

## Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита

© И. Ю. Николаев<sup>1</sup>, Т. К. Бурахович<sup>2</sup>, Е. М. Шеремет<sup>1</sup>, 2013

<sup>1</sup>Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела,

НАН Украины, Донецк, Украина

<sup>2</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 3 сентября 2012 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Наведено об'ємну геоелектричну модель Кіровоградського рудного району. Розглянуто аспекти зв'язку уранових проявів альбітитової формації, золоторудних родовищ і проявів графіту з аномаліями підвищеної електропровідності на глибинах 0—100 м, 0,1—2,5 км, 2,5—20 км, 25—30 км і 50—120 км.

The authors give their 3D geoelectric model of the Kirovohrad ore district and consider aspects related to the association of uranium manifestations of albitite formation, gold fields and manifestations of graphite with anomalies of increased electrical conductance at the depths in the range of 0—100 m, 0,1—2,5 km, 2,5—20 km, 25—30 km and 50—120 km.

**Введение.** Наблюдаемые в земной коре природные явления обусловлены взаимодействием экзогенных и эндогенных процессов, связанных с восходящими потоками газовых и жидких флюидов от внедрившихся в кору диапиров или разогретых участков мантии («астеносферы»). Это ведет к формированию углерод-, сульфид- и железосодержащих метасоматитов, а также к образованию рудных и нефтегазовых месторождений. Очевидно, упомянутые образования имеют повышенную электропроводность, поэтому становится понятным интерес геологов к выделению высокопроводящих зон в коре и мантии.

На основе комплекса геофизических исследований в работе [Кашкевич, 2000] показано, что графитизированные глубинные разломы докембрийского кристаллического фундамента проявляются в виде интенсивных локальных аномалий низкого сопротивления (единицы омметров при фоне 5—10 тысяч омметров, даже если объемное содержание графитового вещества составляет около 1 %), формирующих протяженные региональные аномалии. В качестве источника аномалий проводимости и естественного электрического поля рассматриваются тонкие протяженные углеродистые пленки на границах зерен пород, сформировавшиеся на глубине 3—5 км в период активных тектонических движений за счет поступления углеродсодержащих флюидов.

Данные глубинных магнитотеллурических и магнитовариационных исследований показывают, что и земная кора, и верхняя мантия Украинского щита (УЩ) и граничащих с ним территорий являются существенно неоднородными в геоэлектрическом отношении. Здесь выявлены многочисленные локальные и региональные аномалии электропроводности. Их природа также может быть разной. Высокая электропроводность может быть связана как с ионной, так и с электронной проводимостью, в основном, сульфидов и графитов при условии их связности, или с той и другой одновременно. Возможным объяснением природы высокой электропроводности является наличие углерода в виде графита, создающего непрерывную пленку на гранях зерен породы.

Известная региональная Кировоградская аномалия повышенной электропроводности центральной части УЩ прослеживается в пределах восточной части Ингульского мегаблока и южной части Голованевской шовной зоны [Азаров и др., 2006]. Кировоградский рудный район (КРР) территориально совпадает с центральной частью Ингульского мегаблока УЩ. Ингульский (Кировоградский) мегаблок обладает симметричной структурой и ограничен шовными зонами — Голованевской на западе и Ингулеcko-Криворожской (ИКШЗ) на востоке.

Кировоградский рудный район (рис. 1) известен на УЩ урановыми проявлениями альби-

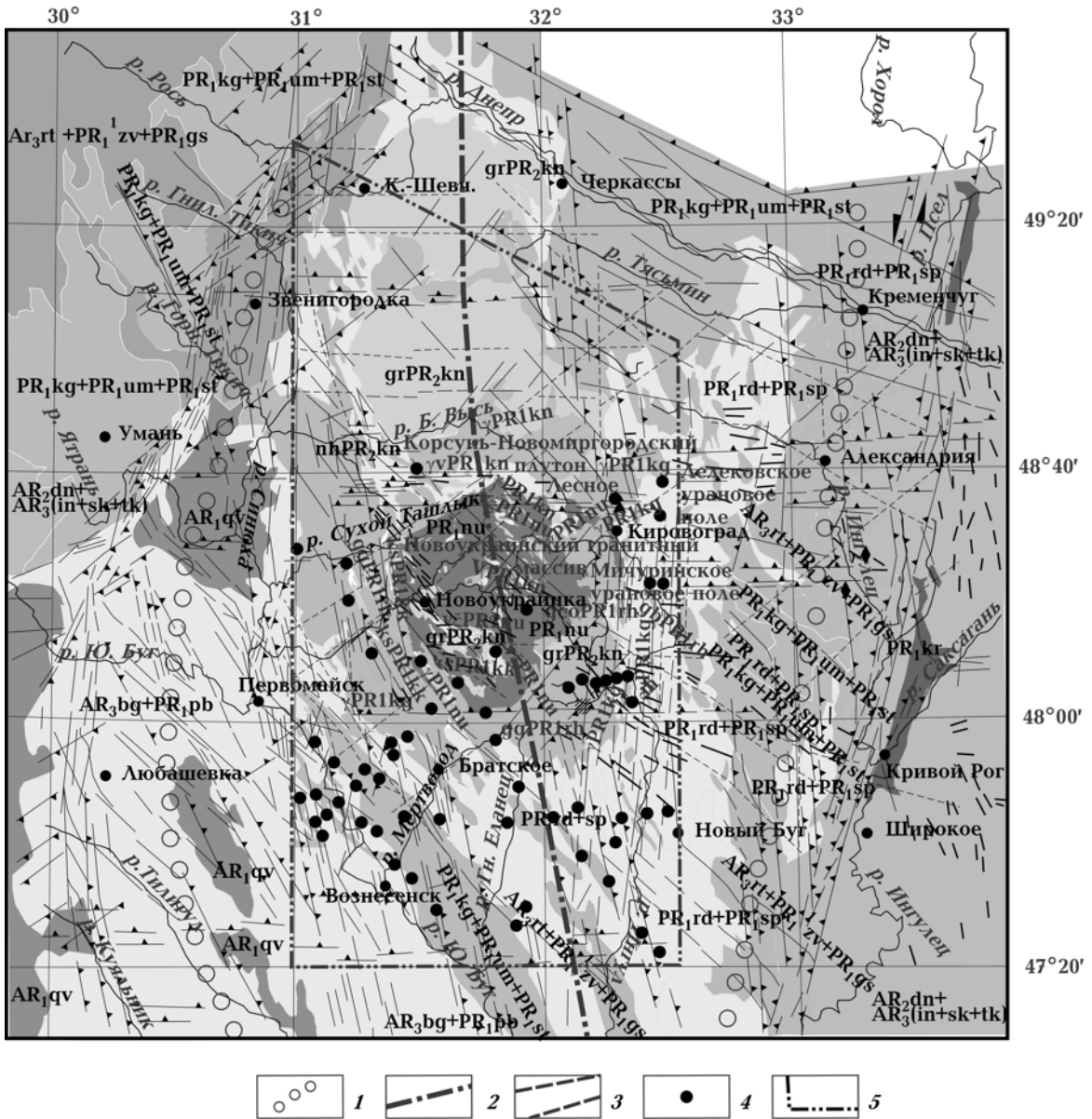


Рис. 1. Область построения геоэлектрической модели Кировоградского рудного поля УЩ на схеме геологического строения Ингульского мегаблока Украинского щита [Гинтов, Мычак, 2011]: 1 — осевые линии Голованевской (на западе) и Ингулецко-Криворожской (на востоке) шовных зон; 2 — трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск; 3 — границы зоны Кировоградского разлома; 4 — точки МТЗ и МВП; 5 — границы геоэлектрической модели.

титовой формации, локализацией золоторудных месторождений и проявлений графита. Проблема пространственной связи рудных месторождений этого района с глубинными неоднородностями литосферы, детальное геологическое описание Мичуринского, Лелековского и Новокопачевского рудных полей и их глубинной структуры продемонстрировано в статье [Старостенко и др., 2010]. Изучение геодинамического развития литосферы Украины и анализ его роли в формировании

месторождений полезных ископаемых позволило авторам статьи [Старостенко и др., 2011] сделать вывод о том, что между строением зон разломов и проникновением в верхние слои земной коры рудного вещества существует прямая связь. Интерес к геодинамическому развитию Ингульского мегаблока УЩ (по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным) в связи с его металлогеническими особенностями неоднократно поднимался в работах [Гинтов, Мычак, 2011; Гинтов, 2012; Мычак,

2012]. Приуроченность золоторудных месторождений к аномалиям повышенной электропроводности отмечалась в работе [Белявский и др., 2004]. Однако до настоящего времени связь полезных ископаемых с глубинными аномалиями повышенной электропроводности не рассматривалась из-за отсутствия объемной геоэлектрической модели.

**Построение объемной геоэлектрической модели Кировоградского рудного района** (см. рис. 1) основывалось на анализе магнитовариационных параметров поля геомагнитных вариаций ( $T=150$  с), типперов и магнитотеллурических зондирований (МТЗ) в диапазоне периодов магнитотеллурического поля до 4000 с в 58 пунктах региона [Ингеров, 1987, 1988; Ингеров, Рокитянский, 1993; Азаров и др., 2006].

В 2011 г. УкрНИМИ НАН Украины (И. Ю. Николаев) и Институтом геофизики НАН Украины (Г. Н. Зайцев и А. Н. Кушнир) были выполнены полевые экспериментальные магнитотеллурические и магнитовариационные исследования по шести профилям субширотного простирания. УкрНИМИ НАН Украины пройдены Кировоградский (8 пунктов), Клинцовский (7 пунктов) и Бобринецкий (6 пунктов) профили, Институтом геофизики НАН Украины — профили Северный, Южный и Клинцовский (10 пунктов) (рис. 2, 3). Для выполнения работ использовались цифровые пятикомпонентные длиннопериодные станции LEMI-410 и LEMI-417, разработанные в Львовском центре Института космических исследований. В качестве датчиков теллурического поля использовались диполи длиной 100 м, чувствительные элементы которых представляли неполяризующиеся электроды LEMI-701 для долговременных измерений, регистрация магнитного поля осуществлялась трехкомпонентными феррозондовыми магнитометрами.

Амплитудные и фазовые значения импеданса и кривые кажущегося сопротивления для меридионального ( $\rho_{xy}$ ) и широтного ( $\rho_{yx}$ ) направлений определялись с помощью программного комплекса PRC\_MTMV (Система обработки магнитотеллурических и магнитовариационных данных), разработанного И. М. Варенцовым (Россия, г. Троицк, ИГЕМИ РАН), который позволяет обрабатывать данные всевозможных одноточечных, синхронных, выполненных по методу «удаленной базы» (remote reference, или сокращенно RR), МТ- и МВ-записей, полученных различной цифровой (и аналоговой) аппаратурой [Varentsov et al., 1997].

Обработка экспериментальных данных проходила в два этапа:

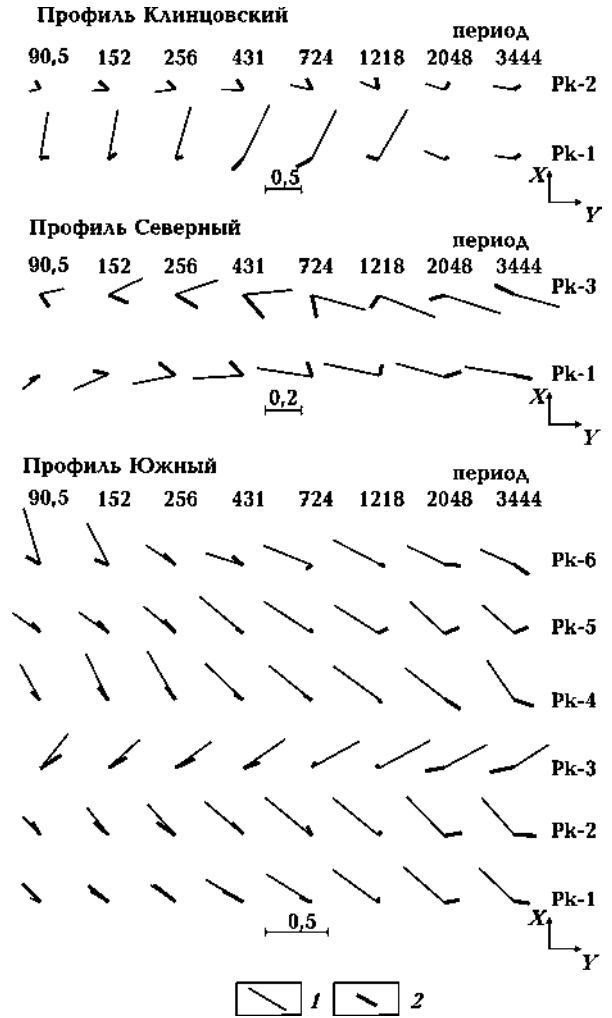


Рис. 2. Пример наблюдаемых индукционных параметров по данным 2011 г. Компоненты индукционных параметров: 1 — Re, 2 — Im.

- препроцессинг временных рядов, полученных станциями на каждом пункте наблюдений, заключающийся в прореживании данных с целью отбраковки различных импульсных помех, связанных с предупусковой автокалибровкой станций, а также промышленными помехами в оперативной близости от станции;
- непосредственная обработка оптимизированного ряда для построения амплитудных и фазовых значений импеданса, кривых  $\rho_{xy}$  и  $\rho_{yx}$ .

На основе экспериментальных наблюдений геомагнитных вариаций на периоде  $T=150$  с были построены схемы модулей индукционных параметров  $C_x$  (субширотной) и  $C_y$  (субмеридиональной) компонент (рис. 4).

Анализ кривых магнитотеллурического зондирования показывает, что центральная

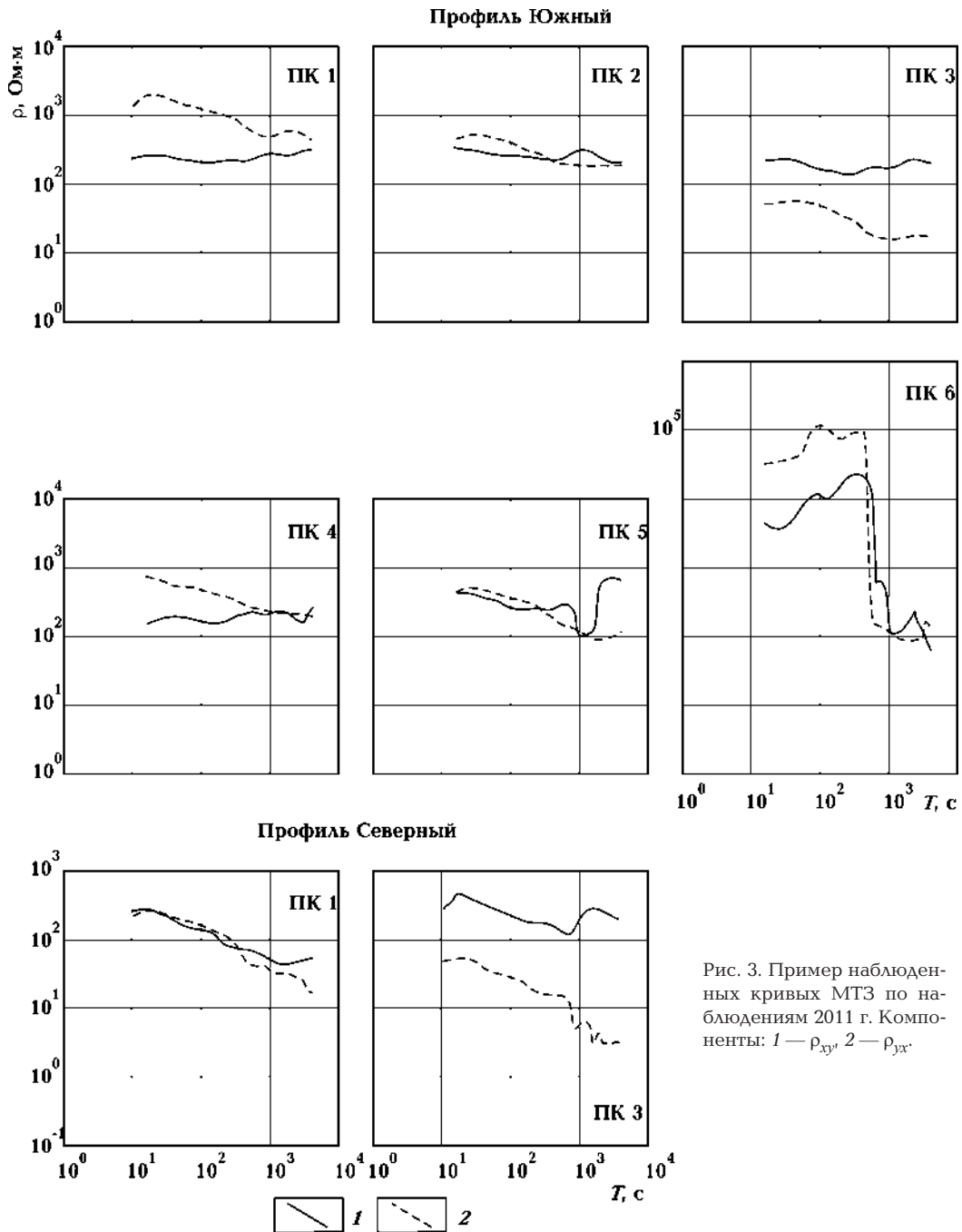


Рис. 3. Пример наблюдаемых кривых МТЗ по наблюдениям 2011 г. Компоненты: 1 —  $\rho_{xy}$ , 2 —  $\rho_{yx}$ .

часть УЩ содержит области с высокой электропроводностью на разных глубинах. По магнитовариационным данным территория 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.

Большинство объектов поиска в рудной и структурной электроразведке при геофизиче-

ских исследованиях скважин, региональных и глобальных геоэлектрических исследованиях земной коры и мантии Земли, как правило, являются сложными трехмерными структурами, поэтому основным способом анализа и интерпретации экспериментальных данных должно быть трехмерное моделирование.

Инструментом для создания и расчета электрических и магнитных компонент магнитотеллурического поля, типперов и кривых кажущегося удельного электрического сопротивления ( $\rho_k$ ) послужила широко распростра-

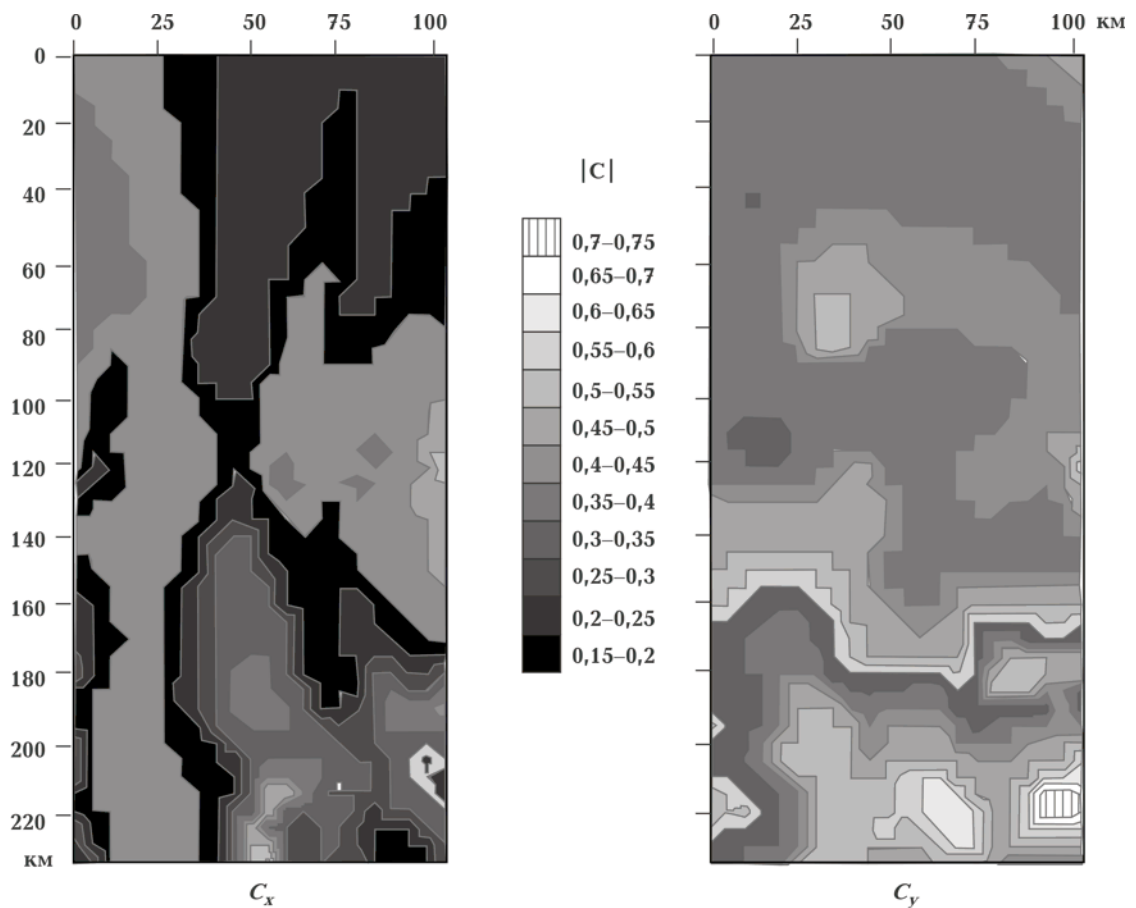


Рис. 4. Схемы модулей индукционных параметров  $C_x$  (субширотной) и  $C_y$  (субмеридиональной) компонент.

ненная программа 3D моделирования Р. Макки [Randall et al., 1994].

Для учета влияния неоднородного распределения электропроводности приповерхностного проводящего слоя в 3D модели были заложены параметры электропроводности осадочных отложений, суммарная продольная проводимость которых находится в пределах от 3 См на УЩ до 200 См на его северном и южном склонах. Распределение  $\rho_k$  по слоям и мощности слоев приняты условно, исходя из данных о значениях суммарных продольных проводимостей осадочных отложений и глубины до консолидированного фундамента.

На магнитотеллурическое поле в локальной области большое влияние оказывают геоэлектрические свойства и параметры глубинного «нормального» горизонтально-слоистого разреза и региональной латерально-неоднородной структуры Кировоградской аномалии высокой электропроводности, внутри которой расположен исследуемый объект.

Методика построения моделей глубинной электропроводности и методы трехмерного мо-

делирования квазистационарных полей, которые применены в настоящей работе, описаны в монографии [Азаров и др., 2006].

Региональная Кировоградская аномалия и локальные аномальные области рассматривались [Бурахович, Кулик, 1999; 2007; Белявский и др., 2001; Азаров и др., 2006] на фоне хорошо известного для УЩ одномерного разреза, который характеризуется параметрами:  $\rho_1=10 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_1=1 \text{ км}$ ;  $\rho_2=2000 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_2=159 \text{ км}$ ;  $\rho_3=600 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_3=40 \text{ км}$ ;  $\rho_4=250 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_4=50 \text{ км}$ ;  $\rho_5=100 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_5=70 \text{ км}$ ;  $\rho_6=50 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_6=80 \text{ км}$ ;  $\rho_7=20 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_7=100 \text{ км}$ ;  $\rho_8=10 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_8=100 \text{ км}$ ;  $\rho_9=5 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_9=160 \text{ км}$ ;  $\rho_{10}=1 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_{10}=200 \text{ км}$ ;  $\rho_{11}=0,1 \text{ Ом}\times\text{м}$ ,  $h_{11}=\infty \text{ км}$ .

Для построения локальной модели распределения  $\rho_k$  пород земной коры и верхней мантии КРР была сформирована область моделирования, которая состоит из 48256 параллелепипедов. Ось  $x$  направлена на восток, ось  $y$  — на север, ось  $z$  — к центру Земли. В соответствии с направлением осей расположены ячейки ( $32\times 58\times 26$ ), каждая из которых характеризуется однородным распределением  $\rho_k$ .

Эта область была разделена на аномальную, содержащую локальные неоднородности, и окружающую ее нормальную (горизонтально-слоистую) среды. Горизонтальные размеры ячеек в аномальной области модели были равны и составляли 5 км, ячейки, расположенные на окраинах области моделирования, характеризуются большими размерами (до 150 км) для более точного описания затухания аномальных полей. Вертикальные размеры ячеек изменялись от 10 м (в верхних) до 5 км (в глубинных) слоев. Это объясняется необходимостью соотносить размеры ячеек с пространственными длинами электромагнитных волн на различных периодах магнитотеллурического поля. Границы глубинных аномальных объектов описывались ячейками с размерами 2 км и более. Такое сложное описание модели связано с резкими изменениями параметров электропроводности региона и, следовательно, необходимостью подробно описать границы раздела на разных глубинах и расстояниях от исследуемой аномальной структуры.

Прежде всего были рассчитаны и проанализированы индукционные параметры для модели, которая состоит только из неоднородного поверхностного слоя на фоне «нормального» разреза. Субширотные протяженные неоднородные проводящие структуры Днепровско-Донецкой и Причерноморской впадин значительно отразились на северной составляющей индукционного параметра  $|C_y|$ . В то же время восточная составляющая  $|C_x|$  получилась меньшей по величине и к тому же ее распределение более однородно. Такое распределение величин существенно отличается от наблюдаемых (рис. 4), т. е., действительно, в недрах консолидированной коры должны присутствовать аномалии высокой электропроводности.

Следующий шаг заключался во введении в локальную модель региональных глубинных объектов высокой проводимости, составляющих результаты двумерного, квазитрехмерного пленочного и трехмерного моделирования [Белявский и др., 2001; Бурахович, Кулик, 2007].

При более детальном представлении расчеты модулей индукционных параметров для этой модели недостаточно удовлетворяют наблюдаемым данным (см. рис. 4). Они не отражают мозаичный характер наблюдаемых полей и показывают, что в локальную геоэлектрическую модель необходимо ввести дополнительные проводники в верхние части разреза земной коры, которые имеют субширотную ориентацию в северной, субмеридиональную

в западной и с северо-запада на юго-восток в центральной части планшета.

Расчеты модулей индукционных параметров для локальной модели региональных глубинных объектов Кировоградской аномалии высокой проводимости показали, что конфигурации изолиний индукционных параметров и их значения в аномалиях электропроводности представляют собой разветвленную сеть проводников, которые могут быть приурочены к отдельным частям Звенигородско-Братской, Субботско-Мошоринской, Смелянской, Лелековской, Конкской, Первомайской и Кировоградской разломных зон. В результате расчетов этой модели получены магнитовариационные данные, удовлетворяющие наблюдаемым параметрам. Для этой же модели были рассчитаны  $\rho_k$  в широком диапазоне периодов от 0,16 до 4000 с. Получены кривые МТЗ, которые сравнивались с наблюдаемыми данными в 58 пунктах. В 46 пунктах имеется хорошее соотношение рассчитанных и экспериментальных данных, расположенных в разных частях планшета (рис. 5).

В районе Первомайской зоны разломов параметры геоэлектрической модели, построенной в данной работе, нельзя считать окончательными, так как эта хорошо проводящая структура только частично попадает в планшет моделирования. Как неоднократно указывалось авторами, Первомайский глубинный разлом характеризуется низкими значениями  $\rho_k$  от первых десятков до 100 Ом·м, и его проводимость вызвана субвертикальными телами (мощностью до 10 км), которые имеют гальваническую связь с поверхностными отложениями [Бурахович, Кулик, 1999, 2007; Азаров и др., 2006].

В итоге была получена объемная модель распределения удельного электрического сопротивления в земной коре и верхней мантии КРР. Она представлена в виде глубинных горизонтальных срезов на глубинах от 0 до 100 м, от 100 м до 2,5 км, от 20 до 25 км, от 25 до 30 км, от 50 до 120 км (рис. 6, 7).

**Связь полезных ископаемых КРР с аномалиями повышенной электропроводности на различных глубинах. Глубина от 0 до 100 м.** Первые 100 м геоэлектрической модели в основном отражают распределение поверхностных осадочных отложений на северном и южном склонах УЩ (рис. 6, а). На западе планшета в самой верхней части разреза проявляются высокопроводящие зоны в районе Емиловской и Звенигородско-Братской зон

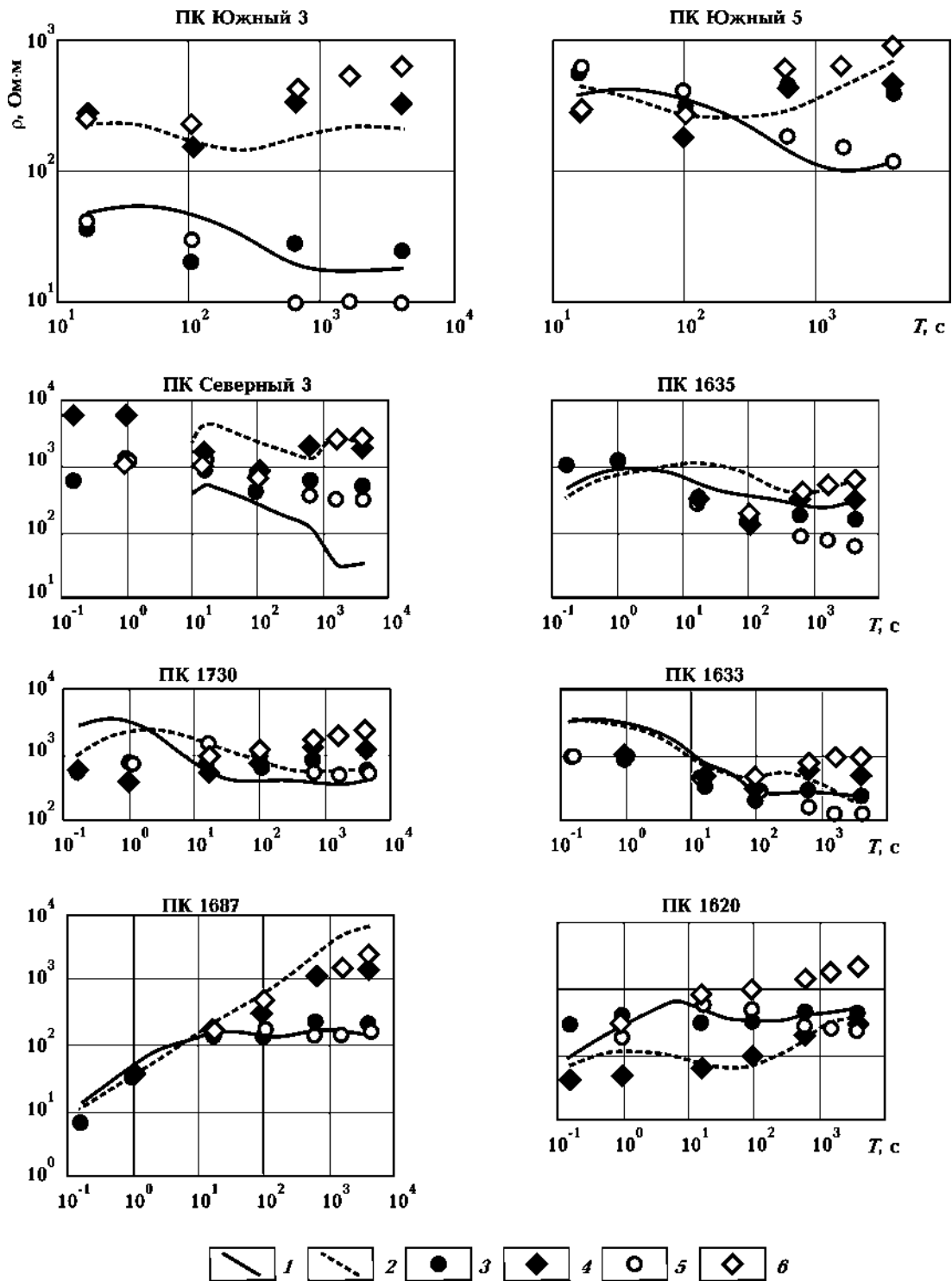


Рис. 5. Наблюдаемые и рассчитанные кривые МТЗ для трехмерной геоэлектрической модели земной коры и верхней мантии Кировоградского рудного района УЩ: 1, 2 — наблюдаемые кривые МТЗ (1 — ху, 2 — ух); 3, 4 — модель «земная кора» (3 — ху, 4 — ух); 5, 6 — модель «земная кора и верхняя мантия» (5 — ху, 6 — ух).

разломов. Эти зоны высокой электропроводности (значение удельного электрического сопротивления которых достигают 10 Ом·м на фоне среднего значения 2000 Ом·м для всего

УЩ) имеют гальваническую связь с проводящими поверхностными образованиями.

Из анализа рис. 6, а следует отсутствие какой-либо связи проявлений полезных ископае-

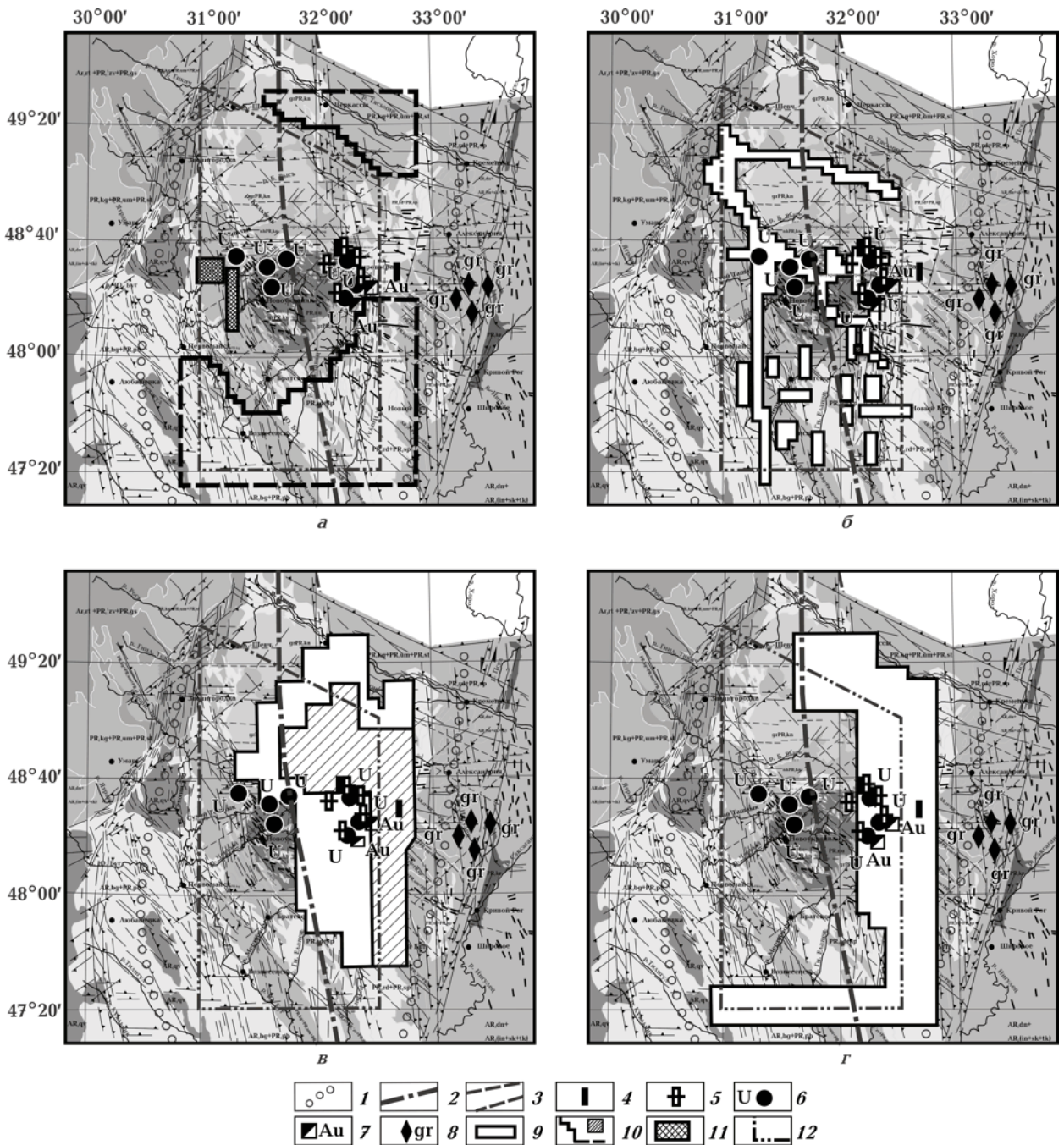


Рис. 6. Аномалии удельного электрического сопротивления в интервале глубин 0—100 м (а), 0,1—2,5 км (б), 20—25 км (в) и 25—30 км (г) на схеме геологического строения Ингульского мегаблока Украинского щита [Гинтов, Мычак, 2011]: 1 — осевые линии Голованевской (на западе) и Ингулецко-Криворожской (на востоке) шовных зон; 2 — трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск; 3 — границы зоны Кировоградского разлома; 4 — дайки кимберлитов нижнепротерозойского возраста; 5 — дайки субщелочных пикритоидов (калиевая ветвь); 6—8 — месторождения (6 — урана, 7 — золота, 8 — графита); 9—11 — аномалии удельного электрического сопротивления интенсивностью (9 — 50 Ом·м, 10 — 1 Ом·м (штрихом указаны границы проводящих приповерхностных отложений), 11 — 10 Ом·м); 12 — границы геоэлектрической модели.

ных с рассматриваемыми аномалиями, так как аномалии, скорее всего, обусловлены обводненностью трещиноватых зон поверхностных отложений.

**Глубина от 100 м до 2,5 км.** На этих глубинах (рис. 6, б) появляется сеть проводящих каналов с  $\approx 50$  Ом·м, которые в большинстве случаев совпадают с отдельными частями глубинных



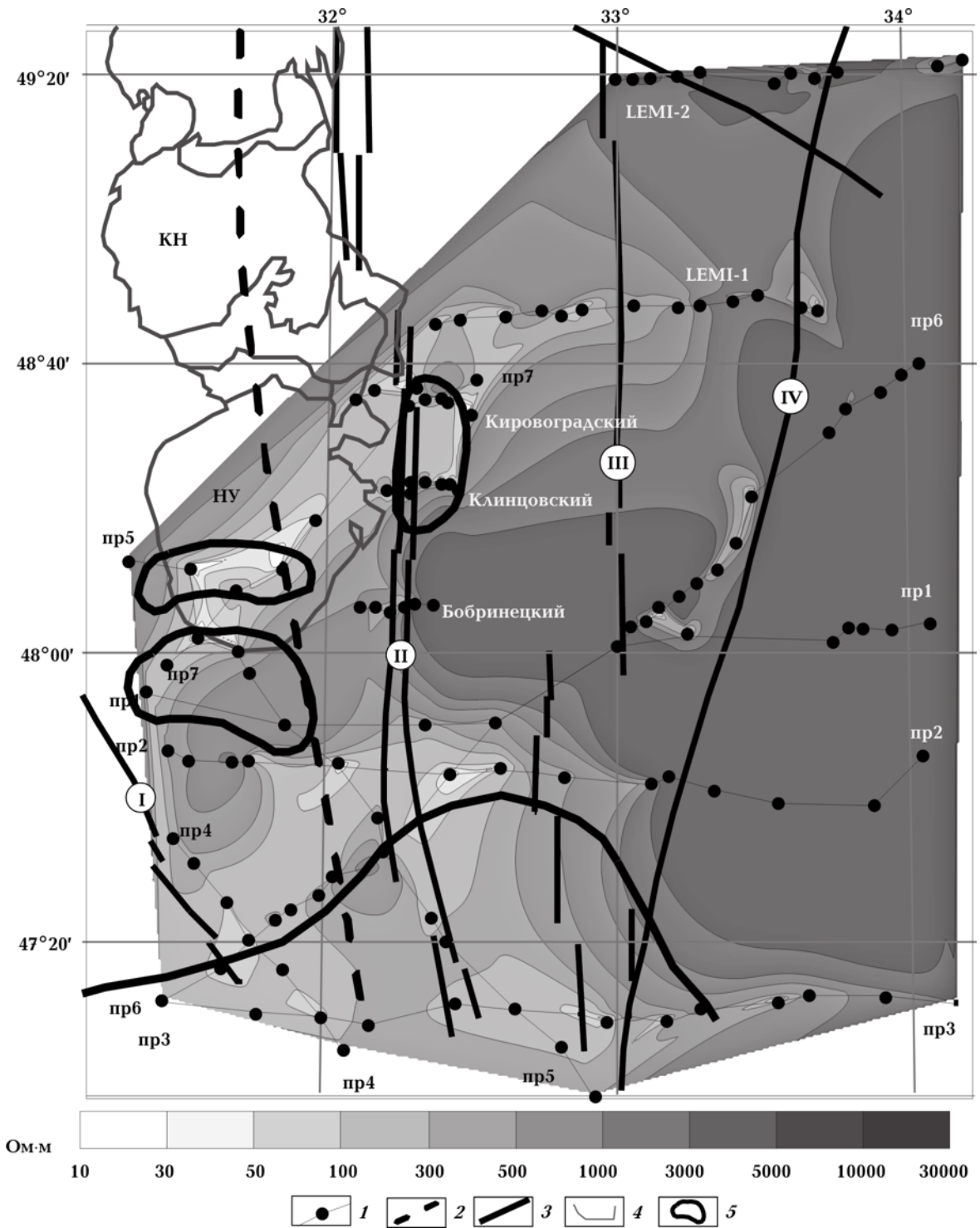


Рис. 7. Геоэлектрический срез на глубине 100 км по данным МТЗ: 1 — пункт МТЗ на профиле; 2 — трансрегиональный тектонический шов Херсон—Смоленск; 3 — тектонические нарушения (разломы: I — Первомайский, II — Кировоградский, III — Западно-Ингулецкий, IV — Криворожско-Кременчугский); 4 — геологические границы массивов (КН — Корсунь-Новомиргородский, НУ — Новоукраинский); 5 — границы проводника 50 Ом·м на глубине 50—120 км по данным 3D моделирования.

разломных зон УЩ и с зонами метасоматической проработки пород. Западная субмеридиональная структура высокой проводимости

на севере совпадает с Гнилотикичской частью Первомайской, а южнее — с Звенигородско-Братской зонами разломов. Восточная субме-

ридиональная структура сложного строения совпадает с простираем отдельных частей Кировоградской зоны. Северная субширотная структура высокой электропроводности совпадает с положением в пространстве Смелянской зоны разломов. Южнее простирается еще одна проводящая структура сложной конфигурации, вытянутая с северо-запада на юго-восток вдоль Нерубаевско-Лозоватской зоны разломов. Еще южнее расположена целая серия проводящих объектов различной ориентации, приуроченная к Звенигородско-Братской и Кировоградской зонам разломов.

С зонами метасоматической проработки пород, приуроченными к вышеотмеченным разломам, пространственно связаны калиевые и натриевые метасоматиты с локализуемым в них урановым оруденением (рис. 8).

В ассоциации с метасоматически измененными породами прослежены определенные количества электропроводящих минералов — пирита, пирротина, галенита, магнетита, ильменита.

**Глубина от 20 до 25 км.** Характер распределения удельного электрического сопротивления на глубине от 20 до 30 км совпадает с распределением  $\rho$  региональной Кировоградской аномалии электропроводности (см. рис. 6, в). Фиксируется только западная часть полномасштабной региональной аномалии в виде фигуры с двумя контурами значений удельного электрического сопротивления: внутренним ( $\rho=10$  Ом·м) и внешним ( $\rho=50$  Ом·м). Переход от внешнего к внутреннему контуру приурочен к Кировоградской зоне разломов практически на всем ее протяжении в границах УЩ. Западная граница аномалии электропроводности приурочена к межрегиональному тектоническому шву Херсон—Смоленск, субширотные границы проводящей структуры — к Смелянской (на севере), Субботско-Мошоринской, Лелековской, Глодосской, Новокопачинской и Марьевской зонам.

Месторождения урана альбититовой формации, золоторудные месторождения и дайки алмазоносных и неалмазоносных кимберлитов расположены на границе внутреннего и внешнего контуров аномалии повышенной электропроводности, совпадающей. Часть месторождений и проявлений урана локализованы в вышеотмеченных субширотных зонах разломов.

**Глубина от 25 до 30 км.** Четче всего высокая электропроводность ( $\rho=50$  Ом·м) региональной Кировоградской аномалии проявилась в интервале глубин 25—30 км (см. рис. 6, г).

Она представляет собой вытянутую с юга на северо-северо-восток структуру (западным ограничением которой является Кировоградская разломная зона), только на юге УЩ изменяющую свое простираем на субширотное вдоль Конкской зоны. Северной границей в пределах Ингулецко-Криворожской зоны УЩ служит зона разломов субширотного простираем. Южная субширотная граница северной части до Кировоградской зоны совпадает со Смелянской зоной разломов.

Значительная часть месторождений урана альбититовой формации, золоторудные месторождения и проявления кимберлитовых даек расположены на границе той части высокопроводящей Кировоградской аномалии, которая совмещается с глубинной частью Кировоградской зоны разломов. Однако часть рудопроявлений урана находится за пределами аномалии и тяготеет к менее глубинным субширотным проводящим объектам (см. рис. 6, б).

**Глубина от 50 до 120 км.** С целью исследования геоэлектрических неоднородностей верхней мантии КРР И. Ю. Николаевым были проведены переинтерпретация экспериментальных данных, рассмотренных в монографии [Азаров и др., 2006], и анализ данных МТЗ и АМТЗ, полученных УкрНИИМИ НАН Украины в 2011 г. в районе Ингульского мегаблока УЩ. По результатам 1D инверсии вдоль серии профилей построены геоэлектрические разрезы до глубины 60, 200 км и глубже.

Начиная с глубины 50 км и до 120 км можно выделить несколько участков с низкоомными аномалиями в районе построения трехмерной геоэлектрической модели (рис. 7). Однако, как и по результатам 1D инверсии, осевой частью аномалии является Кировоградская зона разломов. Наиболее низкоомный участок этой аномалии находится в южном ограничении Ингульского мегаблока и приурочен к веерообразно сходящимся зонам глубинных разломов — Западно-Ингулецкого и Кировоградского, трансрегиональному разлому Херсон—Смоленск, Первомайской зоне разломов. Кроме того, наблюдается локальная область северо-восточного простираем в центральной части планшета, расположенная в районе глубокого прогиба раздела М, по данным [Старостенко и др., 2010] со ссылкой на работу [Соллогуб, 1986], где ныне и установлено расположение месторождений КРР.

В трехмерную модель в интервале глубин от 50 до 120 км были заложены проводники с удельным электрическим сопротивлением

50 Ом·м. Подобные параметры были приняты и для проводника в центральной части планшета. На глубине от 50 до 70 км северная граница субширотного проводника (юг планшета) доходит до 47,5° с.ш., а от 70 до 120 км — почти до 48° с.ш.

Анализ расчета электромагнитных полей трехмерной геоэлектрической модели земной коры и верхней мантии показал, что вклад мантийного проводника невелик и проявляется на кривых МТЗ в области периодов более 625 с. Только на кривых МТЗ в пунктах Северный-1, 1692, 1632, 1605—1607, 1689—1691 (центр планшета) и 282, 611, 688, 1687 (юг планшета) введение в модель проводника в верхней мантии улучшило соответствие наблюдаемых и рассчитанных значений  $\rho_k$ .

Типперы, рассчитанные для  $T=2000$  с, в центральной части планшета в среднем равны 0,1, в то время как наблюдаемые параметры, по данным [Рокитянский, 1975], часто выше 0,3.

Следовательно, вряд ли существует единый проводник в верхней мантии в центральной части планшета. Скорее всего, можно предположить существование нескольких локальных неоднородностей в этом интервале глубин, пространственное расположение (см. рис. 7) которых соответствует участкам, где были зарегистрированы перечисленные выше наблюдаемые кривые МТЗ. Возле г. Кировограда, в зоне пересечения Кировоградской и Субботско-Мошоринской зон разломов, выделяется проводник субмеридионального простирания размером 30×15 км. Две субширотные проводящие зоны фрагментарно проявляются вдоль трансекта Херсон—Смоленск. Северная характеризуется размером 15×50 км (кстати, над этим участком в земной коре выделен проводник на глубине 5—20 км с 10 Ом·м), южная — размером 15×40 км. Размеры этих зон в широтном направлении почти такие же, как и ширина Новоукраинского массива. Из-за отсутствия экспериментальных наблюдений в области больших периодов, к сожалению, трудно установить, существуют ли в северном направлении вдоль шва Херсон—Смоленск такие же изолированные проводящие тела в верхней мантии.

В южной части планшета существенных различий между значениями наблюдаемых и рассчитанных типперов для моделей (аномальная кора или аномальные кора и мантия) не наблюдалось. И это естественно, так как параметры глубинного проводника в верхней мантии трудно определить под поверхностными отло-

жениями, проводимость которых доходила в этой части планшета до 200 См и более, а в земной коре в районе Кировоградской аномалии от 600 до 1000 См. В рамках эквивалентности рассчитанные модели удовлетворяют наблюдаемым данным. Однако с учетом анализа  $\rho_k$  в области больших периодов, северная граница мантийного проводника должна проходить южнее 47,20° с.ш. Восточнее 32° в.д. она доходит до 47,40° с.ш. (см. рис. 6). Максимальное внедрение с юга на север наблюдается вдоль Кировоградской аномалии, в зоне глубинных разломов — Западно-Ингулецкого и Кировоградского.

**Заключение.** В большинстве случаев электрические параметры горных пород, слагающих верхнюю часть разреза, позволяющие контролировать рудопроявления за счет метасоматических изменений околорудных пород — графитизации, сульфидизации, ожелезнения и окварцевания.

Так, в пределах КРП выделяется разветвленная сеть проводников с низким сопротивлением, которые приурочены к отдельным частям Звенигородско-Братской, Субботско-Мошоринской, Смелянской, Лелековской, Конкской, Первомайской и Кировоградской разломных зон.

По данным МТЗ сопротивление гранитов Новоукраинского, Уманского, Долинского, Корсунь-Новомиргородского массивов 1000—3000 Ом·м, а гнейсов, в которых они расположены 100—1000 Ом·м. Низкие значения сопротивления могут быть обусловлены широким распространением среди них метасоматически измененных разностей.

Часть месторождений и рудопроявлений урана альбититовой формации тяготеет к аномалиям повышенной электропроводности на глубине 0,1—2,5 км, природа которых, скорее всего, обусловлена наличием электропроводящих минералов (пирита, пирротина, галенита, магнетита, ильменита) в зонах метасоматической проработки пород.

На глубинах от 2,5—20 км до 25—30 км высокая электропроводность контролируется Кировоградской разломной зоной, которая играет решающую роль в локализации месторождений урана альбититовой формации, золоторудных месторождений и кимберлитовых даек. Формирование урановой и золоторудной минерализации обусловлено метасоматической проработкой пород, вероятнее всего, за счет мантийных флюидов, несущих тепло и рудные компоненты и образующих аномалии высокой

электропроводности на глубине 20—30 км. Эти зоны «наиболее интенсивного проявления взаимодействия флюидов с вмещающими породами» [Шумлянская, 2008; Цветкова и др., 2012] отличаются высокой проницаемостью.

Аномалии повышенной электропроводности на верхнекоровых глубинах отражают следы воздействия колонны мантийных флюидов

на верхние этажи земной коры, которые, скорее всего, проявили себя после становления Корсунь-Новомиргородского плутона. В пользу этого предположения свидетельствует приуроченность даек кимберлитов и продуктов мантийного магматизма к тем же зонам, что и проявления урана альбититовой формации и локализация месторождений золота.

### Список литературы

- Азаров Н. Я., Анциферов А. В., Шеремет Е. М., Глевасский Е. Б., Есипчук К. Е., Кулик С. Н., Бурахович Т. К., Пигулевский П. И., Николаев Ю. И., Николаев И. Ю., Сетая Л. Д., Захаров В. В., Курлов Н. К. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 2006. — 196 с.
- Азаришвили 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., Кулик С. Н. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. — 1999. — 21, № 2. — С. 120—125.
- Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Трехмерная модель Кировоградской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 1. — С. 45—55.
- Гинтов О. Б. Докембрий Украинского щита и тектоника плит // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 6. — С. 3—21.
- Гинтов О. Б., Мычак С. В. Геодинамическое развитие Ингульского мегаблока Украинского щита по геолого-геофизическим и тектонофизическим данным. I // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 3. — С. 102—118.
- Ингеров А. И. Карта магнитных параметров МТЗ и МВП Ю-В части УЩ. — 1:1000000. Укргеолфонд, № 50034. — 1988.
- Ингеров А. И. Результаты региональных исследований МТЗ вдоль геотраверса Ужгород-Ворошиловград: Отчет Центр. геофиз. экспедиции «Укргеология» № 248/87. — 1987.
- Ингеров А. И., Рокитянский И. И. Украинский щит // Литосфера Центральной и Восточной Европы: Обобщение результатов исследований. — Киев: Наук. думка, 1993. — 257 с.
- Кашкевич М. П. Геофизический образ графитизированных глубинных разломов: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Санкт-Петербург: СПбГУ, 2000. — 124 с.
- Мычак С. В. Напряженно-деформированное состояние и кинематические характеристики верхней части земной коры в районе Мичуринского месторождения (Кировоградский рудный район) Украинского щита // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 2. — С. 125—133.
- Рокитянский И. И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. — Киев: Наук. думка, 1975. — 279 с.
- Соллоуб В. Б. Литосфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1986. — 184 с.
- Старостенко В. И., Гинтов О. Б., Кутас Р. И. Геодинамическое развитие литосферы Украины и его роль в формировании и размещении месторождений полезных ископаемых // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 3. — С. 3—22.
- Старостенко В. И., Казанский В. И., Попов Н. И., Дрогичкая Г. М., Заяц В. Б., Макивчук О. Ф., Трипольский А. А., Чичеров М. В. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). I // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 1. — С. 3—33.
- Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В. Сверхглубинные флюиды Восточно-Европейской платформы. Геологическая среда, минерогенетические и сейсмотектонические процессы: XVIII Междунар. конф. 24—29 сентября 2012. — Воронеж: Научная книга, 2012. — С. 392—395.
- Шумлянская Л. А. Мантийные блоки и зоны повышенной проницаемости Украинского щита // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 2. — С. 135—144.
- Randall L., Macki J., Torquil S., Theodore R. Madden

Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The magnetotelluric example // *Radio Sci.* — 1994. — **29**, № 4. — P. 923—935.

*Varentsov I. M., Golubev N. G., Martanus E. R., Soko-*

*lova E. Yu., Nalivaiko K. L.* Magnetotelluric processing system PRC-MTMV and its applications // Russian—German Seminar «Actual Problems in Deep EM Studies» (Extended Abstracts). — Moscow: OIFZ RAN, 1997. — P. 51—52.