме обобщенного вещественного состава мегаблоков УЩ, по [Глевасский, 2005]: 1–8 — гранитные и метаморфические комплексы (1–4 — гранит-зеленокаменные, архейские (1 — удовлетворительной сохранности, 2 — преобразованные в протерозое, сильно эродированные, 3 — условно гранит-зеленокаменные, интенсивно преобразованные в протерозое, 4 — гранитогнейсовые, протерозойские); 5–7 — детализация вещественного состава геоблоков на более глубинном срезе относительно отраженного в их названиях (5 — глубокоом (гранулиты, чарнокитоиды), 6, 7 — среднем (6 — собиты, 7 — Бердичевские граниты)); 8 — комплексы шовных зон, нерасчлененные; 9–11 — характерные структурно-формационные зоны и крупные массивы магматитов (9 — Овручская, 10 — калиевых гранитов, 11 — рапакиви-габбро-лабрадоритов и (Приазовский геоблок) субщелочных гранитов, щелочных и нефелиновых сиенитов, габбро-сиенитов); 12 — главные разломы; 13–21 — аномалии повышенной электропроводности по данным трехмерного моделирования с верхней кромкой на глубине (13 — 0÷100 м, 14 — 2 км, 15 — 5 км, 16 — 10 км, 17 — 15 км, 18 — 20 км, 19 — 25 км, 20 — 30 км, 21 — 50÷70 км; Ч-К — Черновицко-Коростенская, Кир — Кировоградская, ЗПА — западного Приазовья, ВПА — восточного Приазовья); 22 — Клинцовское месторождение золота; 23 — линии профилей МТЗ (цифры в квадратах): 1 — Макаровский, 2 — Сквировский, 3 — Фастовский, 4 — Уманский, 5 — Первомайский, 6 — Довжанка—Бутское, 7 — Кировоградский, 8 — Клинцовский, 9 — Бобринецкий, 10 — Lemi-1, 11 — Тельмановский, 12 — Хомутовский, 13 — Кузнецовский. Мегаблоки: I — Вольно-Подольский, II — Бугско-Росинский, III — Ингульский, IV — Среднеприднепровский, V — Приазовский. Шовные зоны (цифры в кружках): 1 — Немировско-Кочеровская, 2 — Голованевская, 3 — Ингулецко-Криворожская, 4 — Орехово-Павлоградская.

Зоны разломов в пределах мегаблоков: Кр — Кировоградская; К — Кальмиусская; Г — Грузско-Еланчикская.

тектоники плит шовные зоны рассматриваются Е. Б. Глевасским как швы закрытых в прошлом межмикроконтинентальных бассейнов, которые существовали в архее и протерозое [Глевасский, Каляев, 2000]. Фрагменты раннедокембрийских микроконтинентов, между которыми расположились эти бассейны, и есть современные мегаблоки УЩ. В схеме обобщенного вещественного состава УЩ выделена еще одна шовная зона — Немирово-Кочеровская, разделяющая Волынский, Подольский и Бугско-Росинский мегаблоки и объединяющая Звиздаль-Залесскую, Немировскую, Брусиловскую и другие глубинные зоны разломов (ЗР) западной части УЩ (рис. 1).

В 2008 г. были проведены геоэлектрические работы методами МТЗ и МВП по трем профилям — Макаровскому (длиной 49 км, 9 точек наблюдения), Фастовскому (65 км, 11 точек наблюдения) и Сквировскому (58 км, 9 точек наблюдения) [Геолого-геофизическая..., 2009]. Вдоль Сквировского профиля ρ_k характеризуется очень высокими значениями, достигающими до 3—15 кОм·м в Бердичевском блоке, до 1,5—2 кОм·м в Брусиловской межблоковой зоне, а на востоке, в Белоцерковском блоке — до 300—750 Ом·м. Вдоль Фастовского профиля низкоомная Кочеровская структура (ρ_k от 175 до 300 Ом·м, а между Кочеровским и Брусиловскими разломами от 10 до 125 Ом·м) разгра-

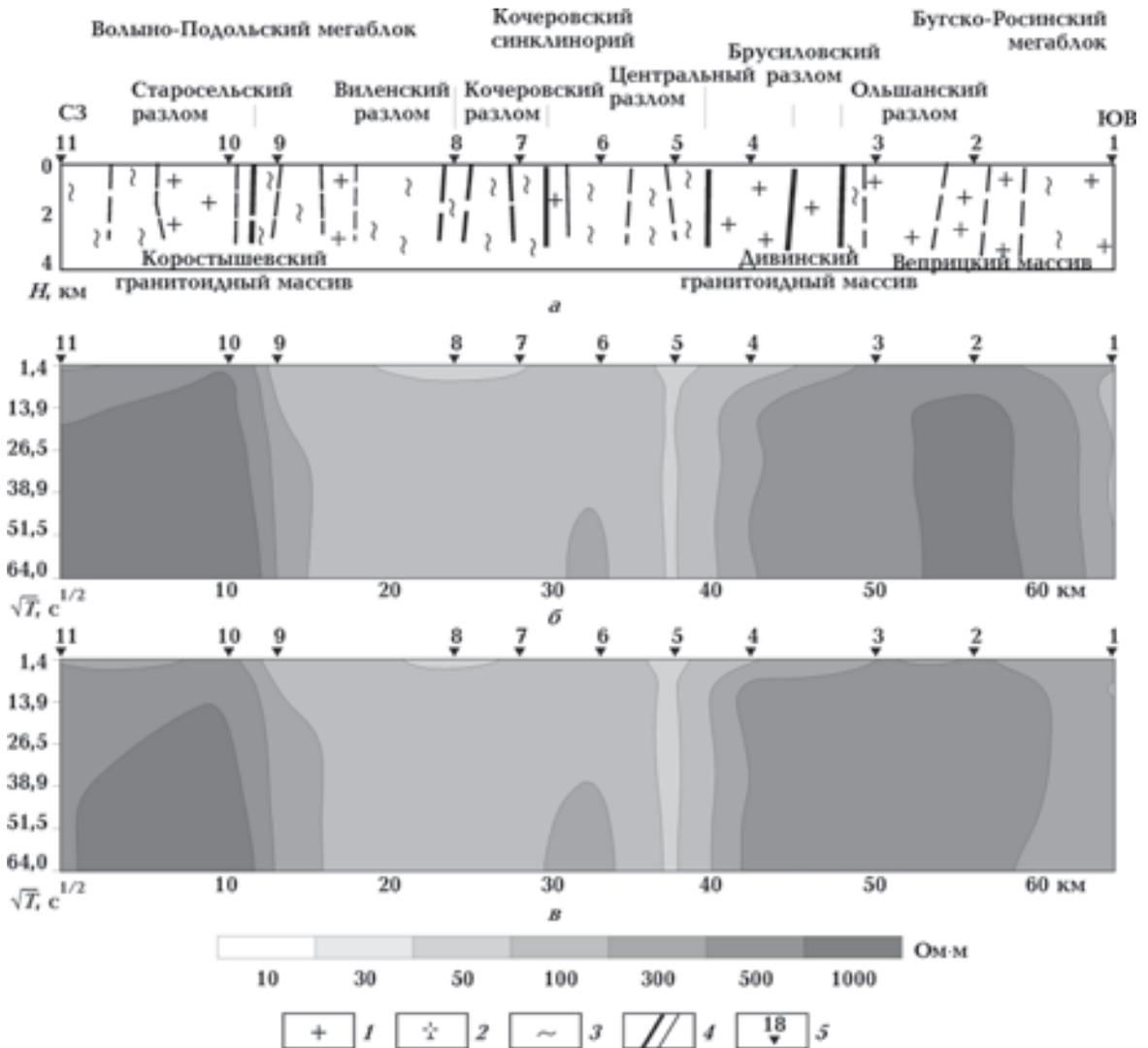


Рис. 2. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{сЮ}$), в — субширотной ($\rho_{в3}$)) по линии Фастовского профиля: 1 — граниты и мигматиты, 2 — плагиограниты и плагиомигматиты, 3 — гнейсы и амфиболиты, 4 — разрывные нарушения (глубинные разломы, нарушения второго порядка), 5 — пункты МТЗ.

ничивает Макаровский и Коростышевский блоки глубинными Виленским и Вильшанским разломами (рис. 2). Блоковая структура вдоль Макаровского профиля плохо отражается в геоэлектрических данных, сохраняя высокий уровень электросопротивления (3—5 кОм·м). Глубинные разломы, такие как Старосельский, Виленский, Кочеровский, Центральный, Брусиловский и Вильшанский, выделяются низкоомными субвертикальными аномалиями во всем диапазоне периодов.

На основе экспериментальных наблюдений геомагнитных вариаций [Ингеров, 1988] на периоде $T=150$ с были проанализированы схемы модулей индукционных параметров — субши-

ротной (C_x) и субмеридиональной (C_y) компонент [Шеремет и др., 2010; Николаев и др., 2013; Бурахович, Ширков, 2015]. Центральная часть УЩ характеризуется резкими латеральными неоднородностями с градиентами, которые значительно меньше пространственной длины волны электромагнитного поля. Это вызвано в значительной степени неоднородным в горизонтальном плане распределением электропроводности пород.

В Голованевской шовной зоне (ГШЗ) [Кулик и др., 1988, Ингеров, Рокитянский, 1993] отмечено несколько особенностей поведения кривых МТЗ. Прежде всего, на многих кривых наблюдаются минимумы в диапазоне перио-

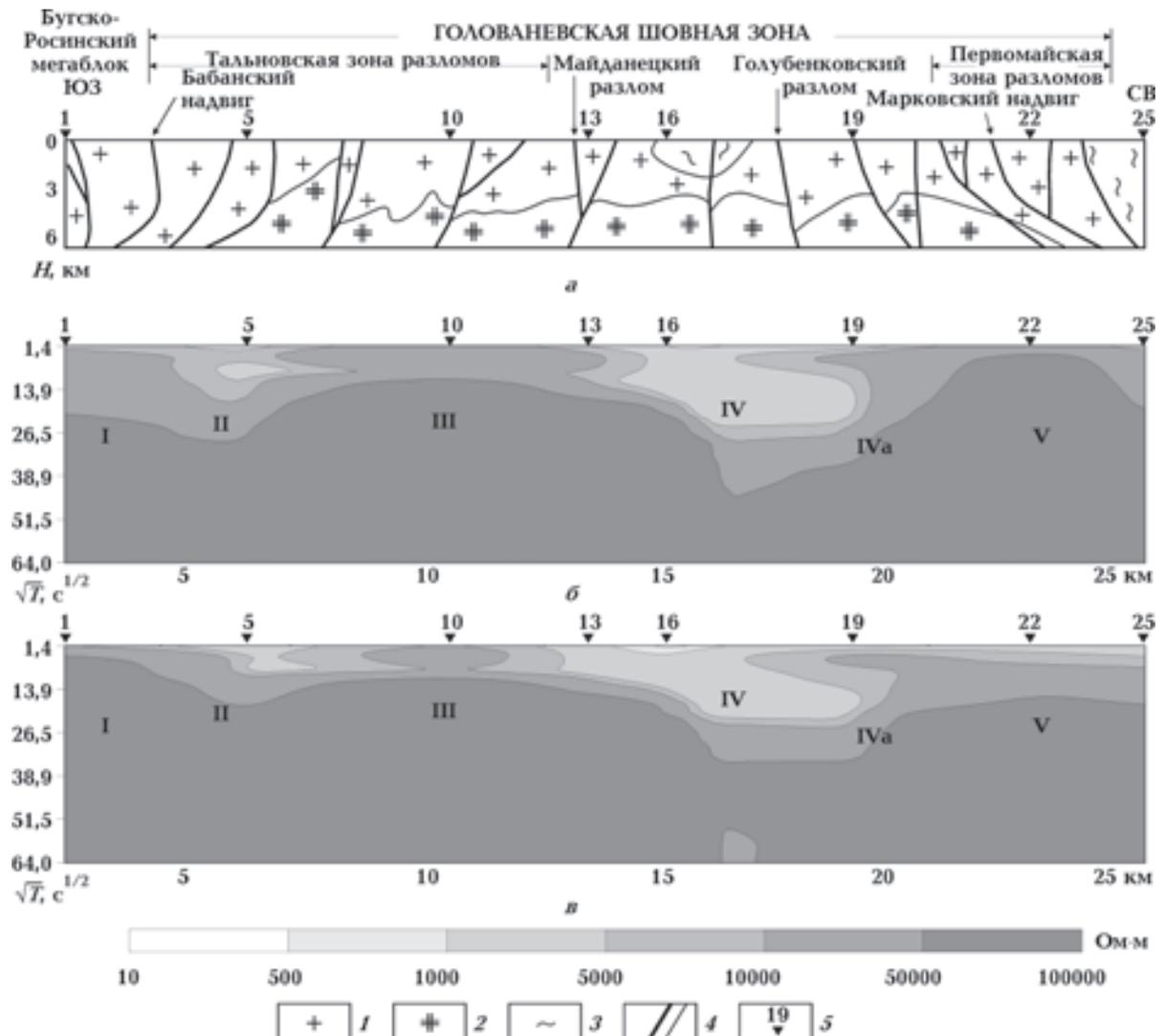


Рис. 3. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной (ρ_{cy}), в — субширотной (ρ_{bx})) по линии Уманского профиля: 1 — граниты и мигматиты, 2 — эндербиты, 3 — гнейсы и амфиболиты, 4 — разрывные нарушения (глубинные разломы, нарушения второго порядка), 5 — пункты МТЗ. Римскими цифрами даны номера интерпретируемых блоков по геоэлектрическим данным.

дов 60—120 с и более. Значения ρ_k в диапазоне больших периодов указывают на большие гальванические эффекты, которые вызваны приповерхностными, в данном случае проводящими локальными трехмерными неоднородностями и которые влияют на значения импеданса во всем измеряемом диапазоне периодов геомагнитных вариаций.

В 2007 г. геоэлектрические исследования ГШЗ [Геолого-геофизическая..., 2008] были выполнены методами МТЗ и аудио МТЗ (АМТЗ) вдоль Уманского и Первомайского профилей (см. рис. 1). На амплитудном разрезе (рис. 3) выделяется несколько блоков с различными значениями электросопротивления: I (Росинско-Бугский мегаблок и участок

между Тальновским и Вradiевским глубинными ЗР), III (участок между Тальновской ЗР и западной частью ГШЗ), IVa и V (часть ГШЗ и Ингульского мегаблока за Первомайской ЗР), характеризующиеся высокими значениями ρ_k (от 3 до 30 кОм·м) во всем частотном диапазоне, II (восточная часть Тальновской ЗР) и IV (ГШЗ) с дифференцированными значениями от 100—1000 Ом·м (на коротких периодах) до 10—30 кОм·м (на длинных периодах).

Особенно четко фиксируются глубинные разломы. В пределах Тальновской ЗР (между 2-й и 9-й точками МТЗ) выделяется проводник с $\rho_k=10\div 500$ Ом·м. Такие же участки, где наблюдается увеличение ρ_k от 0,5—3 до 3—10 кОм·м с глубиной, соответствуют местоположению

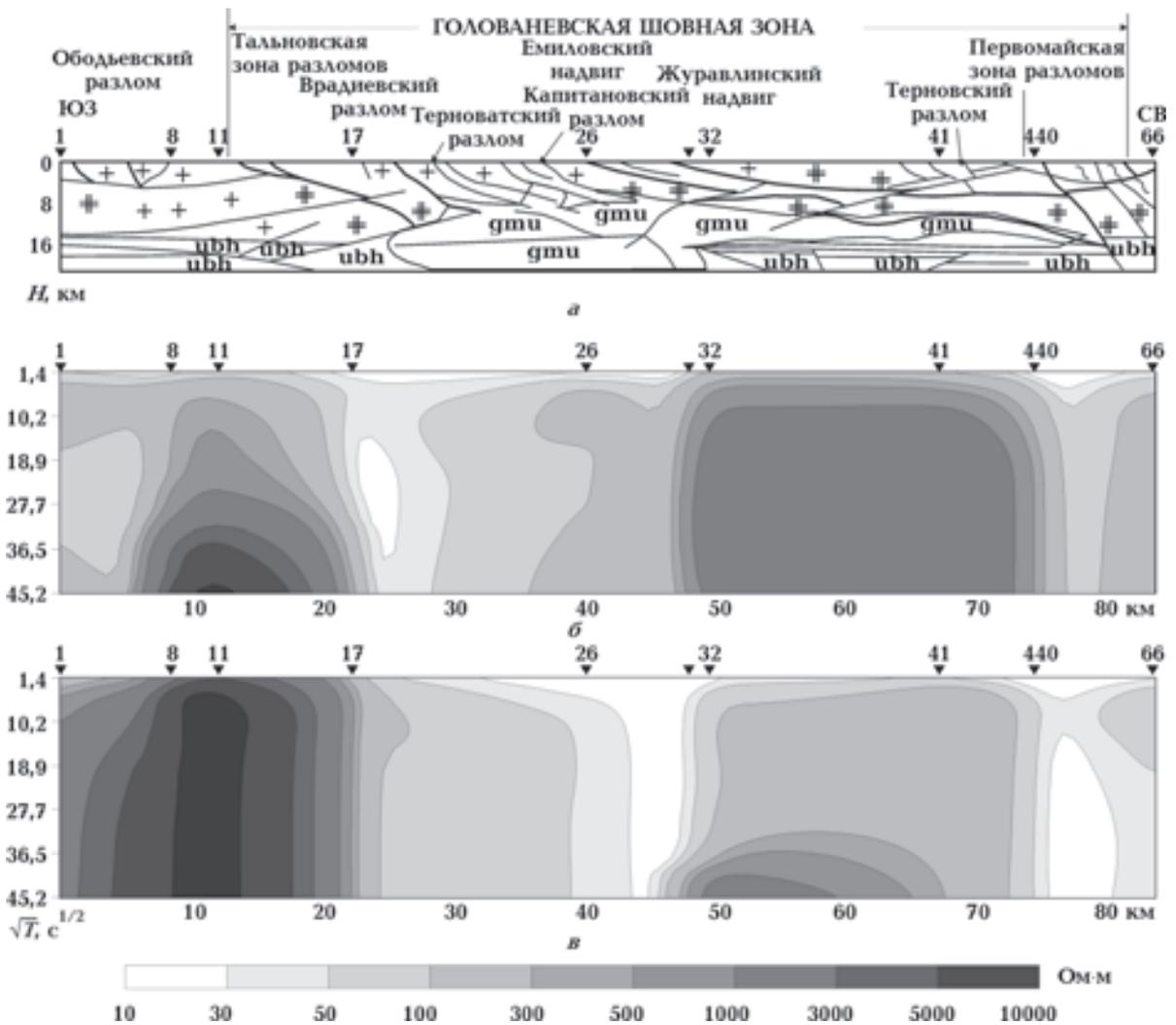


Рис. 4. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{с0}$), в — субширотной ($\rho_{с1}$)) по линии Первомайского профиля. Условные обозначения см. на рис. 3. gmu — глубинные мафиты и ультрамафиты, ubh — условный базальтовый слой.

Врадиевской, Первомайской и другим второстепенным ЗР внутри ГШЗ. Вся область ГШЗ между Тальновской и Первомайской глубинными ЗР по Первомайскому профилю раздроблена многочисленными разломами, такими как Врадиевский, Терноватский, Капитановский, Сухоташлыкский, Емиловский. Многие из них проявляются в виде широких субвертикальных низкоомных аномалий с ρ_k от 30 до 300 Ом·м (рис. 4).

В 2014 г. в южной части ГШЗ, в районе перехода от УЩ к Причерноморской впадине (см. рис. 1), были проведены полевые работы методами МТЗ и МВП по профилю Довжанка—Бугское [Ширков та ін., 2015]. Его длина составляет 200 км, шаг измерений 10—15 км, количество точек измерений — 18 (17 из них МТЗ, 18 — МВП, 15 — с синхронной записью).

На псевдоразрезах ρ_k есть несколько ярко выраженных субвертикальных зон пониженных значений (рис. 5), которые четко соотносятся с тектоническими элементами этого региона: 1) на 10—12 км понижение значений до 50 Ом·м на фоне 500 Ом·м совпадает с Подольской глубинной ЗР; 2) на 39—42 км — с Тальновской ЗР, которая характеризуется ρ_k менее 50 Ом·м; 3) на 62—70 км — с Гвоздавским разломом, который слабо проявился на псевдоразрезах $\rho_{с\text{ю}}$ и $\rho_{\text{эф}}$, но явно выделяется в $\rho_{\text{вз}}$; 4) на 62—70 км с ρ_k порядка 5—100 Ом·м; особенно хорошо на псевдоразрезах всех компо-

нент ρ_k отразилась Врадиевская ЗР (90—112 км по профилю, $\rho_k=5\div 50$ Ом·м); 5) в районе Первомайской ЗР (155—160 км) проявляется понижение сопротивления до 100 Ом·м.

Псевдоразрезы фаз импеданса (рис. 6) также отражают аномальное распределение электрической проводимости в земной коре и, возможно, в мантии ГШЗ. На профиле северной фазы импеданса ($\varphi_{\text{св}}$) это области 0—10, 30—90 и 110—120 км, где значения ниже -75° . В восточном направлении ($\varphi_{\text{вз}}$) зона таких низких значений только одна (97—104 км), она менее глубокая и соответствует месту пересечения профилем Врадиевской ЗР. Распределение эффективных фаз ($\varphi_{\text{эф}}$) импеданса в общих чертах напоминает псевдоразрез $\varphi_{\text{с\text{ю}}}$, с той лишь разницей, что значения большие и редко достигают -75° .

Так, Причерноморская впадина достаточно ярко отразилась в северной компоненте, о чем свидетельствует ее общая направленность на север. Влияние Кировоградской аномалии электропроводности ощущается на расстоянии до 120 км и выражено в основном в западной ориентации, слабо реагируя на более локальные объекты. Это зоны приближенных к нулю (рис. 7) значений: на 4—10 км (Подольская ЗР), 34—42 км (Тальновская ЗР), 63—95 км (частично Гвоздавская и Врадиевская ЗР), 127—131 и 150—180 км (Первомайская ЗР).

Их повышенная их проводимость обуслов-

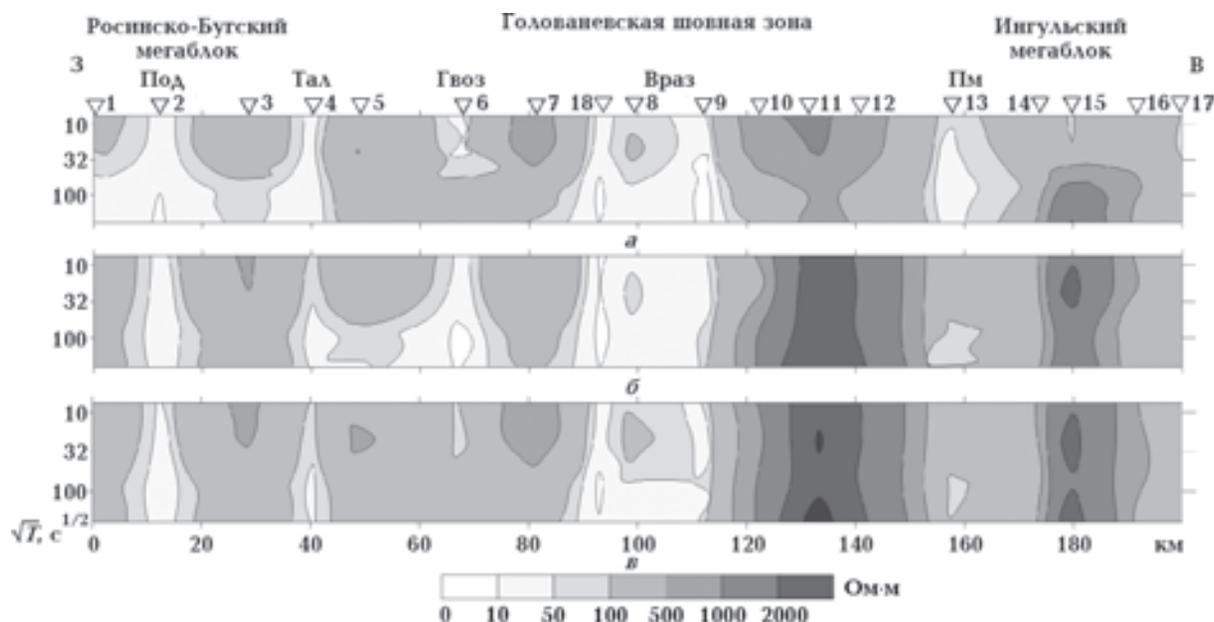


Рис. 5. Псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (а — субмеридианальной ($\rho_{с\text{ю}}$), б — субширотной ($\rho_{\text{вз}}$), в — эффективной ($\rho_{\text{эф}}$)) по линии профиля Довжанка—Бугское. Зоны глубинных разломов: Под — Подольская, Тал — Тальновская, Гвоз — Гвоздавская, Врад — Врадиевская, Пм — Первомайская.

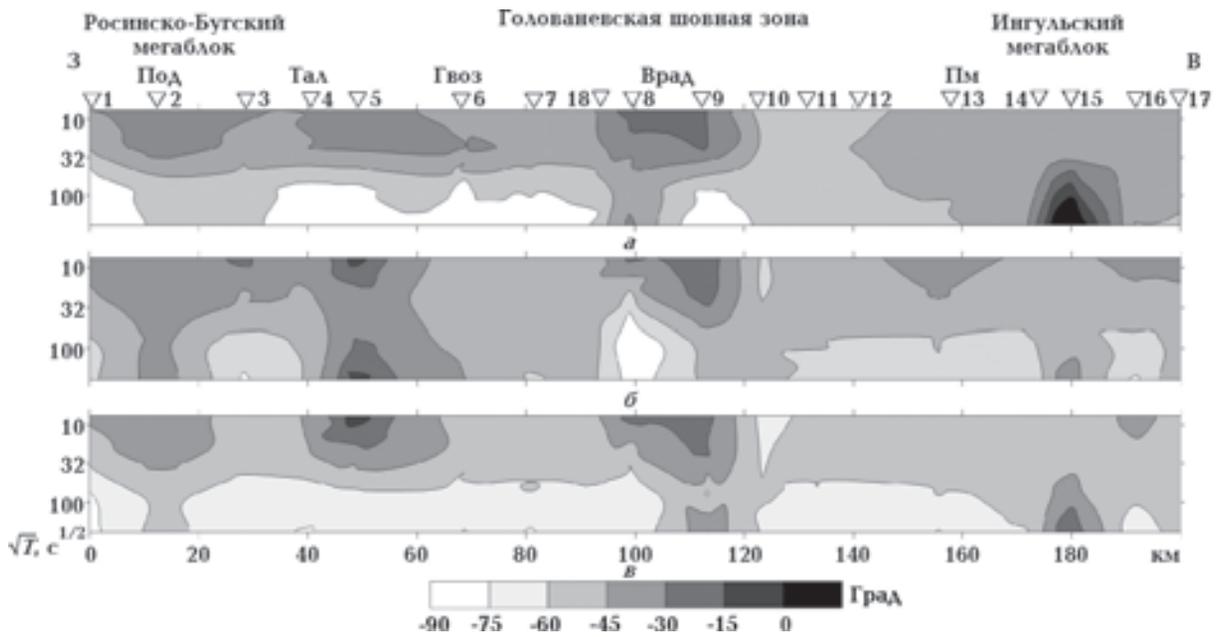


Рис. 6. Псевдоразрезы распределения фаз импедансов по линии профиля Довжанка—Бутское: а — $\varphi_{\text{сЮ}}$, б — $\varphi_{\text{вз}}$, в — $\varphi_{\text{эф}}$. Условные обозначения см. на рис. 5.

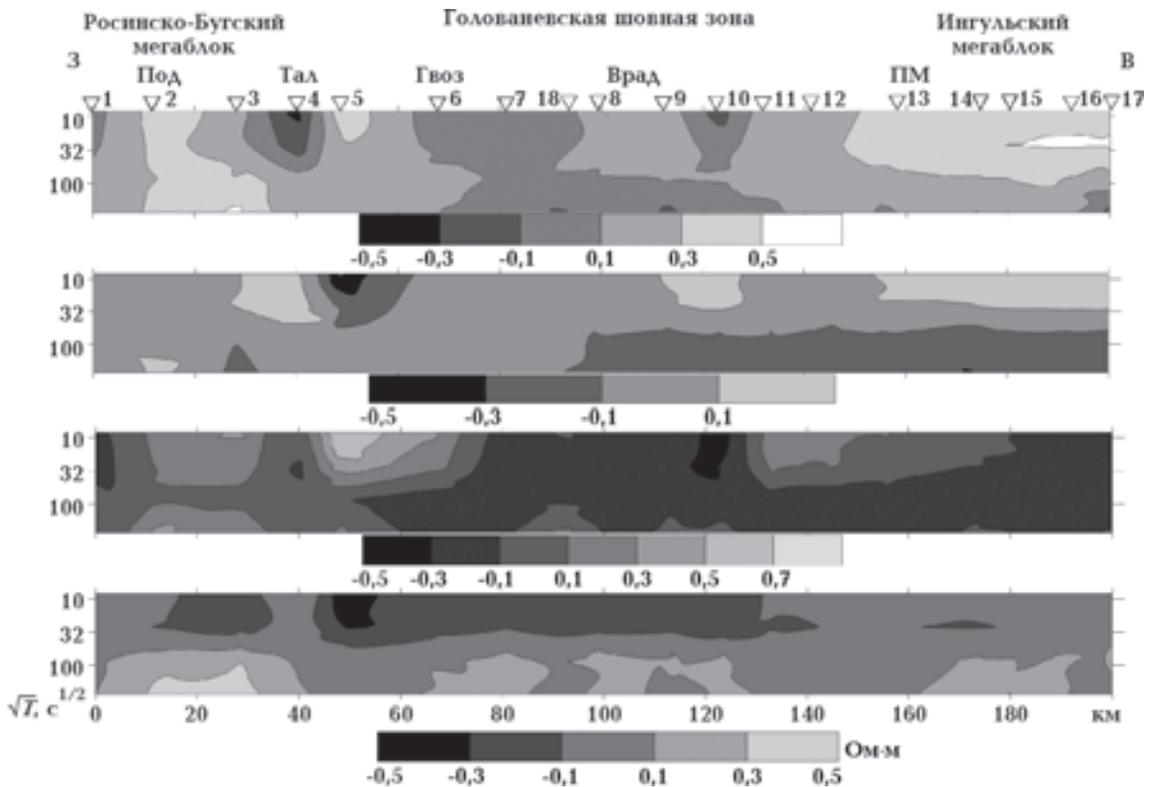


Рис. 7. Псевдоразрезы распределения реальной и мнимой северной ($\text{VEC_Re}_{\text{сЮ}}$ и $\text{VEC_Im}_{\text{сЮ}}$) и восточной ($\text{VEC_Re}_{\text{вз}}$ и $\text{VEC_Im}_{\text{вз}}$) компонент типпера по линии профиля Довжанка—Бутское. Условные обозначения см. на рис. 5.

лена в первую очередь наличием в составе основных пород графита и сульфидов как вдоль глубинных разломов (в зонах метасоматоза пород), так и в площадном распростране-

нии графитосодержащих гнейсов и сланцев.

Вкрест простирания Кировоградской глубинной ЗР (см. рис. 1) пройдено три профиля МТЗ: Кировоградский, Клиновский и Бобри-

нецкий. Количество физических точек на профиле — 8, 7, 6 соответственно, среднее расстояние между точками составляет 4 км. Амплитудные кривые ρ_k и индукционные параметры в диапазоне периодов 100—3500 с опубликованы в работе [Николаев и др., 2013].

Наиболее низкоомная область $\rho_k=10\div 50$ Ом·м на всю глубину разреза приурочена к Кировоградской ЗР (рис. 8), а на ПК 5 и ПК 6 — к глубинным ЗР, между которыми расположены Клинцовское и Юрьевское месторождения золота (рис. 9).

Область низкоомных аномалий охватывает практически весь Бобринецкий профиль (рис. 10).

Профиль МТЗ LEM1-1 [Геолого-геофизическая..., 2006] длиной 98 км был пройден в северной части Ингулецко-Криворожской шовной зоны (ИКШЗ) (см. рис. 1). Объем измерений составил 13 физических точек, шаг наблюдений — от 4,9 до 11,8 км.

В электромагнитном поле геологическое строение региона исследований характеризуется высокими значениями электросопротивления (рис. 11). Низкоомные субвертикальные узкие аномалии приурочены к Криворожско-Кременчугской ЗР в районе Млынковской синклинали; границе между ИКШЗ и Ингульским блоком (Западно-Ингулецкая ЗР); восточной (Ивановский разлом) и западной (Знаменский

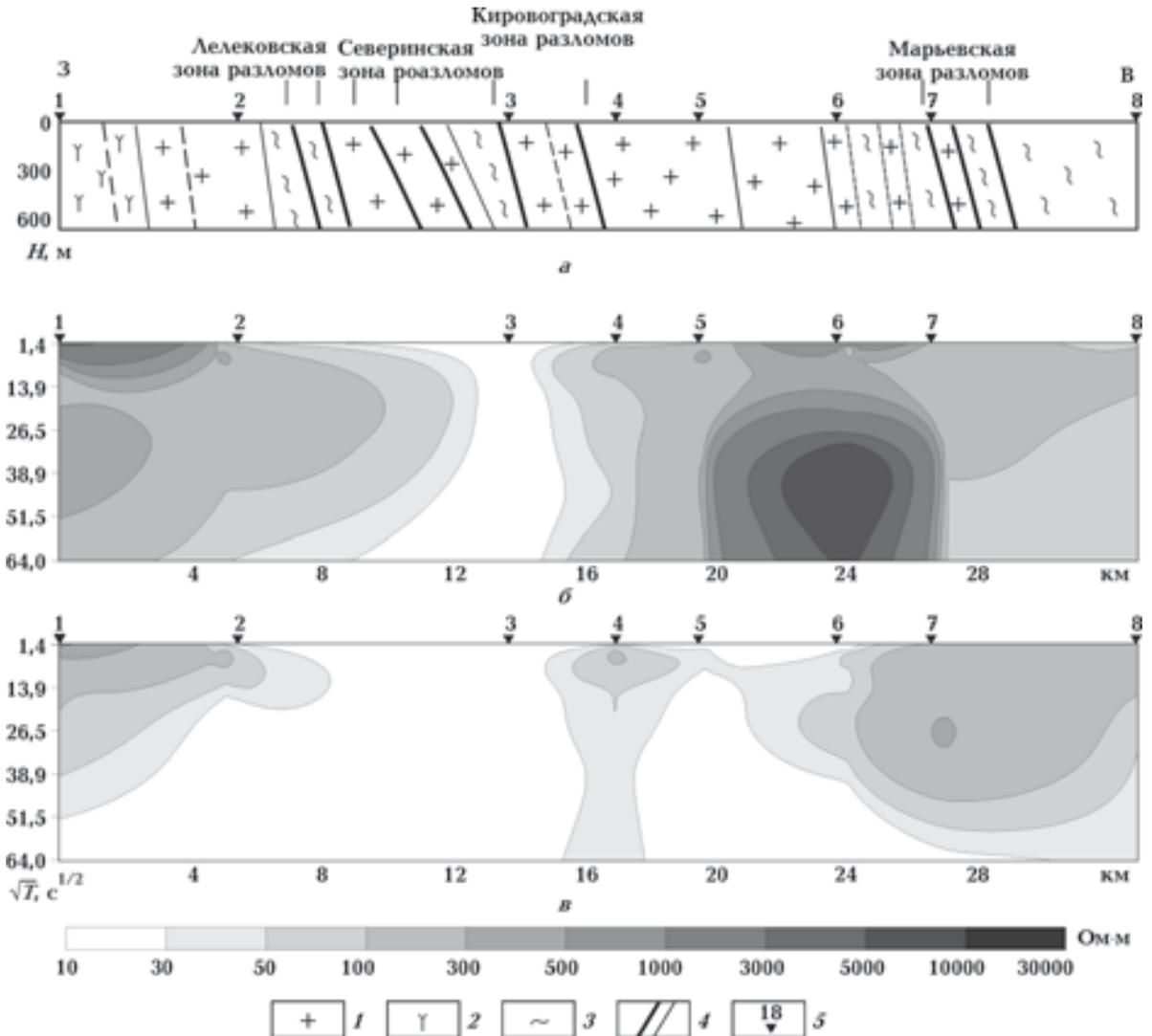


Рис. 8. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{с\gamma}$), в — субширотной ($\rho_{в3}$)) по линии Кировоградского профиля: 1 — граниты и мигматиты, 2 — сиениты, 3 — гнейсы и амфиболиты, 4 — разрывные нарушения (глубинные разломы, нарушения второго порядка), 5 — пункты МТЗ.

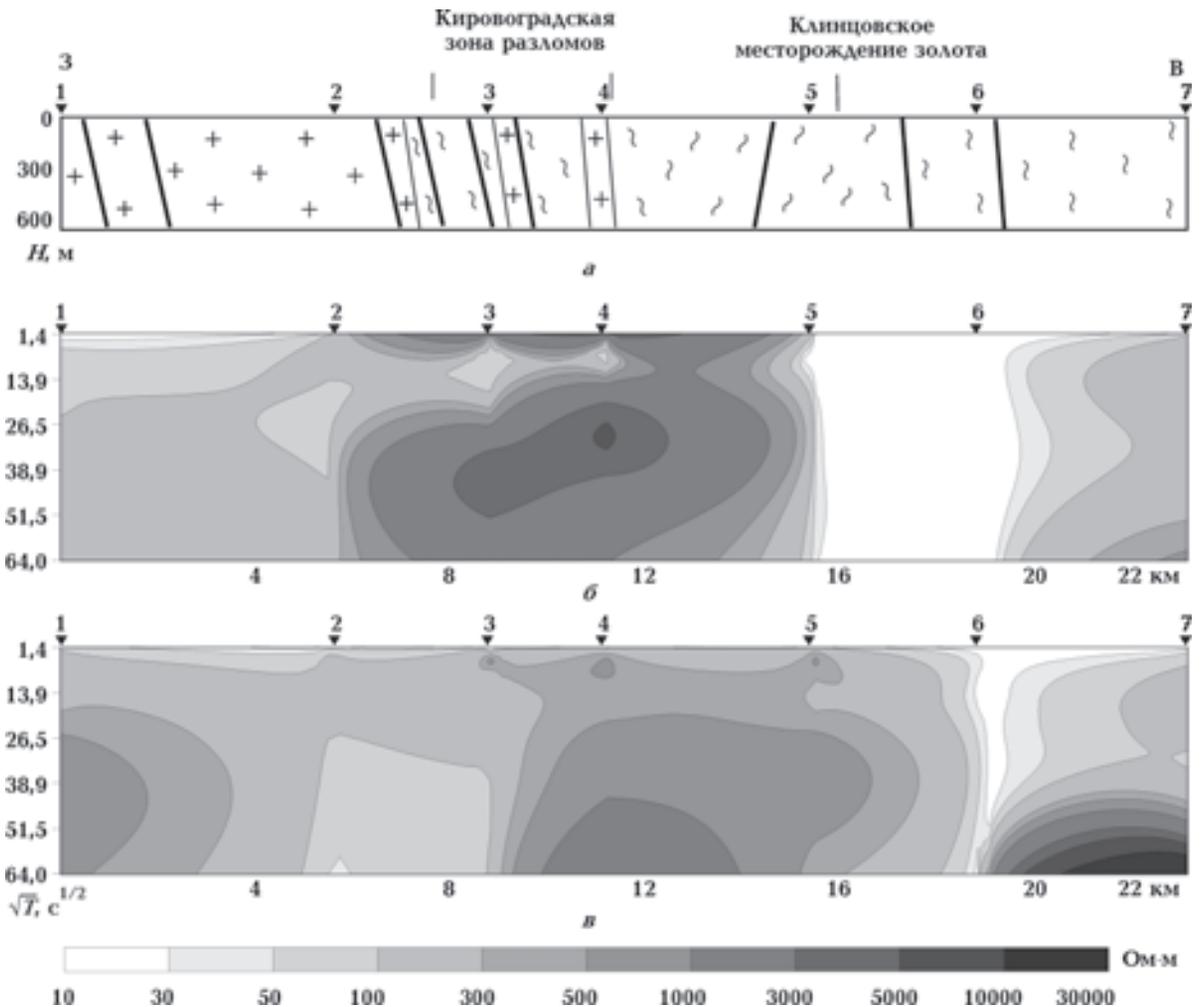


Рис. 9. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{сю}$), в — субширотной ($\rho_{вз}$)) по линии Клинцовского профиля. Условные обозначения см. на рис. 2.

разлом) границам Дмитриевской синклинали и др. Породы здесь представлены преимущественно плагиогранитами и плагиомигматитами, гнейсогранитовыми и метафлишoidalными формациями.

Особый интерес на территории УЩ представляет Восточное Приазовье как докембрийская субщелочная провинция с редкометалльно-редкоземельными рудопоявлениями и месторождениями. К рудогенерирующим следует отнести шовную зону Центрального Приазовья, включающую глубинные разломы Мангушского синклинория, Грузско-Еланчикскую зону восточного ограничения Приазовского мегаблока и Кальмиусскую глубинную ЗР.

Изучение этих структур геоэлектрическими методами (см. рис. 1) проводилось по Тельмановскому (длина 36 км, 9 точек наблюдения), Хомутовскому (34 км, 8 точек наблюдения) и

Кузнецовскому (35 км, 8 точек наблюдения) профилям [Шеремет и др., 2010]. Весь геоэлектрический разрез вдоль профилей субширотного простираения (Тельмановского и Хомутовского) можно представить как чередование высокоомных ($\rho_k > 1000$ Ом·м) и низкоомных ($\rho_k = 100$ Ом·м) зон (рис. 12). Большинство кривых МТЗ имеют минимумы на периодах выше 100 с, их качественная интерпретация предполагает существование проводника с верхней кромкой на глубине от 10 до 50 км. Суммарная продольная проводимость около 1000 См. Низкоомные аномалии тяготеют к глубинным Грузско-Еланчикской, Кальмиусской и Криворожско-Павловской ЗР. Если Кальмиусская ЗР не вся проявляется как область высокой проводимости, то Грузско-Еланчикская ЗР значительно шире по геоэлектрическим данным, чем на геологической схеме. Природа

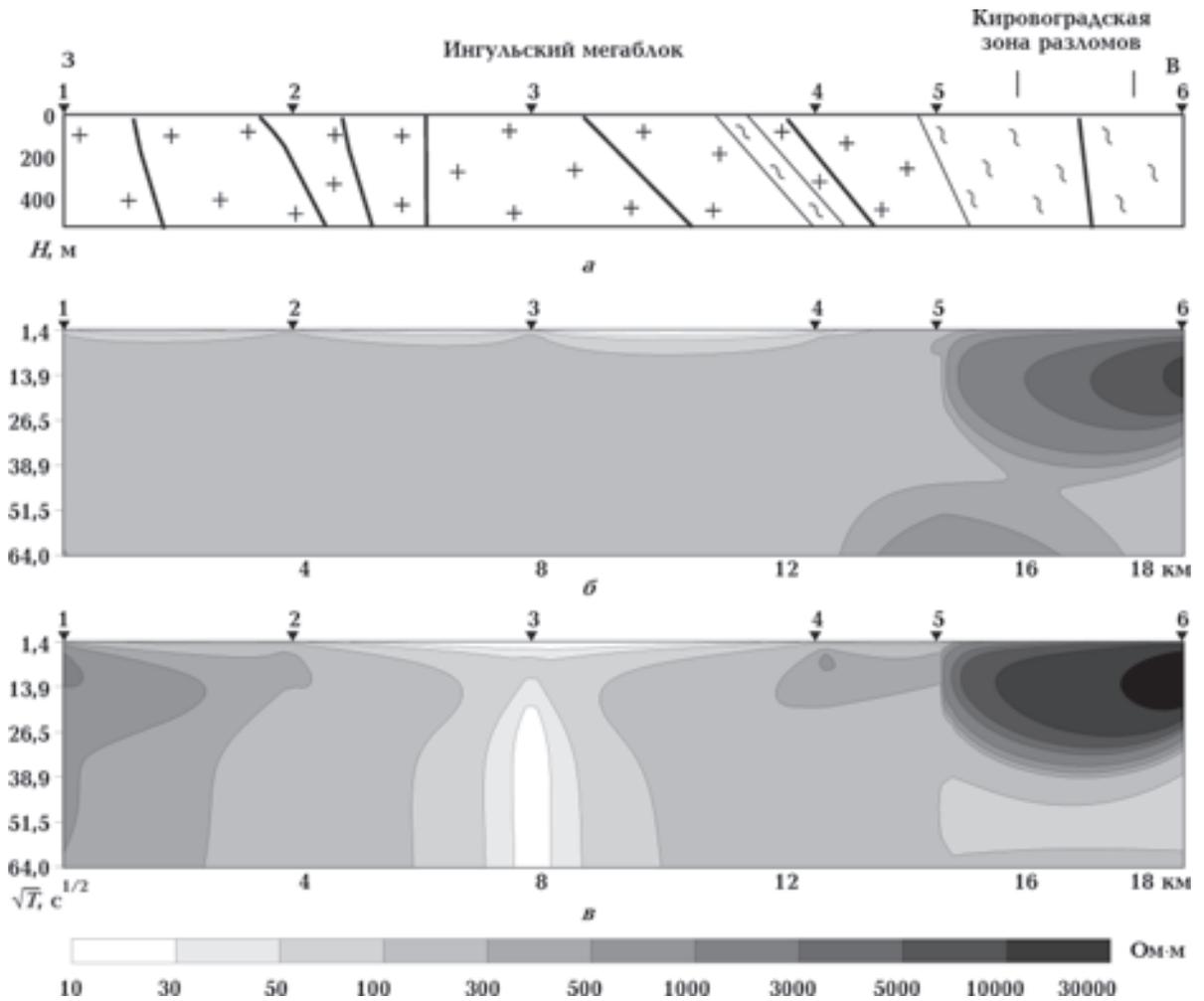


Рис. 10. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{сЮ}$), в — субширотной ($\rho_{вЗ}$)) по линии Бобринецкого профиля. Условные обозначения см. на рис. 2.

аномалий электропроводности, очевидно, объясняется обводненностью разломов и зонами повышенной трещиноватости.

По результатам одномерной инверсии полевых геоэлектрических исследований [Шеремет и др., 2010] была построена геоэлектрическая модель Приазовского мегаблока. В нем выделяются три низкоомных аномалии (100—300 Ом·м), корни которых не исчезают даже на глубине 50 км.

В направлении с запада на восток наиболее интенсивная аномалия расположена в районе Орехово-Павлоградской шовной зоны (ОПШЗ), далее — в районе Центрального Приазовья, третий глубинный низкоомный участок — у восточной границы Восточного Приазовья со Скифской плитой в районе Грузско-Еланчикской ЗР.

Вдоль современных профилей МТЗ на территории УЩ проведены более детальные исследования методом АМТЗ. Эти результаты подтверждают и детализируют верхнюю часть геологического разреза для металлогенических построений. Для примера приведем АМТЗ на территории Ингульского мегаблока [Николаев и др., 2014]. С выявленными бурением зонами альбитизации ассоциируют низкоомные (менее 500 Ом·м) области. При этом ЗР выделяются «погружением» низкоомных участков (рис. 13).

Наиболее четко проявляется зона интенсивного метасоматоза в районе Клинецовской месторождения золота в виде низкоомной области (менее 500 Ом·м). Она фиксируется в приповерхностной части разреза и на глубине 1,5—4 км (рис. 14). Кировоградская ЗР также характеризуется низкоомной областью (до 2 км).

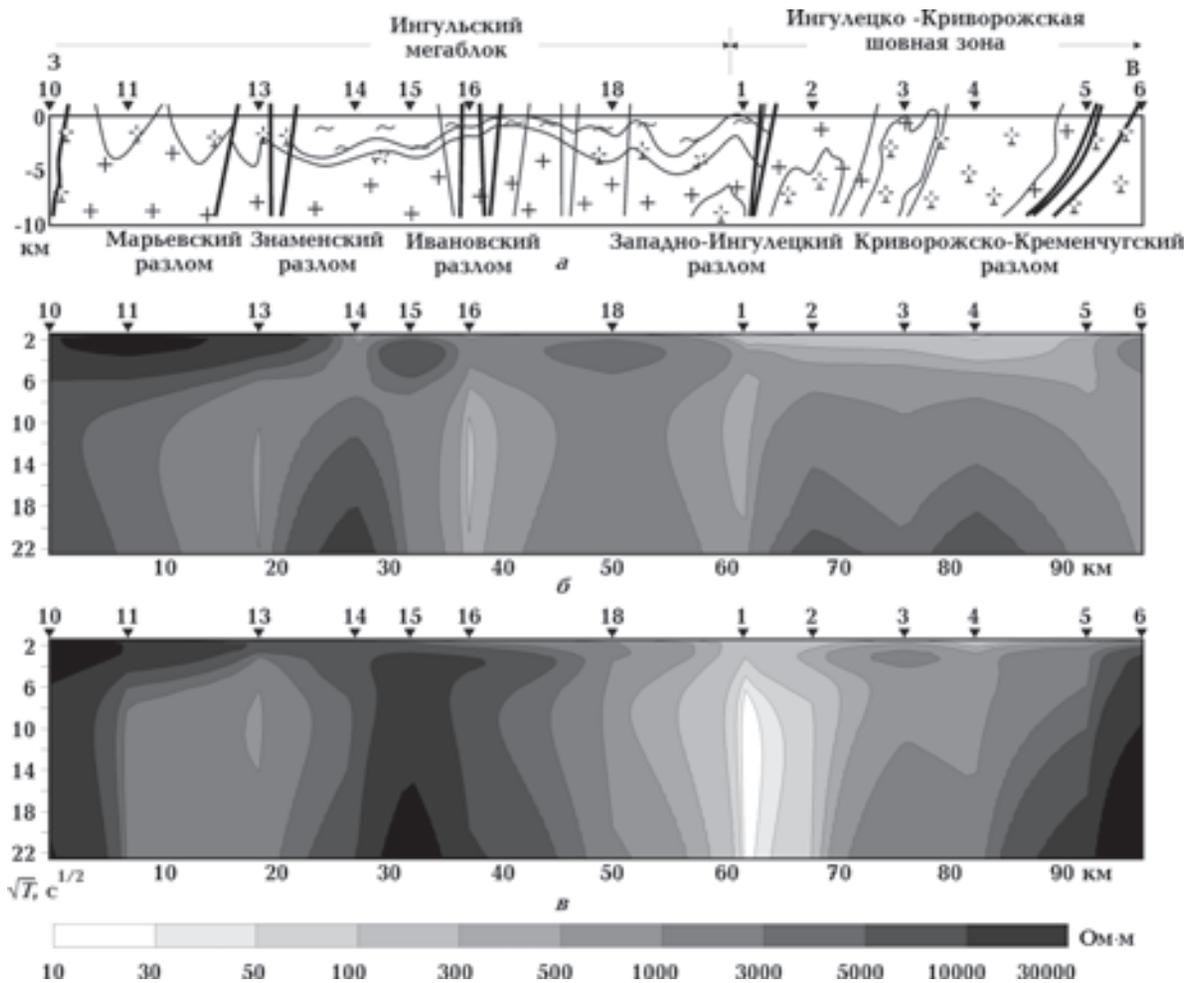


Рис. 11. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{сш}$), в — субширотной ($\rho_{вз}$)) по линии профиля LEMI-1. Условные обозначения см. на рис. 2.

Сложность методики исследований характера ионосферно-магнитосферного источника, различия в методике экспериментальных наблюдений, обработке и интерпретации материалов наложили свой отпечаток на полученные результаты. Но основной результат — оценка геоэлектрических параметров — получен и свидетельствует о том, что в геоэлектрическом отношении и земная кора, и верхняя мантия на территории УЩ существенно неоднородны.

Глубинное строение УЩ по результатам 3D моделирования. По имеющимся экспериментальным данным, используя для расчетов программу Mtd3fwd [Maskie et al., 1994], построена региональная трехмерная геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии УЩ [Кулик, Бурахович, 2007]. Это модели хорошо известной Кировоградской аномалии в Ингульском мегаблоке и ИКШЗ (см. рис. 1), Черновицко-Коростенкой аномалии в Подоль-

ском и Росинском мегаблоках и юго-западном склоне УЩ. Также построены региональная 3D модель западной части Приазовского мегаблока [Шеремет и др., 2010] и локальные модели Кировоградского рудного района (КРР) [Николаев и др., 2013], ГШЗ [Бурахович та ин., 2015] и районов Могилев-Подольского и Новоднестровского сейсмоопасных участков [Кушнир, Бурахович, 2012].

Основной результат геоэлектрических исследований заключается в том, что в земной коре УЩ наблюдается особое природное явление — высокая электропроводность, которая концентрируется в отдельных участках земной коры и верхней мантии и формирует зоны разной интенсивности и глубины залегания. Аномалии высокой электропроводности располагаются на глубинах от поверхности фундамента до 30 км с удельным электрическим сопротивлением от 1 до 100 Ом·м. Эти зоны

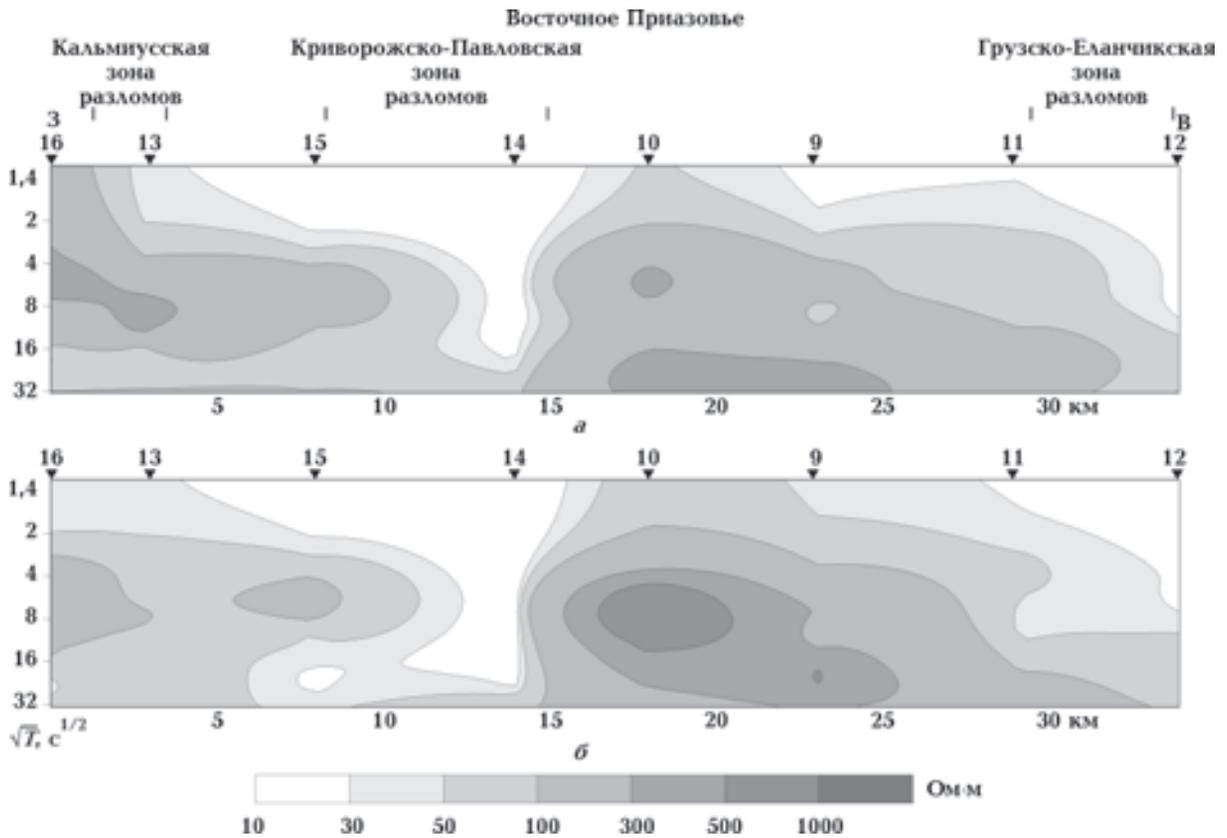


Рис. 12. Псевдорезы распределения кривых ρ_k (a — субмеридианальной ($\rho_{сЮ}$), b — субширотной ($\rho_{вЗ}$) по линии Хомутовского профиля. Условные обозначения см. на рис. 2.

по-разному характеризуют геологические регионы.

Субвертикальные зоны высокой электропроводности совпадают с межблоковыми разломами УЩ. Аномалии электропроводности этого типа могут свидетельствовать о высокой проницаемости флюидов в шовных зонах в процессе их образования и о значительной флюидонасыщенности межзернового пространства. В границах Подольского, Бугского, Ингульского и Приазовского мегаблоков также наблюдаются субвертикальные электропроводящие зоны. Они отличаются меньшей протяженностью и коррелируют с глубинными разломами второго ранга.

В геоэлектрическом отношении можно разделить весь УЩ на три части — западную, центральную и восточную.

Западная часть (Волынский, Подольский, Росинский, Бугский мегаблоки) характеризуется низким электросопротивлением пород земной коры в ее нижней части (так называемая Черновицко-Коростенская аномалия, $h=15\div 30$ км, $\rho=5$ Ом·м на территории

УЩ и 20 Ом·м на юге Вольно-Подольской плиты). Кроме того, региону присуща высокая проводимость и на астеносферных глубинах от 70 до 125 км с $\rho \approx 25$ Ом·м. Немирово-Кочеровская шовная зона расположена в пределах Черновицко-Коростенской аномалии электропроводности на границе участков с высоким и низким удельным электрическим сопротивлением.

Однако самая интересная особенность модели — субмеридиональная восточная граница проводника в верхней мантии юго-западной части УЩ между 31° и 32° в.д., которую оконтуривает ГШЗ. В работах [Гейко и др., 2005, 2006] показано, что по данным сейсмотомографии вдоль этой границы в мантии (глубже 50 км) скорость распространения сейсмических волн изменяется от низкой на западе до высокой на востоке.

Центральная часть объединяет с запада на восток — ГШЗ, Ингульский мегаблок и ИКШЗ. Сложена протерозойскими образованиями (Ингульский мегаблок), отличается высокой электропроводностью по всему разрезу зем-

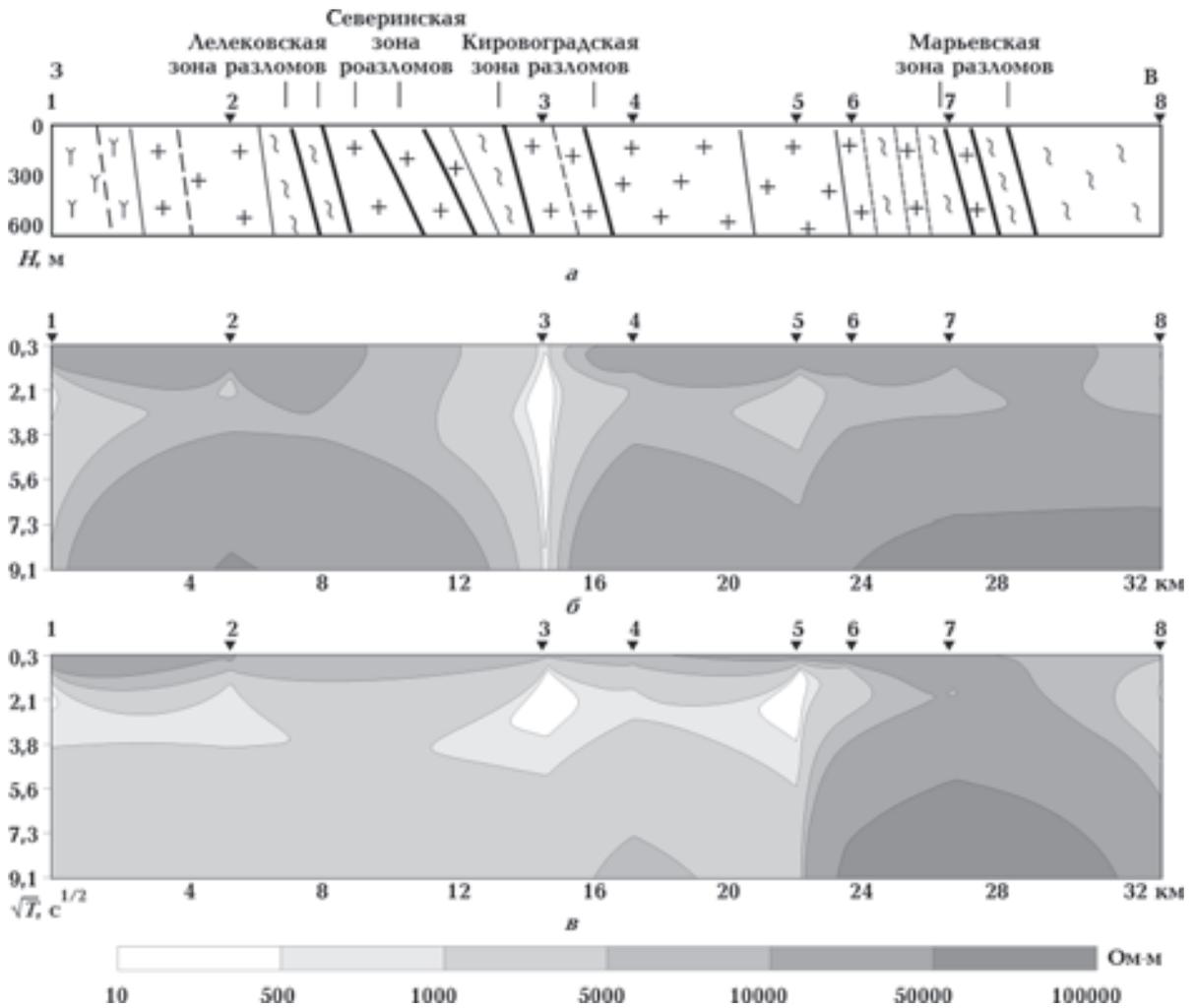


Рис. 13. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{\text{сЮ}}$), в — субширотной ($\rho_{\text{вЗ}}$)) по данным АМТЗ по линии Кировоградского профиля. Условные обозначения см. на рис. 2, 8.

ной коры, что свидетельствует как об аномально высокой проницаемости пород палеопротерозойского блока, так и о современных проявлениях активизации.

По результатам одномерной инверсии данных АМТЗ и МТЗ центральной части УЩ [Николаев и др., 2014] выделяются:

- преимущественно высокоомный Среднеприднепровский мегаблок (более 5000 Ом·м), дифференцированный по ρ_k Ингульский мегаблок (от 10 до 5000 Ом·м), низкоомные ИКШЗ и ГШЗ (до 300—500 Ом·м), Причерноморская впадина (до 300 Ом·м), Кировоградская зона разломов (10—1000 Ом·м);

- территория между Кировоградской ЗР и Криворожско-Кременчугским разломом с поверхности и до глубины порядка 30 км с низкими значениями ρ_k (от 10 до 300 Ом·м);

- глубинные Криворожско-Кременчугская, Западно-Ингулецкая, Ингулецкая, Кировоградская, Первомайская ЗР (как низкоомные субвертикальные структуры);

- КРР с низкоомной областью (менее 300 Ом·м) до глубины порядка 50 км;

- низкоомная аномалия (менее 100 Ом·м) в пределах КРР в юго-восточной части Новоукраинского массива на глубине 7 км.

Расчеты геоэлектрической 3D модели позволили выявить различные пространственные ориентации аномалий электропроводности в центральной части УЩ (субширотную и субмеридианальную), соответствующие поверхностным и глубинным аномалиям электропроводности.

На фоне «нормального» распределения поверхностных отложений в ГШЗ обнаружены две

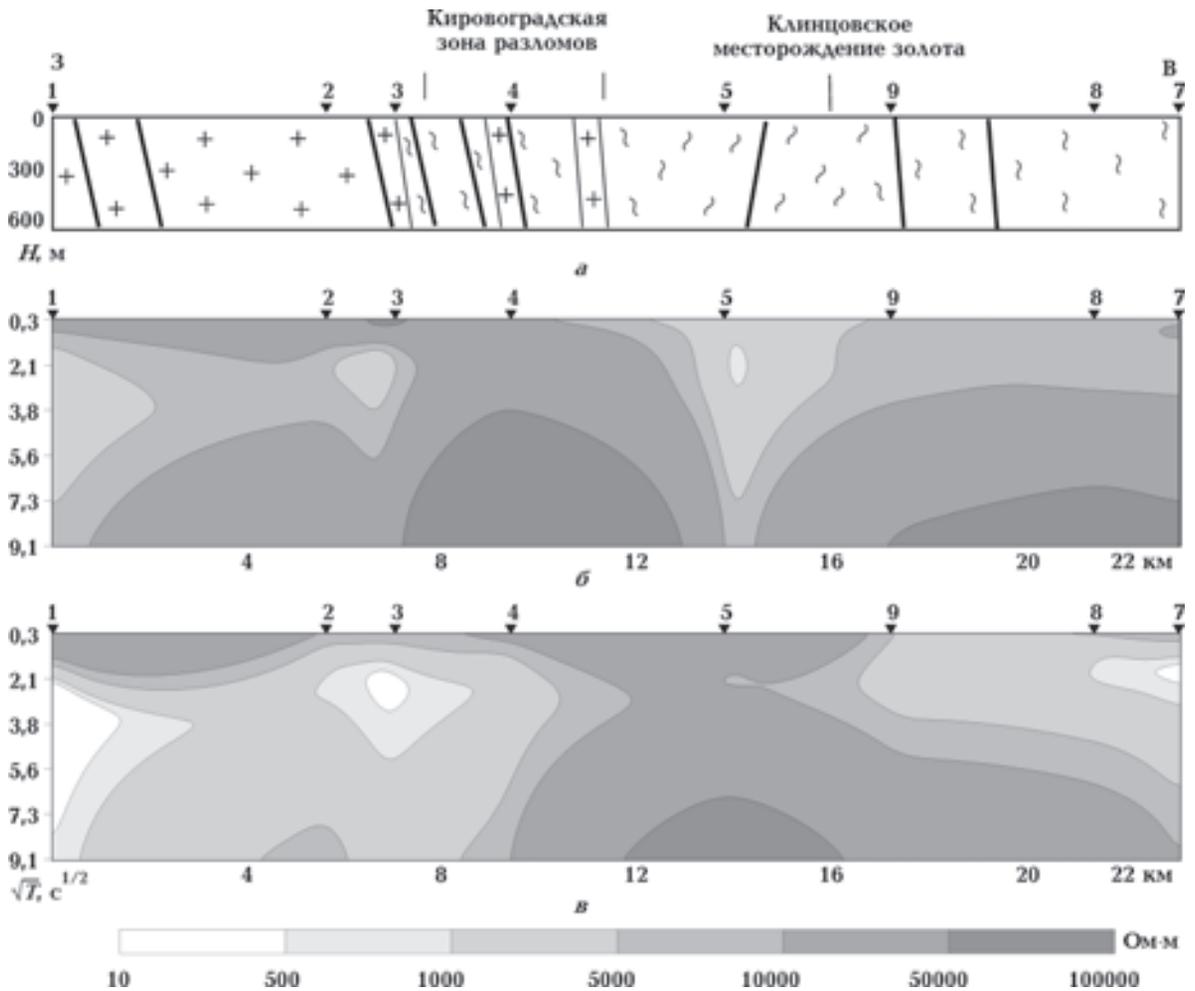


Рис. 14. Геологический разрез (а) и псевдоразрезы распределения кривых ρ_k (б — субмеридианальной ($\rho_{сЮ}$), в — субширотной ($\rho_{вЗ}$)) по данным АМТЗ линии Клинцовского профиля. Условные обозначения см. на рис. 2.

аномалии с субширотной ориентацией в пространстве (рис. 15) в самой верхней (до 100 м) части разреза [Бурахович та ін., 2015], одна из которых может быть юго-западным продолжением Субботско-Мошоринской ЗР. Южнее ($48^{\circ}00'$ с.ш.) расположена система проводников субмеридианального простирания, которая совпадает с частями Емиловской, Первомайской, Звенигородско-Братской, Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской ЗР.

В пределах КРР [Николаев и др., 2013] и ГШЗ [Бурахович та ін., 2015] выделяется разветвленная сеть проводников с низким сопротивлением (50 Ом·м) от 100 м до 2,5 км (рис. 15, 16), которые приурочены к отдельным частям Звенигородско-Братской, Субботско-Мошоринской, Смелянской, Лелековской, Конкской, Емиловской, Тальновской, Первомайской и Кировоградской ЗР. На этих глубинах прослеживаются и проводники ($\rho=10$ Ом·м)

Западно-Ингулецкой (между Чигиринским и Долинским массивами гранитоидов) и Криворожско-Кременчугской ЗР (см. рис. 15).

На глубине 5—10 км и более аномалии электропроводности (даже если они пространственно и совпадают с расположением глубинных ЗР) из субвертикальных с увеличением глубины преобразуются в субгоризонтальные проводящие структуры (слои). Исключением являются проводник на глубине от 5 до 20 км с размерами 5×45 км, расположенный в структуре центральной части Новоукраинского массива, часть Первомайской ЗР в районе пересечения с Тальновской ЗР в интервале глубин 10—20 км и, возможно, восточное продолжение Субботско-Мошоринской ЗР в пределах ИКШЗ (см. рис. 16) и северной части Криворожско-Кременчугской ЗР на территории УЩ на глубине от 10 до 30 км. Глубинная аномалия (10 км) в виде сложной субширот-

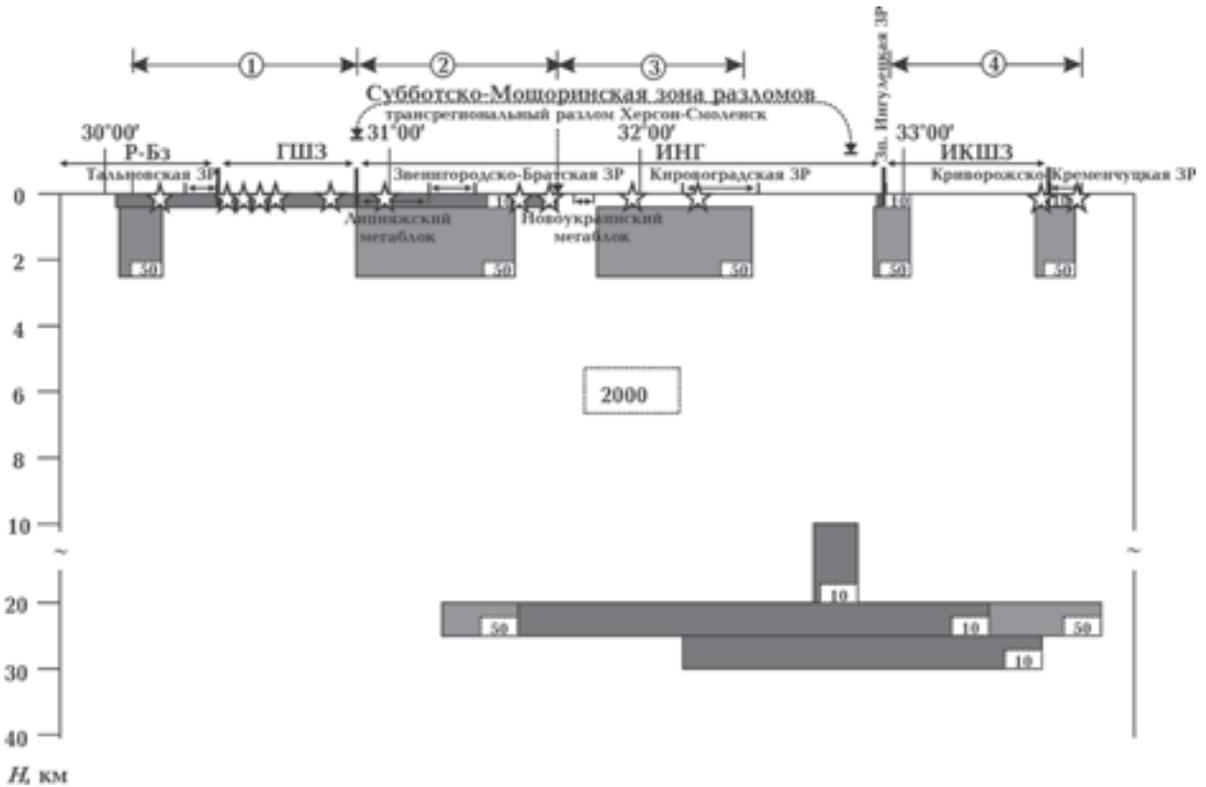


Рис. 15. Разрез трехмерной геоэлектрической модели, по данным [Бурахович та ін., 2015], и проекции рудных месторождений (звездочки) вдоль Субботско-Мошоринской ЗР. Цифры в прямоугольниках — удельное электрическое сопротивление, Ом·м. Цифры в кружках — металлогенические зоны по данным [Шеремет и др., 2013]. Рисунок подготовил А. П. Усенко.

ной зоны в южном склоне УЩ выделяется в районе сходимости основных Первомайской, Кировоградской, Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской ЗР. Отдельной проводящей субмеридиональной структурой проявляется южнее $48^{\circ}00'$ с.ш. Тальновская ЗР.

Западная граница Кировоградской аномалии (на глубине от 20 до 25 км с $\rho=10\div 50$ Ом·м) расположена в зоне древнего шва Херсон—Смоленск, а в интервале 25—30 км ($\rho=50$ Ом·м) соответствует Кировоградской глубинной ЗР, сама же аномалия охватывает территорию, включающую ИКШЗ, и представляет собой вытянутую с юга на северо-северо-восток структуру с пространственными размерами от 50 до нескольких сотен километров и только на юге УЩ изменяет свое простираение на субширотное вдоль Конкской ЗР (см. рис. 1).

Кроме этого, с большой уверенностью можно предполагать существование нескольких локальных верхнемантийных неоднородностей в КРР и мантийного проводника в интервале глубин 50—120 км в южной части Ингульского мегаблока. Его северная граница должна

проходить южнее $47^{\circ}20'$ с.ш. К востоку от 32° в.д. она доходит до $47^{\circ}40'$ с.ш. (см. рис. 16). Максимальное распространение на север наблюдается вдоль Кировоградской аномалии, в глубинных Западно-Ингулецкой и Кировоградской ЗР [Николаев и др., 2013].

Пространственно абсолютное большинство месторождений рудных полезных ископаемых на территории центральной части УЩ попадает в области аномалий повышенной электропроводности (см. рис. 1). Рассмотрим вырезанные из трехмерной модели разрезные. Первый пересекает ГШЗ и идет вдоль Субботско-Мошоринской (см. рис. 15), второй — вдоль Кировоградской ЗР (см. рис. 16). Все месторождения рудных полезных ископаемых, расположенные в районе Кировоградской ЗР, локализируются в приповерхностной части (на глубине 0,1—2,5 км) проводящей структуры сложного строения между Бобринецкой и Субботско-Мошоринской ЗР. Кроме того, целая серия глубинных проводящих слоев и/или объектов приурочена к нижней части земной коры (20—30 км) и верхней части верхней ман-

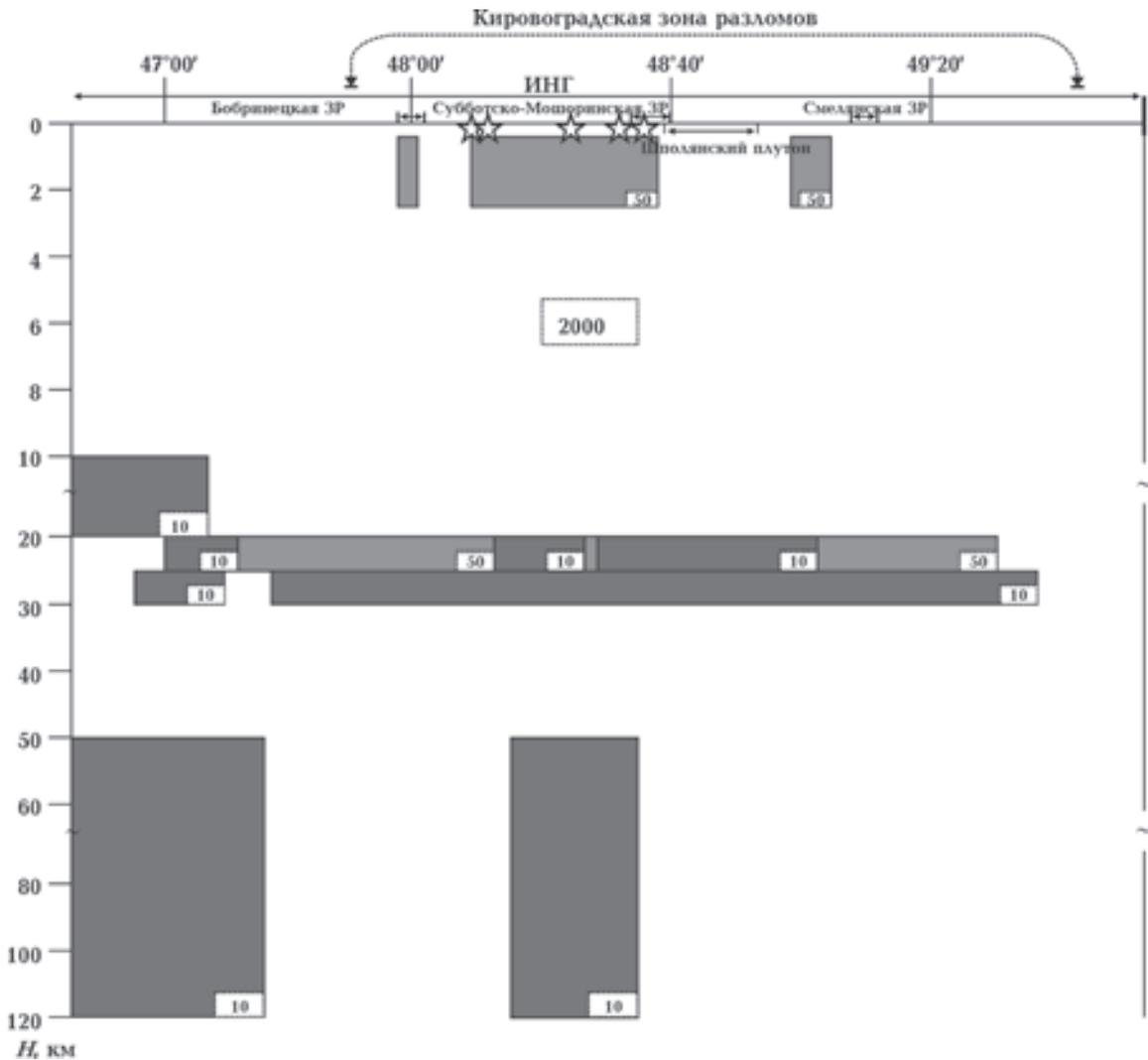


Рис. 16. Разрез трехмерной геоэлектрической модели, по данным [Бурахович и др., 2015], и проекции рудных месторождений (звездочки) вдоль Кировоградской ЗР. Цифры в прямоугольниках — удельное электрическое сопротивление, Ом·м. Рисунок подготовил А. П. Усенко.

тии (от 50 км и глубже). Аналогичная ситуация характерна и для Субботско-Мошоринской ЗР.

Восточная часть УЩ — это Среднеприднепровский мегаблок, ОПШЗ и Приазовский мегаблок. Архейский Среднеприднепровский мегаблок, не затронутый процессами протерозойской тектономагматической активизации, выделяется как зона аномально высокого сопротивления. 3D модель, построенная на основе экспериментальных геоэлектрических исследований, характеризуется как зонами аномально высокого сопротивления (северная часть Западно-Приазовского мегаблока — Волчанский блок), так и аномально низкого. В направлении с запада на восток наиболее интенсивные аномалии проявляются в районе ОПШЗ, Гуляйпольского и Андреевского

блоков Западного и Центрального Приазовья (глубина залегания от поверхности до 2 км, $\rho=10$ Ом·м в районе Азово-Павлоградской и Центрально-Приазовской ЗР и южной части Андреевского блока); в районе Гуляйпольского и Андреевского блоков и ОПШЗ (глубина 2—10 км, $\rho=100$ Ом·м); у границы Восточного Приазовья со Скифской плитой в районе Грузско-Еланчикской ЗР (глубина 10—50 км, $\rho \leq 100$ Ом·м). По данным сейсмотомографии в исследуемом регионе выделяются зоны расчлененности и, следовательно, области повышенной проницаемости [Цветкова и др., 2012].

Геолого-геоэлектрические критерии рудоносности. В основу системы критериев регионального прогноза положена идея, что условия и области формирования месторож-

дений полезных ископаемых, а также их минерогеническая специализация, определяются не только глубинным геологическим строением, химическим составом и физическим состоянием элементов литосферы, но и динамикой земной коры и верхней мантии. Именно границы глобальных литосферных плит, блоков земной коры и межблочные системы часто контролируют промышленные концентрации полезных ископаемых. На основе анализа реконструированных геодинамических обстановок в протерозое [Геолого-геоэлектрическая..., 2005; Геолого-геофизическая..., 2006, 2008, 2009; Шеремет и др., 2013] и расположения месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых в определенных частях геодинамических структур УЩ были выделены металлогенические зоны.

Особый интерес у геологов вызывает геодинамическая модель Приазовья, построенная с позиций плитотектонических представлений [Глевасский, Каляев, 2000]. Приазовье рассматривается как протерозойская активная континентальная окраина, которая сформировалась на эпиархейской коре, а ОПШЗ — как область коллизии Среднеприднепровского и Приазовского микроконтинентов с закрытием бассейна, который их разделял. Таким образом, аномалии электропроводности ОПШЗ можно связать с формированием зоны палеосубдукции [Геолого-геоэлектрическая..., 2005], а также с типоморфной зоной рифтинга между щелочно-земельной и щелочной зонами магматизма активной континентальной окраины.

На основании данных геолого-геофизического моделирования и размещения полезных ископаемых в характеристических областях субдукции были разработаны комплексные геолого-геофизические критерии рудоносности [Шеремет и др., 2013].

К геоэлектрическим следует отнести:

- региональные и локальные низкоомные геоэлектрические аномалии;
- низкоомные геоэлектрические глубинные аномалии вдоль протяженных ЗР;
- низкоомные геоэлектрические аномалии, приуроченные к зонам метасоматоза;
- сопряженность низкоомных геоэлектрических аномалий с металлогеническими рудными узлами и геохимическими аномалиями.

Так, узлы пересечения систем разломов различного направления являются главными рудолокализирующими структурами Ингуль-

ского мегаблока, в которых происходила активная магматическая и постмагматическая гидротермально-метасоматическая деятельность. С последней связано образование разноформационных рудоносных метасоматитов [Яценко, 1996; Яценко и др., 1998; Сьомка та ін., 2008; Нечаев, Семка, 2012], в том числе с сульфидной и графитовой минерализацией.

Применение разработанных критериев позволило спрогнозировать выявление месторождения полезных ископаемых в различных структурно-тектонических частях УЩ.

Металлогеническая особенность НКШЗ — доминирующая роль глубинных ЗР, которые сопровождаются рудопроявлением тантала, ниобия, бериллия, олова, вольфрама, молибдена, урана. Орогенный магматизм завершающего этапа активизации привел к образованию редкометалльных пегматитов, месторождений титана и фосфора, рудопроявлений циркония, иттрия и редкоземельных элементов [Геолого-геофизическая..., 2009]. Прогноз эндогенных рудопроявлений и месторождений НКШЗ по данным геоэлектрических исследований должен быть направлен в первую очередь на изучение площадей вдоль глубинных: Ольшанской, Великоречицкой (продолжение Ольшанской), Брусиловской, Погребещенской, Виленской и Кочеровской ЗР.

В пределах центральной части УЩ, исходя из характера локализации месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых, можно выделить несколько металлогенических зон [Шеремет и др., 2013] (см. рис. 15):

– зона железорудных месторождений преимущественно карбонатно-железисто-кремнисто-мембранной формации и месторождений железисто-кремнистой формации, охватывает ГШЗ. Содержит месторождения графита, хрома и никеля, месторождения и рудопроявления урана и золота в щелочных метасоматитах, кобальта, платиноидов;

– зона, которая, вероятно, занимает пространство между Первомайской глубинной ЗР на западе и трансрегиональным тектоническим швом Херсон—Смоленск на востоке. Содержит месторождения урана калиево-урановой формации в окварцованных пегматитовых жилах и проявления литиевых пегматитов;

– зона ураноносных альбититов, золоторудных рудопроявлений, связанных с региональным щелочным метасоматозом. Расположена от разграничительной линии на западе до глубинной Кировоградской ЗР. К ней приурочены дайки кимберлитов и неалмазоносных прояв-

лений щелочно-ультраосновного магматизма; – область ИКШЗ. Это зона железорудных месторождений преимущественно железисто-кремнистой и карбонатно-железисто-кремнисто-метабазитовой формаций. Содержит месторождения графита, ураноносных конгломератов, рудопроявления вольфрама, колчеданных проявлений полиметаллов и перспективные концентрации германия.

На основании особенностей глубинного строения в ГШЗ прогнозируются новые месторождения железа, рудные узлы и рудные поля радиоактивных металлов (уран и торий) и сопутствующих элементов в районе Первомайского разлома, Синицевско-Савранской зоны и Липовеньковско-Капитанского рудного района.

Кировоградская глубинная ЗР перспективна на выявление новых месторождений урана и золота на всем ее протяжении как рудоподводящий канал осевой части докембрийской рифтогенной структуры, особенно между Бобринецкой и Субботско-Мошоринской ЗР (см. рис. 16). Природа аномалий повышенной электропроводности КРР на глубине до 2,5 км обусловлена ассоциацией электропроводящих минералов (сульфидов, графита) в зонах метасоматической проработки пород, ведущих к образованию рудной минерализации (уран, золото, редкие металлы). Аномалии повышенной электропроводности в земной коре на глубине 5–30 км и верхах верхней мантии (50–120 км), вероятнее всего, отражают следы воздействия современных мантийных флюидов.

На основе площадных и локальных геоэлектрических исследований ИКШЗ возможно выявление колчеданных проявлений полиметаллов, железорудных месторождений карбонатно-железисто-кремнистой метабазитовой формации и месторождений графита.

По результатам регионального прогнозирования в Приазовском мегаблоке выделены перспективные площади на поиски рудопроявлений полезных ископаемых с помощью проекции контуров низкоомных аномалий 50 Ом·м на глубине 500 м и 300 Ом·м на глубине 50 км [Геолого-геоэлектрическая..., 2005] на поверхность (0,2–0,5 км). Этот метод основан на гипотезе, что геоэлектрические низкоомные аномалии [Шеремет и др., 2013] отражают следы колонны мантийных флюидов из глубины к поверхности. Далее проведено их сопоставление с геохимическими аномалиями и оконтурены локальные участки, такие как Грузско-Еланчикская ЗР (с флюорит-апатитовым оруденением, связанным с граносиенитовой формацией) и юго-восточная часть Кальмиусской ЗР (несколько десятков редкоземельных проявлений)

Заключение. По результатам геоэлектрических исследований УЩ были созданы геологические и геоэлектрические критерии поисков, на основе которых осуществлено региональное и локальное прогнозирование распределения рудоносных метасоматитов и дифференцированных интрузий, с которыми пространственно и генетически связаны месторождения и проявления редких, благородных, радиоактивных металлов, фосфора, титана и других полезных ископаемых.

Основной результат геоэлектрических исследований УЩ — многочисленные локальные и региональные аномалии электропроводности, наличие низкоомных глубинных аномалий вдоль протяженных зон разломов и приуроченных к зонам метасоматоза, сопряженность низкоомных аномалий с металлогеническими рудными узлами и геохимическими аномалиями.

Список литературы

- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита.* Под ред. Н. Я. Азарова. Донецк: Вебер, 2008. 305 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита.* Под ред. Н. Я. Азарова. Киев: Наук. думка, 2006. 196 с.
- Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита.* Под ред. А. В. Андиферова. Донецк: Вебер, 2009. 253 с.
- Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита.* Под ред. Н. Я. Азарова. Киев: Наук. думка, 2005. 190 с.
- Белявский В. В., Бобров А. Б., Гошовский С. В., Чуприна И. С., Шумлянский В. А. Геоэлектрические модели золоторудных месторождений Украинского щита и Донбасса. Киев: Логос, 2004. 248 с.
- Белявский В. В., Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Сухой В. В. Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Знання, 2001. 227 с.

- Бурахович Т. К., Кушнір А. М., Ширков Б. І. Глибина будова Інгульського мегаблоку за даними геоелектричних досліджень. *Доп. НАН України*. 2015. № 3. С. 81—86.
- Бурахович Т. К., Логвинов И. М., Кулик С. Н. Глубинные электромагнитные зондирования. *Материалы Мирового центра данных*. Б. 1988. Вып. 3. С. 33—51.
- Бурахович Т. К., Ширков Б. І. Глибинні геоелектричні дослідження Голованівської шовної зони. *Геоінформатика*. 2015. № 1(53). С. 61—69.
- Варенцов И. М. Возможности МТ/МВ методов в рудных приложениях: выявление проводящих залежей вблизи проводящих слоев вмещающей среды: *Материалы VI Всерос. школы-семинара им. М. Н. Бергичевского и Л. А. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли*. [Электронное издание]. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2013. <http://ems2013.irgg.sbras.ru>.
- Варенцов И. М., Куликов В. А., Яковлев А. Г., Яковлев Д. В. Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики. *Физика Земли*. 2013. № 3. С. 9—29.
- Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3D P-скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы). *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 3—32.
- Гейко В. С., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н., Цветкова Т. А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода R-волн. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Глевасский Е. Б. Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии докембрия Украинского щита с позиций плитотектоники. *Минерал. журн.* 2005. Т. 27. № 2/3. С. 57—66.
- Глевасский Е. Б., Каляев Г. И. Тектоника докембрия Украинского щита. *Минерал. журн.* 2000. Т. 22. № 2/3. С. 77—91.
- 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: Корвін пресс, 2005. 210 с.
- Ингеров А. И. Карта магнитных параметров МТЗ и МВП юго-восточной части Украинского щита. 1:1 000 000. № 50034. Киев: Укргеолфонд, 1988.
- Ингеров А. И., Рокитянский И. И. Украинский щит. Литосфера Центральной и Восточной Европы: Обобщение результатов исследований. Киев: Наук. думка, 1993. 257 с.
- Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. Киев: Прастьє луды, 2013. 500 с.
- Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка). Вик. К. Ю. Єсипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк та ін. Київ: УкрДГРІ. 2004. 30 с.
- Кулик С. Н., Логвинов И. М., Бурахович Т. К. Геоэлектрическая характеристика тектоносферы Украинского щита и Крыма. В кн.: *Астеносфера по комплексу геофизических методов*. Киев: Наук. думка, 1988. С. 13—19.
- Кулик С. Н., Бурахович Т. К. Трехмерная геоэлектрическая модель земной коры Украинского щита. *Физика Земли*. 2007. № 4. С. 21—27.
- Куликов В. А., Варенцов И. М., Яковлев А. Г. Роль МТ-методов при поиске и разведке месторождений рудных полезных ископаемых: *Материалы V Всерос. школы-семинара им. М. Н. Бергичевского и Л. А. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли*. Т. 2. Санкт-Петербург: Изд. СПбГУ, 2011. С. 286—289.
- Кушнір А. Н., Бурахович Т. К. Аномалии электропроводности и внутриплитовые землетрясения западной части Украинского щита и Воыно-Подольской плиты. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 4. С. 157—165.
- Николаев И. Ю., Бурахович Т. К., Шеремет Е. М. Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 127—139.
- Николаев И. Ю., Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Кривдик С. Г., Калашник А. А., Николаев Ю. И., Сетая А. Д., Агаркова Н. Г. Інгульський мегаблок Українського щита (глибинна геоелектрична модель і корисні копалини). Донецьк: Нойлідж, 2014. 180 с.
- Нечаев С. В., Семка В. А. Рудоносные метасоматиты центральной части Украинского щита. *Геохимия и рудообразование*. 2012. Вып. 31-32 С. 12—23.
- Сьомка В. О., Іванов Б. Н., Пономаренко О. М. Петрохімічні особливості рідкісноземельно-торій-уранових пегматитів центральної частини Українського щита і проблема їх генезису. *Мінерал. журн.* 2008. Т. 30. № 1. С. 94—103.
- Трегубенко В. И., Мегедь 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.
- Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В. Сверхглубинные флюиды Восточно-Европей-

- ской платформы: *Материалы VIII Междунар. конф. «Геологическая среда, минерагенические и сейсмотектонические процессы»*. Воронеж, 24—29 сентября 2012 г. С. 392—395.
- Шеремет Е. М., Кривдик С. Г., Бурахович Т. К. Критерии поисков руды в областях субдукции Украинского щита. Deutshland. Germany: LAP LAMBERT Academic Publ., 2013. 418 с. 978-3-8383-7600-4электр.версия.pdf (50086443).
- Шеремет Е. М., Кривдик С. Г., Пугулевский П. И., Кулик С. Н., Бурахович Т. К., Загнитко В. Н., Борогыня Б. Н., Стрекозов С. Н., Николаев Ю. И., Николаев И. Ю., Сетая Л. Д., Алехин В. И. Субщелочной докембрийский магматизм и тектоно-геофизические особенности Восточного Приазовья Украинского щита. Донецк: Ноулидж, 2010. 289 с.
- Ширков Б. И., Кушнір А. М., Усенко А. П. Обробка МТ/МВ даних по профілю Довжанка—Бузьке: *Матеріали XIV Міжнар. конф. з геоінформатики. Теоретичні та прикладні аспекти. 11—14 травня 2015 р., Київ*. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=80196>
- Яценко В. Г. Структурно-морфологические и генетические типы графита на примере месторождений Украинского щита: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Киев, 1996. 24 с.
- Яценко Г. М., Бабынин А. К., Гурский Д. С., Братчук О. Н., Марченко Ю. Ф., Паршина М. А., Росихина А. И., Сливко Е. М., Фалькович А. Л. Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита. Киев: Геоинформ, 1998. 256 с.
- Baysorovich M. M., Tregubenko V. Iv., Nasad A. G., 1998. Geoelectric heterogeneities of Ukraine's lithosphere. *Geologicheskij zhurnal* 2(1), 23—35.
- Mackie R. L., Smith J. T., Madden T. R., 1994. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The megnetotelluric example. *Radio Sci.* 29(4), 923—935.
- Mackie R. L., Smith J. T., Madden T. R., 1994. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The megnetotelluric example. *Radio Sci.* 29(4), 923—935.
- Varentsov Iv. M., 2007. Array of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis: Electromagnetic sounding of the Earth's interior. In: *Methods in geochemistry and geophysics*, 40. Elsevier. P. 259—273.

Geoelectric anomalies of the Ukrainian shield and their relation to mineral occurrences

© T. K. Burakhovich, I. Yu. Nikolaev, E. M. Sheremet, B. I. Shirkov, 2015

Results of modern experimental electromagnetic studies completed during 2005—2014 along 13 profiles located mainly within suture zones of the USh have been given. The main result of geoelectric studies of the USh is the revealing of numerous local and regional anomalies of electric conductivity according to the data of 3D modeling, the presence of low-resistance deep anomalies, confined to zones of metasomatism along extensive fault zones; conjugation of low-resistance anomalies with metallogenic ore knots and geochemical anomalies.

Key words: electromagnetic experimental study, anomalies of conductivity, zones of deep faults, Ukrainian shield, mineral occurrences.

References

- Geological and geophysical model Golovanevskiy suture zone of the Ukrainian Shield.* Ed. N. Ya. Azarov. Donetsk: Weber, 2008. 305 p. (in Russian).
- Geological and geophysical model of the Krivoy Rog-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield.* Ed. N. Ya. Azarov. Kiev: Naukova Dumka, 2006. 196 p. (in Russian).
- Geological and geophysical model Nemirovskaya-Kocharovskaya suture zone of the Ukrainian Shield.* Ed. A. V. Antsiferov. Donetsk: Weber, 2009. 253 p. (in Russian).
- Geological geoelectric model of the Orekhovo-Pavlograd suture zone of the Ukrainian Shield.* Ed. N. Ya. Azarov. Kiev: Naukova Dumka, 2005. 190 p. (in Russian).
- Belyavskiy V. V., Bobrov A. B., Goshovskiy S. V., Chuprina I. S., Shumlyanskiy V. A., 2004. Geoelectric model of gold deposits in the Ukrainian Shield and the Donets Basin. Kiev: Logos, 248 p. (in Russian).
- Belyavskiy V. V., Burakhovich T. K., Kulik S. N., Sukhoy V. V., 2001. Electromagnetic methods in the study of the Ukrainian Shield and the Dnieper-Donets Basin. Kiev: Znannya, 227 p. (in Russian).

- Burakhovich T. K., Kushnir A. M., Shirkov B. I., 2015. Deep structure Ingul megablock according geoelectric studies. *Dopovidi NAN Ukrainy* (3), 81—86 (in Ukrainian).
- Burakhovich T. K., Logvinov I. M., Kulik S. N., 1988. Deep electromagnetic soundings. *Materialy Mirovogo tsentra dannnykh*. B (is. 3), 33—51 (in Russian).
- Burakhovich T. K., Shirkov B. I., 2015. Deep geoelectric studies Golovanevskoy suture zone. *Geoinformatika* (1), 61—69 (in Ukrainian).
- Varentsov I. M., 2013. Features MT/MV methods in different applications: detection of conductive deposits near the conductive layers enclosing environment: *Proceedings of the VI All-Russia School-Seminar named M. N. Berdichevsky and L. L. Vanyan on electromagnetic soundings of the Earth. [Electronic Edition]*. Novosibirsk: IPGG SB RAS. <http://ems2013.ipgg.sbras.ru> (in Russian).
- Varentsov I. M., Kulikov V. A., Yakovlev A. G., Yakovlev D. V., 2013. Features magnetotelluric methods in problems of ore geophysics. *Fizika Zemli* (3), 9—29 (in Russian).
- Geyko V. S., Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zaets L. N., 2005. Regional the 3-D P-velocity model of the mantle of Sarmatia (southwest of the East European Platform). *Geofizicheskij zhurnal* 27(6), 3—32 (in Russian).
- Geyko V. S., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zaets L. N., Tsvetkova T. A., 2006. Three-dimensional model of the upper mantle of Ukraine on the arrival times of P waves. *Geofizicheskij zhurnal* 28(1), 3—16 (in Russian).
- Glevasskiy E. B., 2005. Solution of some problems of stratigraphy and petrology of Precambrian Ukrainian board positions with plate tectonics. *Mineralogicheskij zhurnal* 27(2/3), 57—66 (in Russian).
- Glevasskiy E. B., Kalyaev G. I., 2000. Tectonics Ukrainian Precambrian Shield. *Mineralogicheskij zhurnal* 22(2/3), 77—91 (in Russian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnyaya O. V., Kovachikova S., Logvinov I. M., Tarasov V. N., Usenko O. V., 2005. Ukrainian Shield (geophysics, deep processes). Kiev: Korvin Press, 210 p. (in Russian).
- Ingerov A. I., 1988. Map of magnetic parameters of MTZ and MVP south-eastern part of the Ukrainian shield. 1: 1 000 000. № 50034. Kiev: Ukrgeolfond (in Russian).
- Ingerov A. I., Rokityanskiy I. I., 1993. Ukrainian shield. Lithosphere of Central and Eastern Europe: Summary of the studies. Kiev: Naukova Dumka, 257 p. (in Russian).
- Kirovograd ore district. Deep structure. Tectonophysical analysis. The deposits of ore minerals, 2013. Eds. V. I. Starostenko, O. B. Gintov. Kiev: Prastye Ludy, 500 p. (in Russian).
- Correlation of the Early Precambrian chronostratigraphic scheme of the Ukrainian Shield (explanatory note), 2004. Creators K. Yu. Esipchuk, O. B. Bobrov, L. M. Stepaniuc et al. Kiev: UkrGGRI. 30 p. (in Ukrainian).
- Kulik S. N., Loginov I. M., Burakhovich T. K., 1988. Geoelectric tectonosphere characteristic of the Ukrainian shield and the Crimea. In: *The asthenosphere of a complex of geophysical methods*. Kiev: Naukova Dumka, P. 13—19 (in Russian).
- Kulik S. N., Burakhovich T. K., 2007. Three-dimensional geoelectric model of the crust of the Ukrainian shield. *Fizika Zemli* (4), 21—27 (in Russian).
- Kulikov V. A., Varentsov I. M., Yakovlev A. G., 2011. The role of MT methods in prospecting and exploration of deposits of ore minerals: *Proceedings of the V All-Russia School-Seminar named M. N. Berdichevsky and L. L. Vanyan on electromagnetic soundings of the Earth*. St. Petersburg: Publ. House. St. Petersburg State University, P. 286—289 (in Russian).
- Kushnir A. N., Burakhovich T. K., 2012. Conductivity anomaly and intraplate earthquakes western part of the Ukrainian shield and Volyn-Podolsk plate. *Geofizicheskij zhurnal* 34(4), 157—165 (in Russian).
- Nikolaev I. Yu., Burakhovich T. K., Sheremet E. M., 2013. Volume geoelectric model of the Kirovograd ore district of the central part of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 35(4), 127—139 (in Russian).
- Nikolaev I. Yu., Sheremet E. M., Burakhovich T. K., Kryvdik S. G., Kalashnikov A. A., Nikolaev Yu. I., Setaya L. D., Agarkova N. G., 2014. Ingul megablock Ukrainian shield (deep geoelectric model, and minerals). Donetsk: Noulidzh, 180 p. (in Russian).
- Nechayev S. V., Semka V. A., 2012. Metasomatic ore-bearing central part of the Ukrainian shield. *Geokhimiya i rudoobrazovaniye* (is. 31-32), 12—23 (in Russian).
- Semka V. O., Ivanov B. N., Ponomarenko O. M., 2008. Petrochemical peculiarities of rare earth-thorium-uranium-bearing pegmatites central part of the Ukrainian shield and the problem of their genesis. *Mineralogicheskij zhurnal* 30(1), 94—103 (in Ukrainian).
- Tregubenko V. I., Meged G. V., Gorniyak Z. V., Vasilenko V. A., 1994. Results MTZ areal survey at a scale of 1: 2 500 000 in the western part of Ukraine. Kiev: Geoinform, 210 p. (in Russian).
- Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V.,

2012. Fluids ultradeep East European Platform: Proc. of the VIII Intern. Conf. «The geological environment mineragenic and seismotectonic processes» Voronezh, 24—29 September 2012. P. 392—395 (in Russian).
- Sheremet E. M., Kryvdik S. G., Burakhovich T. K., 2013. Search criteria ore in areas of subduction of the Ukrainian shield. Deutschland. Germany: LAP LAMBERT Academic Publ., 2013. 418 p. 978-3-8383-7600-4электр.версия.pdf (50086443) (in Russian).
- Sheremet E. M., Kryvdik S. G., Pigulevskiy P. I., Kulik S. N., Burakhovich T. K., Zagnitko V. N., Borodynya B. N., Strekozov S. N., Nikolaev Yu. I., Nikolaev I. Yu., Setaya L. D., Alekhin V. I., 2010. Subalkaline Precambrian magmatism and tectonic and geophysical features of the Eastern Azov Ukrainian shield. Donetsk: Noulidzh, 289 p. (in Russian).
- Shirkov B. I., Kushnir A. M., Usenko A. P., 2015. Processing MT/MV profile data Dovzhanka—Bug: Proc. of the XIV Int. Conf. for Geoinformatics. Theoretical and applied aspects. 11—14 May 2015, Kiev. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=80196> (in Ukrainian).
- Yatsenko V. G., 1996. Structural and morphological and genetic types of graphite on an example of deposits of the Ukrainian shield: the Abstract of the Dissertation of the candidate of geol. sci. Kiev, 24 p. (in Russian).
- Yatsenko G. M., Babynin A. K., Gurskiy D. S., Brat-chuk O. N., Marchenko Yu. F., Parshina M. A., Rosikhina A. I., Slivko E. M., Falkovich A. L., 1998. Gold deposits in Precambrian gneiss complexes of the Ukrainian Shield. Kiev: Geoinform, 256 p. (in Russian).
- Baysorovich M. M., Tregubenko V. Iv., Nasad A. G., 1998. Geoelectric heterogeneities of Ukraine's lithosphere. *Geologicheskij zhurnal* 2(1), 23—35.
- Mackie R. L., Smith J. T., Madden T. R., 1994. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The megnetotelluric example. *Radio Sci.* 29(4), 923—935.
- Varentsov Iv. M., 2007. Array of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis: Electromagnetic sounding of the Earth's interior. In: *Methods in geochemistry and geophysics*, 40. Elsevier. P. 259—273.