

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 550:837

Аномалии электропроводности по результатам трёхмерного геоэлектрического моделирования и полезные ископаемые центральной части Украинского щита

Т.К. Бурахович^а, И.Ю. Николаев^б, Е.М. Шеремет^б, Б.И. Ширков^{а,с}

^аИнститут геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 03680, Киев,
пр. Акад. Палладина, 32, Украина. E-mail: earth@igph.kiev.ua

^бИнститут геохимии, минералогии и рудообразования им. М.П. Семененка
НАН Украины, 03680, Киев 142, пр. Акад. Палладина, 34, Украина
E-mail: office.igmr@gmail.com

^сКиевский национальный университет имени Тараса Шевченко, НИИ «Ин-
ститут геологии», 03022, Киев, ул. Васильковская, 90, Украина
E-mail: cgph@univ.kiev.ua

(Статья поступила в редакцию 15 июля 2016 г.)

В статье приведены результаты трёхмерного геоэлектрического моделирования центральной части Украинского щита по данным магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования. Показана пространственная связь расположения рудопроявлений и месторождений полезных ископаемых с аномалиями повышенной электропроводности данного региона. Выдвинуто предположение, что низкоомные области обязаны своим существованием процессам дегазации, которые особенно активно проявляются в зонах глубинных разломов.

Ключевые слова: *магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), магнитовариационное профилирование (МВП), прогноз выявления месторождений полезных ископаемых.*

DOI: 10.17072/psu.geol.32.61

Введение

Процессы, происходящие на Земле, могут иметь как внешние, так и внутренние источники энергии. Литосфера является динамично изменяющейся неоднородной сложно построенной многофазной оболочкой [14], которая находится под воздействием самых разнообразных фак-

торов как эндогенной, так и экзогенной природы в самых разнообразных состояниях. Естественно, с увеличением глубины всё большее значение приобретают внутренние, глубинные процессы, среди которых особое место занимают флюидные. Так или иначе они связаны с дегазацией Земли. Флюиды являются важным агентом теплопереноса [8], одно-

временно представляя собой фактор энергетический, привнося в верхние слои литосферы тепло и таким образом активизируя происходящие там реакции, и вещественный, поскольку содержат в своём составе химически активные соединения, а также транспортируют разные элементы в верхние оболочки Земли. Таким образом, флюидные процессы – серьёзный фактор формирования месторождений полезных ископаемых, особенно рудных и углеводородных залежей [8].

Непосредственно источниками флюидов в зоне формирования перспективных месторождений могут быть внедрившиеся в кору диапиры либо другие интрузии большого размера, а также разогретые участки в мантии Земли. Пути миграции из мантии и нижней части земной коры служат глубинные разломы. Они являются зонами повышенной проницаемости, которые разделяют относительно монолитные крупные блоки литосферы. Таким образом формируются области, имеющие кардинально различающиеся геоэлектрические свойства: хорошо проводящие электрический ток глубинные разломные зоны вместе с прилегающими метасоматически изменёнными горными породами и обладающие свойствами «изоляторов» относительно ненарушенные слабоизменённые блоки, ограниченные этими разломами.

Значительное увеличение объемов электроразведочных работ с применением методов МТЗ и МВП при поисках и разведке рудных месторождений отмечается в работе [4]. В статье предпринята попытка установить некоторые качественные соответствия между аномалиями повышенной электропроводности и месторождениями, а также рудопроявлениями полезных ископаемых.

Геоэлектрические исследования центральной части Украинского щита (УЩ)

Согласно современным представлениям, УЩ состоит из шести мегаблоков с

тремя шовными зонами. Кроме того, в схеме обобщенного вещественного состава УЩ выделена еще одна шовная зона – Немирово-Кочеровская, разделяющая Волинский, Подольский и Бугско-Росинский мегаблоки и объединяющая Звиздаль-Залесскую, Немировскую, Брусиловскую и другие глубинные зоны разломов (ЗР) западной части УЩ. Шовные зоны с позиций тектоники плит рассматриваются как швы закрытых в прошлом межмикроконтинентальных бассейнов, которые существовали в архее и протерозое [5, 6]. Фрагментами раннедокембрийских микроконтинентов, между которыми расположились эти бассейны, можно считать современные мегаблоки УЩ.

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, и глубинные МТЗ в широком диапазоне периодов вплоть до суточных, выполненные в Институте геофизики НАНУ аналоговыми станциями МЭВС-5 [1, 3].

Совместными усилиями институтов НАН Украины по созданию геолого-геофизических моделей шовных зон на территории УЩ начиная с 2005 г. были выполнены экспериментальные МТ и МВ исследования с помощью современных цифровых станций LEMI-410 и LEMI-417, разработанных Львовским центром Института космических исследований. Полевые материалы обрабатывались на основе программного комплекса PRC_MTMV [4].

Основной результат геоэлектрических исследований заключается в том, что в недрах земной коры центральной части УЩ наблюдается такое природное явление, как высокая электропроводность, которая концентрируется в отдельных участках земной коры и верхней мантии и формирует зоны различной 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 по-разному характеризуют геологические регионы.

Субвертикальные зоны высокой электропроводности совпадают с межблочными разломами УЩ. Аномалии электропроводности этого типа могут свидетельствовать о высокой проницаемости для флюидов шовных зон в процессе их образования и о значительной флюидонасыщенности межзернового пространства. В пределах Голованевской (ГШЗ), Ингулецко-Криворожской (ИКШЗ) шовных зон и Ингульского мегаблока наблюдаются аналогичные субвертикальные электропроводящие зоны. Они характеризуются меньшей протяженностью и коррелируют с глубинными разломами второго ранга.

Центральная часть УЩ составлена протерозойскими образованиями и отличается высокой электропроводностью по всему разрезу земной 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 [10] выделяются: 1) высокоомный Среднеприднепровский мегаблок (более 5000 Ом·м), существенно неоднородный по удельному сопротивлению в параметрах электропроводности Ингульский мегаблок (от 10 до 5000 Ом·м), низкоомные ИКШЗ и ГШЗ (до 300-500 Ом·м), Причерноморская впадина (до 300 Ом·м), Кировоградская ЗР (10-1000 Ом·м); 2) пространство между Кировоградской и Криворожско-Кременчугской ЗР с поверхности и до глубин порядка 30 км, которое характеризуется низкими значениями удельного электрического сопротивления (ρ) (от 10 до 300 Ом·м); 3) глубинные ЗР (Криворожско-Кременчугская, Западно-Ингулецкая, Ингулецкая, Кировоградская, Первомайская), которые на геоэлектрических разрезах выделяются как низкоомные субвертикальные структуры; 4) Кировоградский рудный район, характеризую-

щийся низкоомной областью (менее 300 Ом·м) до глубин порядка 50 км.

Таким образом, имеются достаточно обширные данные по электрическим свойствам горных пород данного региона, на основе которых можно проводить трёхмерное геоэлектрическое моделирование центральной части УЩ и выявлять пространственные связи электропроводных структур и рудных полезных ископаемых.

Аномалии электропроводности центральной части УЩ и прогнозирование залежей рудных полезных ископаемых

Геоэлектрические параметры горных пород, слагающих верхнюю часть разреза, позволяют выявлять зоны оруденения благодаря метасоматическим изменениям пород – графитизации, сульфидизации, ожелезнению и окварцеванию. В связи с этим становится понятным интерес геологов к выделению высокопроводящих зон в коре и мантии Земли.

Расчеты геоэлектрической 3D модели [1, 3] позволили выявить различную пространственную ориентацию аномалий электропроводности в центральной части УЩ – субширотную и субмеридиональную, соответствующую поверхностным и глубинным аномалиям электропроводности (рис. 1).

На фоне «нормального» распределения поверхностных отложений в ГШЗ обнаружены две аномалии с субширотной ориентацией в пространстве (рис. 1, 2) в самой верхней (до 100 м) части разреза [3], одна из которых может быть юго-западным продолжением Субботско-Мошоринской субширотной ЗР. Южнее (48°00' с.ш.) расположена система проводников субмеридионального простирания, которая пространственно совпадает с участками Емиловской, Первомайской, Звенигородско-Братской, Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской ЗР.

Кировоградский рудный район [7, 9, 10] и ГШЗ [3] по результатам детального трехмерного геоэлектрическими моделирования (рис. 1) характеризуются разветвленной сетью проводников с низким $\rho=50$ Ом·м от 100 м до 2.5 км, которые приурочены к отдельным частям Звенигородско-Братской, Субботско-Мошоринской, Смелянской, Лелековской, Конкской, Емиловской, Тальновской, Первомайской и Кировоградской ЗР. На этих глубинах продолжают наблюдаться и проводники ($\rho=10$ Ом·м) Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской ЗР ИКШЗ.

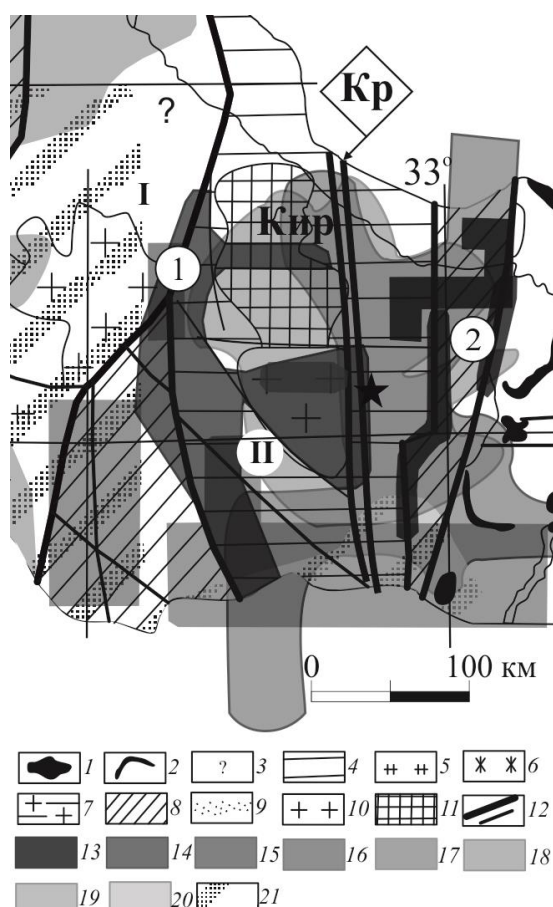


Рис. 1. Современные экспериментальные МТ и МВ исследования, 3D аномалии электропроводности в земной коре и верхней мантии на схеме обобщенного вещественного состава мегаблоков УЩ по [5]. Мегаблоки: I – Бугско-Росинский; II – Ингульский. Шовные зоны (цифры в кружках): 1 – Голованевская; 2 – Ингулеcko-Криворожская. Кр – Кировоградская ЗР. Гранитные и метаморфические комплексы: гранит-зеленокаменные, архейские: 1 – удовлетворительной сохранности; 2 – пре-

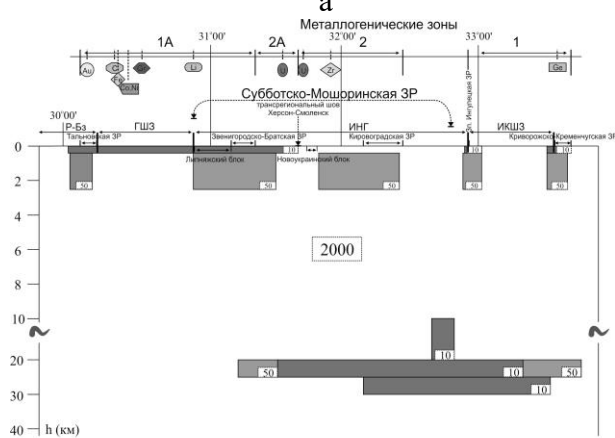
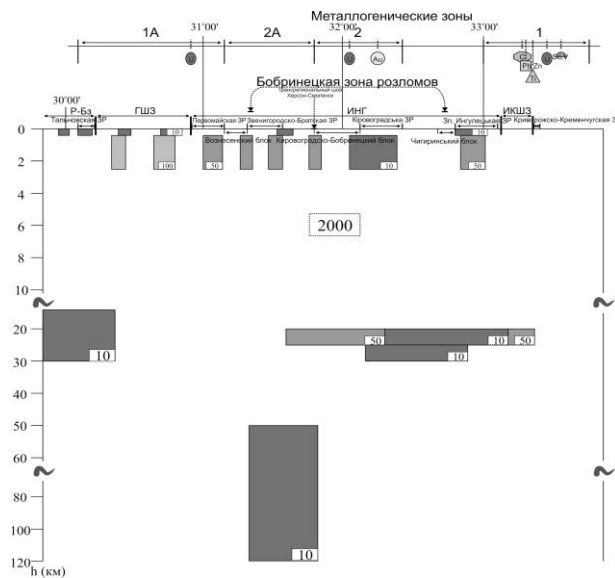
образованные в протерозое, сильно эродированные; 3 – условно гранит-зеленокаменные, интенсивно преобразованные в протерозое; 4 – гранитогнейсовые, протерозойские; детализация вещественного состава геоблоков на более глубинном срезе, относительно отраженном в их названиях: 5 – глубоко: гранулиты, чарнокитоиды; 6, 7 – среднем: 6 – собиты, 7 – Бердичевские граниты; 8 – комплексы шовных зон, нерасчлененные. 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 коры, 15 – 5 км, 16 – 10 км, 17 – 15 км, 18 – 20 км, 19 – 25 км, 20 – 30 км, 21 – 50-70 км

На глубинах 5-10 км и более аномалии электропроводности (даже если они пространственно и совпадают с расположением глубинных ЗР) с увеличением глубины превращаются из субвертикальных в субгоризонтальные электропроводящие структуры (слои). Примечательным исключением на глубине от 5 до 20 км является структура ($\rho=10$ Ом) размерами 5×45 км, расположенная в центральной части Новоукраинского массива (рис. 1), а также 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 и северной части Криворожско-Кременчугской ЗР на территории УЩ на глубинах от 10 до 30 км. Глубинная аномалия (10 км) в виде сложной субширотной зоны в недрах южного склона УЩ выделяется в районе сочленения основных ЗР: Первомайской, Кировоградской, Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской (рис. 1). Отдельной проводящей субмеридиональной структурой является южнее 48°00'с.ш. Тальновская ЗР.

Западная граница Кировоградской аномалии (на глубинах от 20 до 25 км с

$\rho=10-50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) расположена в зоне древнего шва Херсон-Смоленск, а в интервале 25-30 км с $\rho=50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ соответствует Кировоградской глубинной ЗР и представляет собой вытянутую с юга на север-северо-восток структуру с пространственными размерами от 50 до нескольких сотен километров, которая только на юге УЩ меняет свое простирание на субширотное вдоль Конкской ЗР (рис. 1).

Кроме этого, с большой уверенностью можно предполагать существование 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. (рис. 1, 2).



б

Рис. 2. Разрез трехмерной геоэлектрической модели по данным [1, 2] и проекции рудных месторождений вдоль Бобринецкой (а), Субботско-Мошоринской (б) ЗР (цифры в прямоугольниках – удельное электрическое сопротивление в Ом·м). Месторождения или рудопроявления: 1 – титана, 2 – урана, 3 – циркония, 4 – золота, 5 – графита, 6 – железных руд, 7 – никеля и кобальта, 8 – хрома, 9 – лития, 10 – германия, 11 – свинцово-цинковых руд, 12 – селена и ванадия, 13 – вольфрама

Максимальное распространение на север наблюдается вдоль Кировоградской аномалии, в глубинных ЗР – Западно-Ингулецкой и Кировоградской [10]. Также допускается существование нескольких локальных верхнемантийных неоднородностей в Кировоградском рудном районе.

Пространственно абсолютное большинство месторождений рудных полезных ископаемых на территории центральной части УЩ попадает в области аномалий повышенной электропроводности (рис. 2) Это основополагающий факт для выделения площадей, перспективных на выявление полезных ископаемых с помощью методов МТЗ и МВП. Кроме того, региональный прогноз основывается на идее того, что условия и области промышленных концентраций рудных компонентов, а также их минерагеническая специализация определяются не только глубинным геологическим строением, химическим составом и физическим состоянием элементов литосферы, но и динамикой земной коры и верхней мантии [13]. Границы глобальных литосферных плит, блоков земной коры и межблоковые системы часто контролируют промышленные концентрации полезных ископаемых.

Так, узлы пересечения систем разломов различного направления являются главными рудо локализирующими структурами Ингульского мегаблока, в которых происходила активная магматическая и постмагматическая гидротермально-метасоматическая деятельность. С последней связано образование разноформационных рудоносных метасоматитов

[11, 12], в том числе с сульфидной и графитовой минерализацией.

Применение разработанных авторами [2, 13] критериев позволило провести региональный и локальный прогноз по выявлению полезных ископаемых в центральной части УЩ. Исходя из характера локализации месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых, можно выделить ряд металлогенических зон (рис. 1): 1 – охватывает ГШЗ – это зона железорудных месторождений преимущественно карбонатно-железисто-кремнистой метабазитовой формации и месторождений железисто-кремнистой формации. Зона содержит месторождения графита, хрома и никеля, месторождения и рудопроявления урана и золота в щелочных метасоматитах, кобальта, платиноидов; 2 – зона, которая, вероятно, занимает пространство между Первомайский глубинной ЗР на западе и трансрегиональным тектоническим швом Херсон–Смоленск на востоке. Она содержит месторождения урана калиево-урановой формации в окварцованных пегматитовых жилах и проявления литиевых пегматитов; 3 – зона ураноносных альбититов, золоторудных рудопроявлений, связанных с региональным щелочным метасоматозом, которая расположена от шва Херсон–Смоленск на западе до глубокой Кировоградской ЗР. К ней приурочены дайки кимберлитов и неалмазонасных проявлений щелочно-ультраосновного магматизма; 4 – область ИКШЗ. Это зона железорудных месторождений преимущественно железисто-кремнистой формации и карбонатно-железисто-кремнистой метабазитовой формации. Она содержит месторождения графита, ураноносных конгломератов, рудопроявления вольфрама, колчеданные проявления полиметаллов и перспективные концентрации германия.

На основе 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, Си-

ничевско-Савранской зоны и Липовеньковско-Капитанского рудного района [13].

Кировоградская глубинная ЗР перспективна на выявление новых месторождений урана и золота по всей ее длине как рудоподводящий канал осевой части докембрийской рифтогенной структуры, особенно между Бобринецкой и Субботско-Мошоринской ЗР (рис. 2). Природа аномалий повышенной электропроводности Кировоградского рудного района на глубинах до 2.5 км обусловлена наличием ассоциации 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 глубинах 5–30 км и в верхах верхней мантии 50–120 км, скорее всего, отражают следы влияния современных мантийных флюидов (рис. 2).

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

Выводы

На основе результатов экспериментальных исследований методами МТЗ и МВП с привлечением данных геохимии, минералогии было осуществлено региональное и локальное прогнозирование месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых УЩ и выделены металлогенические зоны.

На территории УЩ выявлены многочисленные локальные и региональные аномалии электропроводности по данным 3D моделирования. Низкоомные глубинные аномалии приурочены к зонам метасоматоза вдоль протяженных зон разломов; так или иначе аномалии высокой электропроводности пространственно совпадают с металлогеническими рудны-

ми узлами и геохимическими аномалиями.

Особенно ярко сопряжённость локализации месторождений и рудопроявлений редких, благородных, радиоактивных металлов, фосфора, титана и других полезных ископаемых, а также рудоносных метасоматитов и дифференцированных интрузий с аномалиями повышенной электропроводности проявлена в Субботско-Мошоринской ЗР.

Библиографический список

1. *Бурахович Т. К., Кушнир А. Н., Ширков Б. И.* Глубинное строение Ингульского мегаблока по данным геоэлектрических исследований // Докл. НАНУ. 2015. №3. С. 81–86.
2. *Бурахович Т. К., Николаев И. Ю., Шеремет Е. М., Ширков Б. И.* Использование результатов геоэлектрических исследований для прогнозирования месторождений полезных ископаемых на Украинском щите // Геофизический журнал. 2015. Т. 37, № 6. С. 42–63.
3. *Бурахович Т. К., Ширков Б. И.* Глубинные геоэлектрические исследования Голованевской шовной зоны. // Геоинформатика. 2015. № 1(53). С. 61–69.
4. *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.
5. *Глевасский Е.Б., Каляев Г.И.* Тектоника докембрия Украинского щита // Минералогический журнал. 2000. Т. 22, №2/3. С. 77–91.
6. *Глевасский Е.Б.* Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии докембрия Украинского щита с позиций плито-
тектоники // Минералогический журнал. 2005. Т. 27, №2/3. С. 57–66.
7. *Кировоградский рудный район.* Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых / под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: РПЦ «Галактика», 2013. 500 с.
8. *Летников Ф.А.* Сверхглубинные флюидные системы Земли // Докл. РАН. Т. 390, № 5. 2003. С. 67–75.
9. *Николаев И. Ю., Бурахович Т. К., Шеремет Е. М.* Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита // Геофизический журнал. 2013. Т.35, №4. С. 127–139.
10. *Николаев И.Ю., Шеремет Е.М., Бурахович Т.К., Кривдик С.Г., Калашиник А.А., Николаев Ю.И., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г.* Ингульский мегаблок Украинского щита (глубинная геоэлектрическая модель и полезные ископаемые) / УкрНИМИ. Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение). 2014. 180 с.
11. *Нечаев С.В., Сёмка В.А.* Рудоносные метасоматиты центральной части Украинского щита // Геохимия и рудообразование. 2012. Вып. 31–32. С.12–23.
12. *Сёмка В.О., Иванов Б.Н., Пономаренко О.М.* Петрохимические особенности редкоземельно-уран-ториевых пегматитов центральной части Украинского щита и проблема их генезиса // Минералогический журнал. 2008. Т. 30, № 1. С. 94–103.
13. *Шеремет Е. М., Кривдик С. Г., Бурахович Т. К.* Критерии поисков руды в областях субдукции Украинского щита. «Saarbruken», Germany. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 418 с.
14. *Хаин В. Е., Ломизе М. Г.* Геотектоника с основами геодинамики. 2-е изд., испр. и доп., М., 2005. 560 с.

Anomalies of Electrical Conductivity According to Results of Three-Dimensional Geoelectrical Modeling and Minerals of the Central Part of the Ukrainian Shield

T.K. Burakhovich^a, I.Yu. Nikolaev^b, E.M. Sheremet^b, B.I. Shirkov^{a,c}

^aInstitute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 32, Akad. Palladina Av., Kiev 03680, Ukraine. E-mail: earth@igph.kiev.ua

^bM.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34, Akad. Palladina Av, Kiev-142, 03680, Ukraine. E-mail: office.igmr@gmail.com

^cTaras Shevchenko National University of Kyiv, 90 Vasylykivska Str., Kyiv 03022, Ukraine. E-mail: cgph@univ.kiev.ua

The article presents the results of three-dimensional geoelectric modeling of the central part of the Ukrainian shield according to the magnetotelluric sounding and magnetovariational profiling data. The spatial relationships of the localization of the mineral deposits with the high conductivity anomalies of the region were revealed. It is suggested that the low-resistivity regions formed because of the degassing process particularly occurred in the zones of deep faults.

Keywords: *magnetotelluric sounding (MTS); magnetovariation profiling (MVP); mineral deposit detection forecast.*

References

1. Burakhovich T.K., Kushnir A.N., Shirkov B.I. 2015. Glubinnoe stroenie Ingul'skogo megabloka po dannym geoelektricheskikh issledovaniy. [Deep structure of the Ingul megablock according to the data of geoelectric studies]. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.* 3: 81–86. (in Russian)
2. Burakhovich T.K., Nikolaev I.Yu., Sheremet E.M., Shirkov B. I. 2015. Ispolzovanie rezultatov geoelektricheskikh issledovaniy dlya prognozirovaniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh na Ukrain'skom shchite. [Using the results of the geoelectric studies to predict the mineral deposits in the Ukrainian shield]. *Geofizicheskiy zhurnal.* 6: 42–63. (in Russian)
3. Burakhovich T. K., Shirkov B. I. 2015. Glubinye geoelektricheskie issledovaniya Golovanevskoy shovnoy zony. [Deep geoelectric studies of the Golovanivsk suture zone]. *Geoinformatika.* 1: 61–69. (in Russian)
4. Varentsov I.M., Kulikov V.A., Yakovlev A.G., Yakovlev D.V. 2013. Vozmozhnosti metodov magnitotelluriki v zadachakh rudnoy geofiziki. [Feasibility of the magnetotelluric methods in problems of the ore geophysics]. *Fizika Zemli.* 3: 9–29. (in Russian)
5. Glevasskiy E.B., Kalyaev G.I. 2000. Tektonika dokembriya Ukrain'skogo shchita. [Precambrian tectonics of the Ukrainian shield]. *Mineralogicheskiy zhurnal.* 22(2): 77–91. (in Russian)
6. Glevasskiy E.B. 2005. Reshenie nekotorykh problem petrologii i stratigrafii dokembriya Ukrain'skogo shchita s pozitsiy plitotektoniki. [Solution of some problems of petrology and stratigraphy of the Ukrainian Shield Precambrian based on the Plate Tectonics]. *Mineralogicheskiy zhurnal.* 27(2-3): 57–66. (in Russian)
7. Kirovogradskiy rudnyy rayon. Glubinnoe stroenie. Tektonofizicheskiy analiz. Mestorozhdeniya rudnykh poleznykh iskopaemykh. [Kirovograd ore region. Deep structure. Tectonophysical analysis. The deposits of ore minerals]. V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.). 2013. p. 500. (in Russian)

8. *Letnikov F.A.* 2003 Sverkhglubinnye flyuidnye sistemy Zemli. [Ultradeep fluid system of the Earth]. Dokl. RAN. 5: 67–75. (in Russian)
9. *Nikolaev I. Yu., Burakhovich T. K., Sheremet E. M.* 2013. Obyemnaya geoelektricheskaya model Kirovogradskogo rudnogo rayona tsentralnoy chasti Ukrainskogo shchita. [Bulk geoelectric model of the Kirovograd ore district of the central part of Ukrainian Shield]. Geofizicheskiy zhurnal. 4: 127-139. (in Russian)
10. *Nikolaev I.Yu., Sheremet E.M., Burakhovich T.K., Krivdik S.G., Kalashnik A.A., Nikolaev Yu.I., Setaya L.D., Agarkova N.G.* 2014. Ingul'skiy megablok Ukrainskogo shchita (glubinnaya geoelektricheskaya model i poleznye iskopaemye). [Ingul megablock of the Ukrainian Shield (deep geoelectric model and minerals)]. UkrNIMI, Knowledge Press, Donetsk, p. 180. (in Russian)
11. *Nechaev S.V., Semka V.A.* 2012. Rudonosnye metasomatity tsentralnoy chasti Ukrainskogo shchita. [Ore-bearing metasomatic rocks of the central part of Ukrainian Shield]. Geokhimiya i rudoobrazovanie. 31: 12-23. (in Russian)
12. *Semka V.O., Ivanov B.N., Ponomarenko O.M.* 2008. Petrokhimicheskie osobennosti redkozemelno-uran-torievykh pegmatitov tsentralnoy chasti Ukrainskogo shchita i problema ikh genezisa. [Petrochemical features of rare earth-uranium-thorium-bearing pegmatites of the central part of Ukrainian Shield and the problem of their genesis]. Mineralogicheskiy zhurnal. 1: 94–103. (in Russian)
13. *Sheremet E. M., Krivdik S. G., Burakhovich T. K.* 2013. Kriterii poiskov rudy v oblastyakh subduksii Ukrainskogo shchita. [The criteria for ore prospecting in the subduction areas of the Ukrainian Shield]. Saarbruken, LAP LAMBERT Academic Publishing, p. 418. (in Russian)
14. *Khain V. E., Lomize M. G.* 2005. Geotektonika s osnovami geodinamiki. [Geotectonics with the basics of Geodynamics]. p. 560. (in Russian)