

УДК 551.24+550.931+553.98

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН МЕТАСОМАТОЗА
ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ В
КИРОВОГРАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА**

Николаев И. Ю., Шерemet Е. М.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Калашник А. А.
(КП «Кировгеология», г. Киев)

Наведено результати досліджень геоелектричними методами аудіомагнітотелуричного (АМТЗ) і магнітотелуричного зондування (МТЗ) Кіровоградського рудного району вхрест Кіровоградської глибинної зони розломів. Метасоматити, що вміщують уранове і золоте зруденіння, мають дуже складну конфігурацію. Виявлення зон метасоматозу можливо при наявності уранініту з асоціацією електропровідних мінералів: молибденіту, піриту, піротину, галеніту, магнетиту або золота з сульфідами. Проведені дослідження показали принципову можливість застосування геоелектричних методів для виявлення зон метасоматозу.

The results of Kirovohrad ore area of Kirovohrad deep fault zone surveying with the help of geoelectrical methods of audio-magnetotelluric sounding (AMTS) and magnetotelluric sounding (MTS) are described. Metasomatites enclosing uranium and gold mineralization have very complex configuration. Delineation of the zones of metasomatosiis is possible in the presence of uraninite together with association of current-conducting minerals: molybdenite, pyrite, pyrrhotine, galena, magnetite or gold with sulphides. The studies show possibility in principle of employing geoelectrical methods to delineate zones of metasomatosiis.

Постановка задачі. В Кировоградском рудном районе с областями переслаивания гранитов, мигматитов и гнейсов на контактах гнейсов с гранитоидными массивами, областями сочленения полей гнейсов и мигматитов различного состава пространственно связаны калиевые и натриевые метасоматиты, в которых, в ряде случаев, локализуется урановое и золотое оруденение [1].

Согласно [1], наиболее интенсивное насыщение вмещающих пород гранитоидами и широкое развитие процессов щелочного метасоматоза отмечается в участках флексурных изгибов, на крыльях и переклиналильных замыканиях гранитных массивов. В этих же участках локализуется оруденение.

Наблюдается зависимость характера проявления метасоматических процессов и связанного с метасоматитами уранового оруденения от степени метаморфизма пород, условий структурной локализации метасоматитов, минерального и химического составов вмещающих пород.

В соответствии с тектонической обстановкой находится и форма рудных тел, так как метасоматиты, вмещающие урановое оруденение, имеют очень сложную конфигурацию. Часто это сеть мелких линз и прожилков, расположенных отдельными пятнами, цепочками, кулисообразно по отношению друг к другу. Иногда из мелких жилок и прожилков образуются очень сложные раздувы.

В возрастной последовательности среди метасоматитов выделяются: породы пегматитового облика; пироксен-полевошпатовые жилы, линзы, гнезда; кварцевые жилы, линзы, гнезда; карбонатные прожилки.

Урановое оруденение пространственно приурочено к окварцованным пегматоидам микроклинового состава и пироксен-полевошпатовым породам. В рудных пегматоидах четко проявлены процессы гематитизации, апатитизации и альбитизации.

Пострудные процессы характеризуются развитием хлорита, эпидота и карбоната. Урансодержащие пироксен-полевошпатовые образования отличаются от красноватых пегматоидов более темными тонами: зеленовато-серыми, желтовато-серыми. В них находятся более крупные кристаллы полевого

шпата и пироксена, часто наблюдается наложение более позднего темного кварца, при этом пироксен перераспределяется в линзовидные скопления. Часто в пироксен-полевошпатовой породе отмечаются макроскопически видимые чешуйки молибдена, рассеянного в жильной массе.

Наличие повышенной радиоактивности в основном связано с уранинитом. В ассоциации с ним помимо молибдена прослежены небольшие количества пирита, пирротина, галенита, магнетита, ильменита, рутила, анатаза, монацита, циркона, циртолита, ксенотима, цералита и апатита. В отдельных участках апатит образует тонкие прожилки и содержание его увеличивается до первых процентов жильной массы. Спектральным и радиометрическим анализами установлено, что в уранините содержится значительная примесь редкоземельных элементов и тория.

Для золоторудных месторождений, как и для месторождений урана, характерно проявление метасоматических процессов, развивающихся в зонах разломов. Золоторудные месторождения представлены Клинцовским и Юрьевским рудными полями.

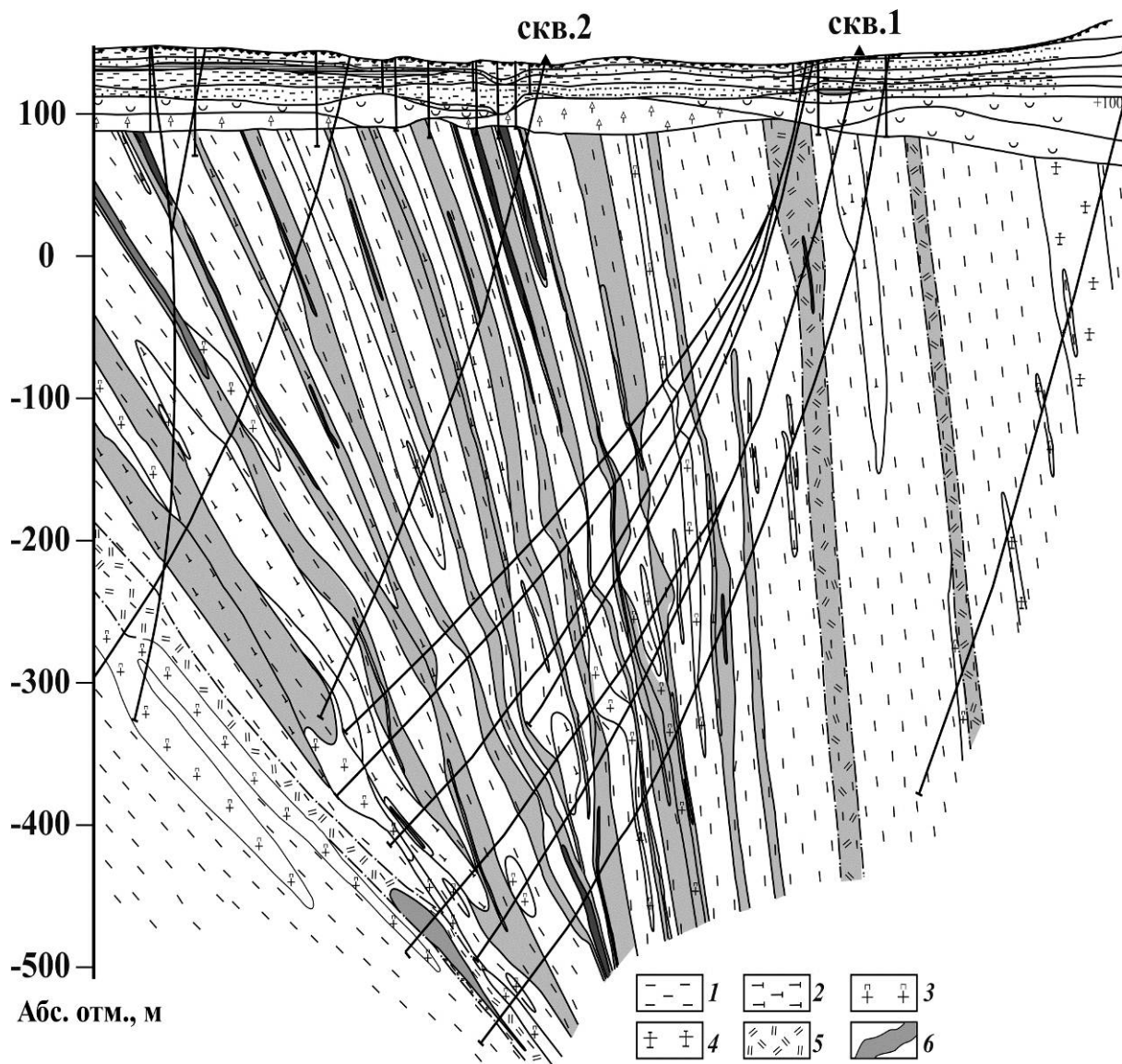
Согласно [2], Клинцовское рудное поле расположено в пределах Клинцовско-Ингульской тектонометасоматической зоны и ограничено Масляниковским и Сасовским субширотными разломами. Клинцовское месторождение расположено в глубоко-метаморфизованных метатерригенных толщах раннего докембрия. Золото локализуется преимущественно в гнейсах чечелевской свиты биотитового, гранат-биотитового, амфибол-биотитового состава, вмещающие согласные жильные тела аплит-пегматоидных гранитов мощностью от 10 см до 30 м. Широкое развитие получили субмеридиональные кварц-олигоклазовые жилы и крупные, согласные с вмещающими гнейсами, тела кремнещелочных метасоматитов. Рудные тела связаны с зонами метасоматических изменений и многофазовой тектонической переработки. Интервалы с богатым содержанием золота обрамляются ореолами сульфидизированных гнейсов мощностью до 20 м. Руды малосульфидные. Сульфиды, содержание которых не больше 4 %, представлены пирротинном, пиритом, арсенопиритом, леллингитом, иногда халькопиритом, сфалеритом, галенитом, висмутином.

В южной части Кировоградской зоны разломов гранито-гнейсовый контакт имеет очень сложное строение и образует заливообразное гнейсовое поле Компанеевской синклинали, отделяющееся от основной Приингульской синклинали Сасовским и Владимировским гранитными массивами. Кировоградская зона разломов здесь расщепляется к югу на собственно Кировоградскую и Софиевско-Компанеевскую зоны разломов юго-западного простирания. Андреевско-Лозоватская зона разломов северо-западного простирания осложняет зону расщепления первых двух разломов как раз в гнейсовом поле Компанеевской синклинали.

Таким образом, на участке этой синклинали образован мощнейший тектонический узел трех разломов, где все породы претерпели обширный метасоматоз нескольких типов и стадий. Это привело к формированию в наиболее сложнопостроенных участках Компанеевской синклинали тектоно-метасоматических зон с наложенной золотой и урановой минерализацией, в целом ряде случаев имеющей промышленную концентрацию (рис. 1).

Здесь поисковыми работами на уран, а позднее на золото, выявлены: Юрьевское месторождение урана, Юрьевское месторождение золота, Западно-Юрьевское рудопроявление золота, Сасовское рудопроявление золота, огромное количество проявлений золотой и урановой минерализации, геохимических контрастных аномалий урана и золота.

Предпосылками для выявления зон метасоматоза является наличие ассоциации электропроводящих минералов – молибденита, пирита, пирротина, галенита, магнетита совместно с уранинитом или с золотом.

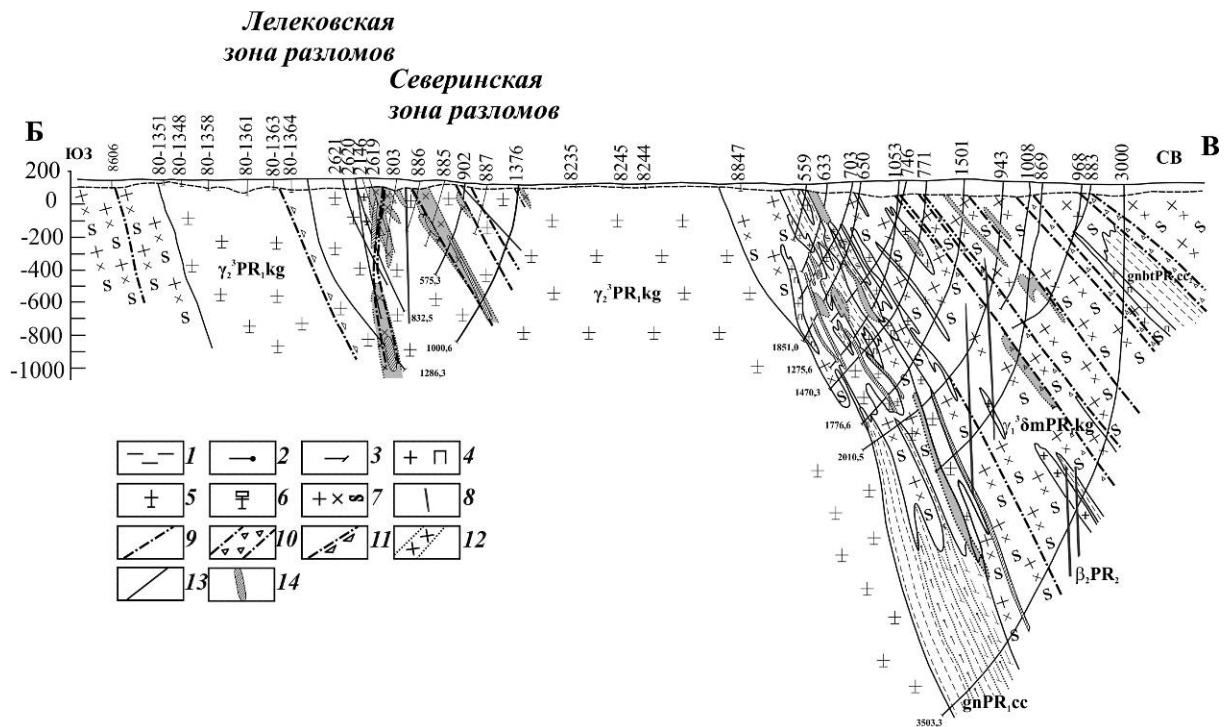


1 – гнейсы биотит-пироксеновые, 2 – гнейсы графит-биотитовые, 3 – граниты пегматоидные, 4 – граниты биотит-мускавитовые, 5 – катаклазиты, 6 – зоны альбитизации

Рис. 1. Геологический разрез по линии I-I Компонеевского рудного поля

Перед проведением геоэлектрических работ был проведен анализ геологической колонки пород с зонами альбитизации по разрезу самой глубокой скважины в пределах профиля буровой детализации по линии Б-В, профиль «Кировоградский» (рис. 2). Результаты этого анализа приведены в виде гистограмм на рисунке 3. Как видно из рисунка 3а, выборка из 293 значений дан-

ных каротажа КС показала разброс значений электросопротивления в диапазоне от 40 до 158 Ом·м.



Ингуло-Ингулецкая серия, чечелевская свита (PR_{1cc}): 1-3 – гнейсы: 1 – биотитовые; 2 – гранат-биотитовые; 3 – кордиерит-биотитовые. Кировоградский комплекс (PR_{1kg}): 4 – граниты пегматоидные ($\rho\gamma_3$); 5 – граниты биотитовые двуслюдяные среднезернистые (γ_2); 6 – граниты биотитовые порфиroidные (γ_1); 7 – мигматиты гранодиоритового состава ($\gamma\delta m$). Интрузивные образования, дайковый комплекс (βPR_3): 8 – диабазы (β). Тектониты: 9 – разломы нерасчленённые; 10 – брекчии; 11 – катаклазиты. Метасоматиты: 12 – альбитизированные породы. 13 – контакты пород; 14 – рудные тела

Рис. 2. Геологический разрез участка буровой детализации по линии геологоразведочных скважин Б-В, профиль «Кировоградский». (Положение профиля на геологической карте см. на рис. 4)

Анализ выборки значений электросопротивления всех пород по разрезу скважины до глубины 3500 м, в которой альбититы составили лишь 0,35 % от их общего объема, показал, что выявить альбититы достаточно трудно, если они не дают значительных скоплений во вмещающих породах (рис. 3 б).

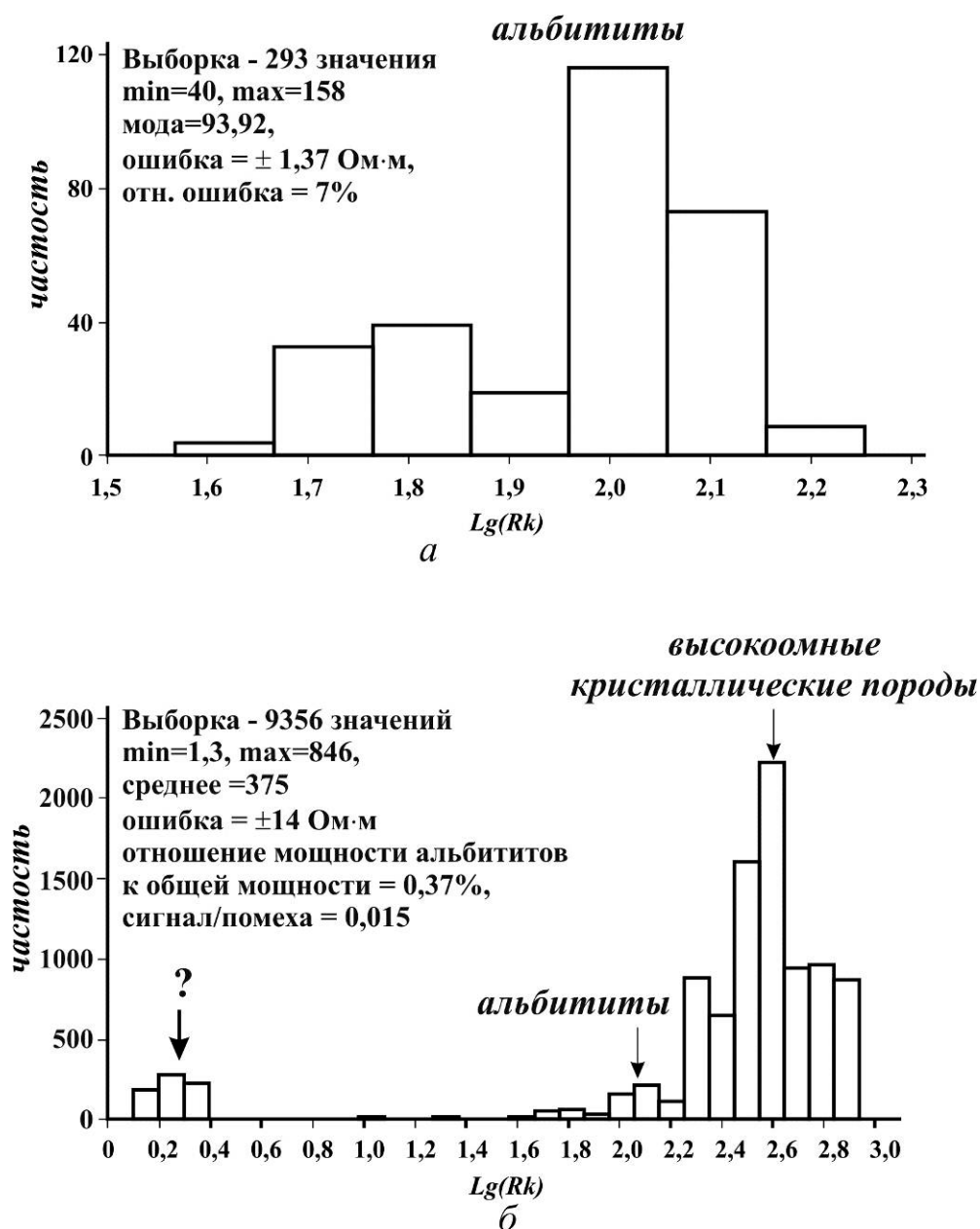


Рис. 3. Гистограммы распределения электросопротивления альбититов (глубина 2775-2785 м) (а) и всех пород разреза (глубина 815-3500 м) (б) по данным каротажа КС глубокой скважины

Местоположение профилей и методика экспериментальных работ. Для проверки применения геоэлектрических методов по выявлению зон натриевого метасоматоза (альбититы) вкост простирания Кировоградского глубинного разлома пройдено три профиля с севера на юг: Кировоградский, Клинцовский и Бобринецкий (рис. 4).



Рис. 4. Схема розміщення профілей АМТЗ і МТЗ на фрагменті геологічної карти центральної частини Українського щита

Профіль «Кировоградський» розположен к северу от г. Кировограда. Количесво фізическіх точескі АМТЗ і МТЗ на профілі – 8, середне расстоєніе между пунктами наблюденіє сосавляєт 4,5 км.

Профіль «Клинцовський» проложено от с. Федоровка до с. Рыбчино. Количесво фізическіх точескі АМТЗ на профілі – 8, МТЗ – 7, середне расстоєніе между точескі сосавляєт сосответсвенно 3,5 км і 4 км.

Профиль «Бобринецкий» проходит от ст. Червоная Долина до с. Зеленівка. Количество физических точек АМТЗ на профиле – 9, МТЗ – 6, среднее расстояние между точками составляет 4 км.

Методика. Полевые геофизические работы проводились методом АМТЗ и МТЗ в профильном варианте (см. рис. 4).

Полевые работы АМТЗ по профилям заключались в наблюдении компонент E_x , E_y , H_x , H_y естественного электромагнитного поля Земли в диапазоне частот 0,012-4000 Гц. При полевых исследованиях использовалась электроразведочная аппаратура АМТФ (ВИРГ-Рудгеофизика, г. Санкт-Петербург, Россия). Датчик канала E_x направлялся на магнитный север, датчик канала E_y – перпендикулярно линии E_x на восток. Так же располагались магнитные датчики. Для понижения уровня помех точки наблюдений располагались вдали от линий электропередач, железной дороги, оживленных автомобильных трасс и населенных пунктов, крупных объектов – источников различного рода помех. В местах пересечения профилями значимых геоэлектрических объектов проводились контрольные замеры. В случае возникновения кратковременных помех (при невозможности переноса точки наблюдения в «спокойную» зону) проводились повторные измерения до достижения приемлемого результата.

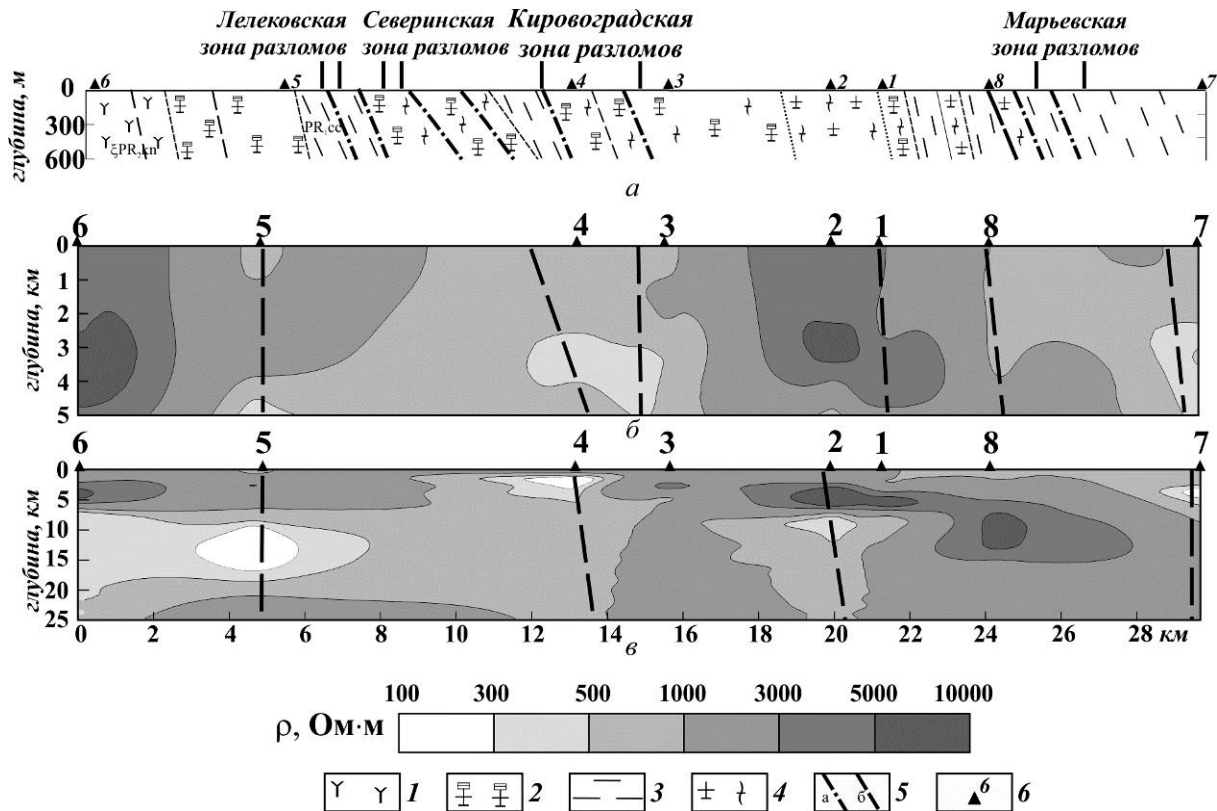
Наблюдения МТЗ выполнены аппаратурой LEMI-410M (ЛЦ ИКИ НАНУ НККАУ, г. Львов, Украина). В точках наблюдений время регистрации вариаций электромагнитного поля в диапазоне частот 0-8 Гц изменялось от 20 до 24 часов в зависимости от погодных условий и интенсивности сигнала. При отсутствии форс-мажорных обстоятельств (внезапное появление машин, обрыв электрических линий установки местными жителями или животными) фиксировался временной файл с достаточно качественным материалом, что позволило в дальнейшем проводить обработку и интерпретацию в диапазоне периодов от 2 до 4096 с.

Результаты геоэлектрических исследований.

Геоэлектрические разрезы по данным АМТЗ.

Профиль «Кировоградский». На геоэлектрическом разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 600 Гц (глубина 5 км) низкоомная область (50 Ом·м до 300 Ом·м) между

т. н. 5 и 4 приурочена к зонам альбититов и распространена до глубины 1,5-2,0 км (рис. 5 б). Разломы выделяются в виде осей синклиналеобразных аномалий.



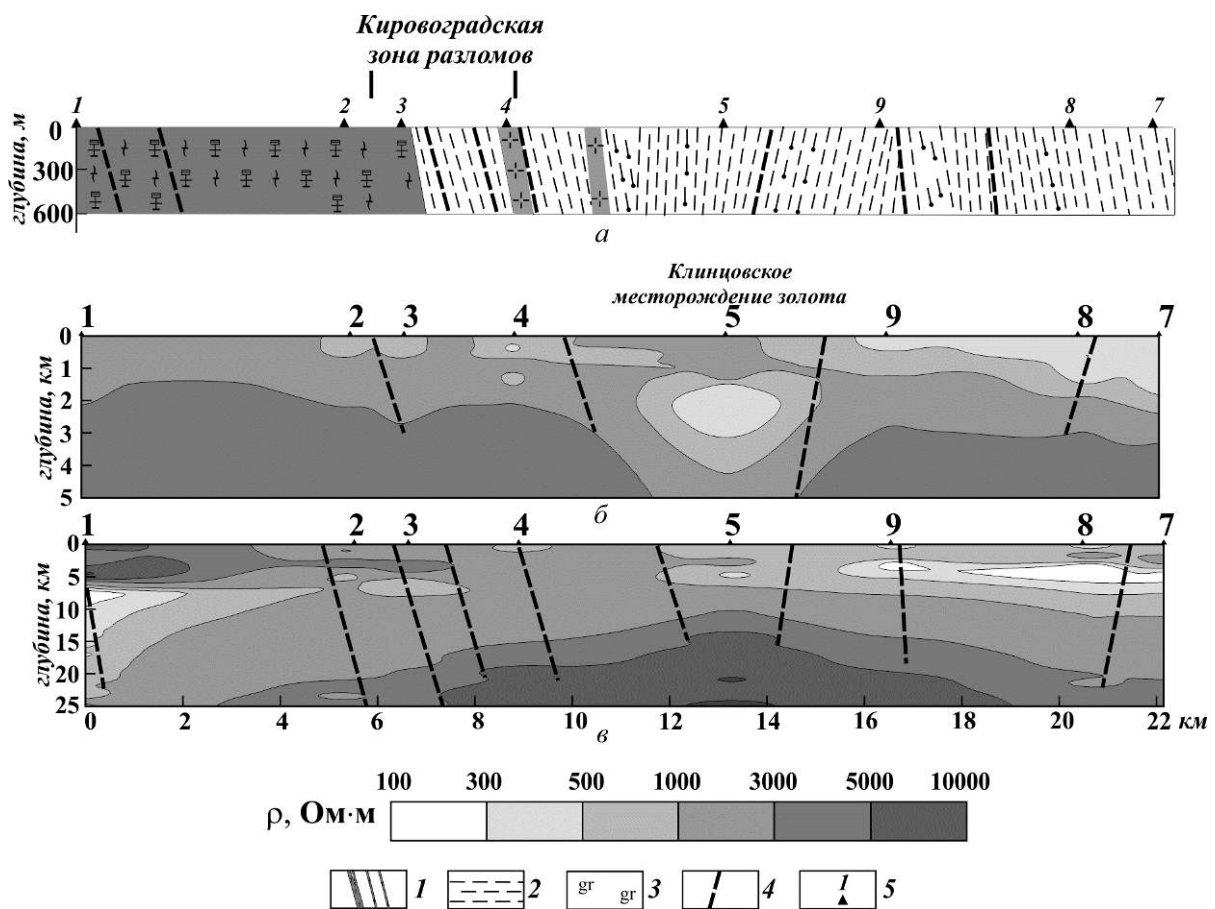
1 – сиениты и кварцевые сиениты корсунь-новомиргородского комплекса ($\xi PR^2 kn$), 2 – граниты трахитоидные гранат-биотитовые новоукраинского комплекса ($\gamma^1 PR^1 nu$), 3 – гнейсы биотитовые, кордиерит-гранат-биотитовые и др. чечелевской свиты ($PR_1 cc$), 4-5 – кировоградский комплекс: 4 – граниты и мигматиты биотитовые нерасчлененные ($\gamma m PR_1 kg$), 5 – тектонические нарушения по геологическим данным (а) и предполагаемые - по геофизическим (б), 6 – пикеты АМТЗ

Рис. 5. Обобщенный геологический (а) и геоэлектрические разрезы значений эффективного удельного электросопротивления по данным АМТЗ в диапазонах частот до 600 (б) и 30 Гц (в) по профилю «Кировоградский»

Низкоомная область (от 50 Ом·м до 300 Ом·м) на геоэлектрическом разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 30 Гц (глубина 25 км) встречена на глубине 10-20 км

(рис. 5 в). Глубинные зоны разломов (Лелековский и Кировоградский) фиксируются как оси синклиналиобразных низкоомных (от 50 Ом·м до 300 Ом·м) аномалий до глубины 25 км.

Профиль «Клинцовский». На геоэлектрическом разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 600 Гц (глубины 0-5 км) (рис. 6 б) наиболее четко проявилась зона интенсивного метасоматоза в районе Клинцовского месторождения золота в виде низкоомной области (от 50 Ом·м до 300 Ом·м) на глубине 0-5 км (т.н. 5, 9 и 7).



1 – граниты и мигматиты кировоградского комплекса, 2 – гнейсы биотитовые чечелеевской свиты, 3 – грейзенизация пород, 4 – тектонические нарушения, 5 – пикеты АМТЗ

Рис. 6. Схематический геологический разрез по линии профиля АМТЗ (а) и геоэлектрические разрезы значений эффективного удельного электросопротивления по данным АМТЗ в диапазонах частот до 600 (б) и 30 Гц (в) по профилю «Клинцовский»

Кировоградская зона разломов проявилась также в виде отдельных разломов (т. н. 2, 3, 4) – осей низкоомных аномалий (от 300 Ом·м до 1000 Ом·м). На геоэлектрическом разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 30 Гц (глубина 25 км) все вышеотмеченные аномалии встречаются на глубинах 15-25 км.

Профиль «Бобринецкий». Профиль с запада на восток пересекает кировоградские ультраметаморфические граниты нижнего протерозоя (т. н. 1-5) и гнейсы протерозойской чечелевской свиты с развитыми в ней зонами метасоматически преобразованных пород (рис. 7 а).

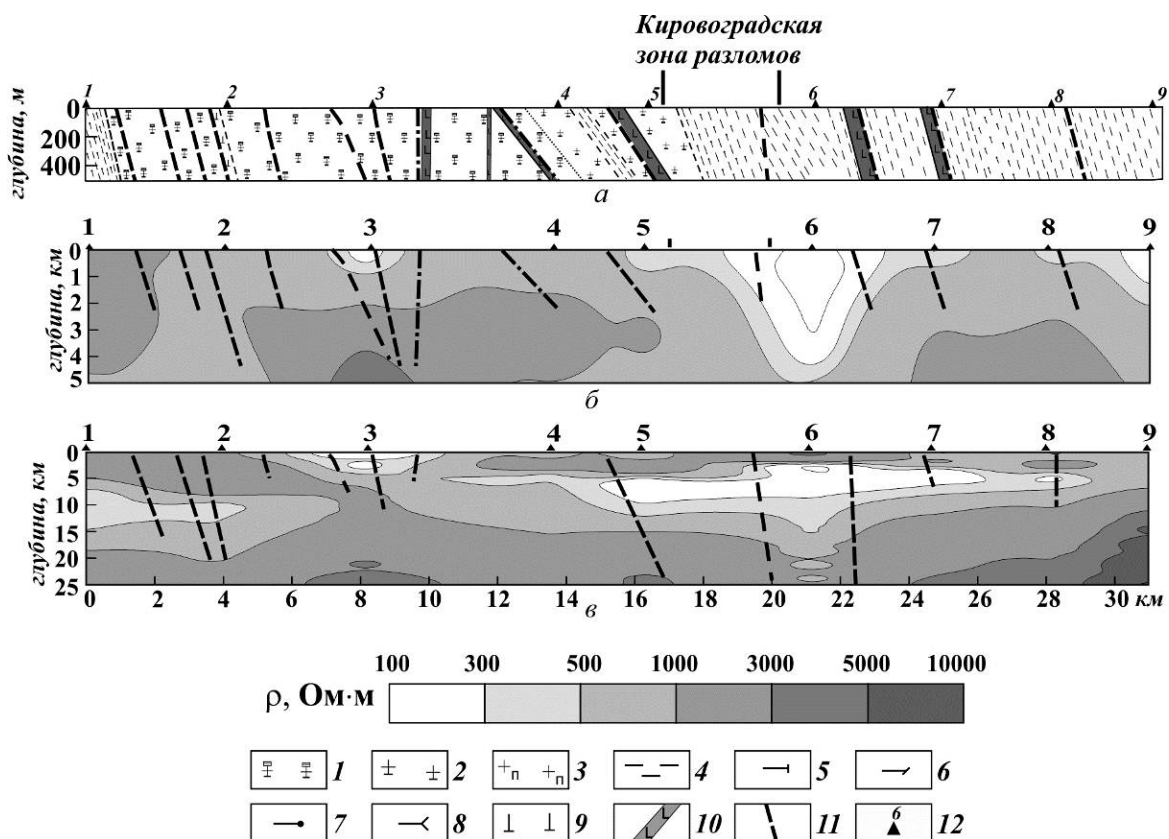
На разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 600 Гц (глубина 5 км) (рис. 7 б) наиболее четко проявилась зона метасоматоза в районе т. н. 5 и 9 в виде низкоомных аномалий (от 50 Ом·м до 300 Ом·м) (т. н. 5 и 6-7).

Аномалия фиксируется на глубине 0-5 км в Кировоградской зоне разломов, при этом выделяются отдельные разломы (т. н. 5, 6, 7, 8) в виде низкоомных аномалий (от до 300 Ом·м до 1000 Ом·м). В т. н. 3, на глубинах 0-4 км, находится еще одна подобная низкоомная аномалия, отражающая разломы, по которым, возможно, внедрились дайки средних по составу пород.

На геоэлектрическом разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 30 Гц (глубина 25 км) низкоомная область от 100 Ом·м до 500 Ом·м на глубине 10-25 км приурочена к Кировоградской зоне разломов (т.н. 5, 6, 7) (рис. 7 в).

Геоэлектрические разрезы по данным МТЗ.

Профиль «Кировоградский». На разрезах значений электросопротивления в диапазоне частот до 8 Гц (глубина 50 км) глубинные разломы Лелелековский, Северинский, Кировоградская зона разломов (т. н. 6, 4, 3, 5) проявились в виде низкоомной (от 50 до 300 Ом·м) глубинной аномалии. В районе Марьевского разлома фиксируется аналогичная по интенсивности аномалия, но до глубины 20 км (рис. 8).



1-3 – кировоградский комплекс: 1 – граниты порфиروبластические биотитовые, 2 – гранодиориты и диориты, 3 – граниты пегматоидные; 4 – 8: гнейсы чечелевской свиты: 4 – биотитовые, 5 – графит-биотитовые, 6 – кордиерит-биотитовые, 7 – гранат-биотитовые, 8 – пироксен-биотитовые; 9 – пикрит-базальновые порфириды; 10 – лейкодиабазы, диабазы; 11 – разрывные нарушения; 12 – пикеты АМТЗ

Рис. 7. Схематический геологический разрез по профилю АМТЗ (а) и геоэлектрические разрезы значений эффективного удельного электросопротивления по данным АМТЗ в диапазонах частот до 600 (б) и 30 Гц (в) по профилю «Бобринецкий»

Профиль «Клинцовский». На разрезе значений электросопротивления (рис. 9) в диапазоне частот до 8 Гц (глубина 50 км) зона глубинного Кировоградского разлома (т.н. 3, 4) проявились в виде смены высокоомной части разреза на низкоомную (менее 300 Ом·м). Область Клинцовского золоторудного месторождения отражается на геоэлектрическом разрезе низкоомной аномалией (менее 50 Ом·м) в верхней его части (т.н. 5).

Профиль «Бобринецкий». На разрезе значений электросопротивления в диапазоне частот до 8 Гц резко выделяется низкоомная (до 300 Ом·м) аномалия (т.н. 5), отвечающая Кировоградской зоне разломов (рис. 10).

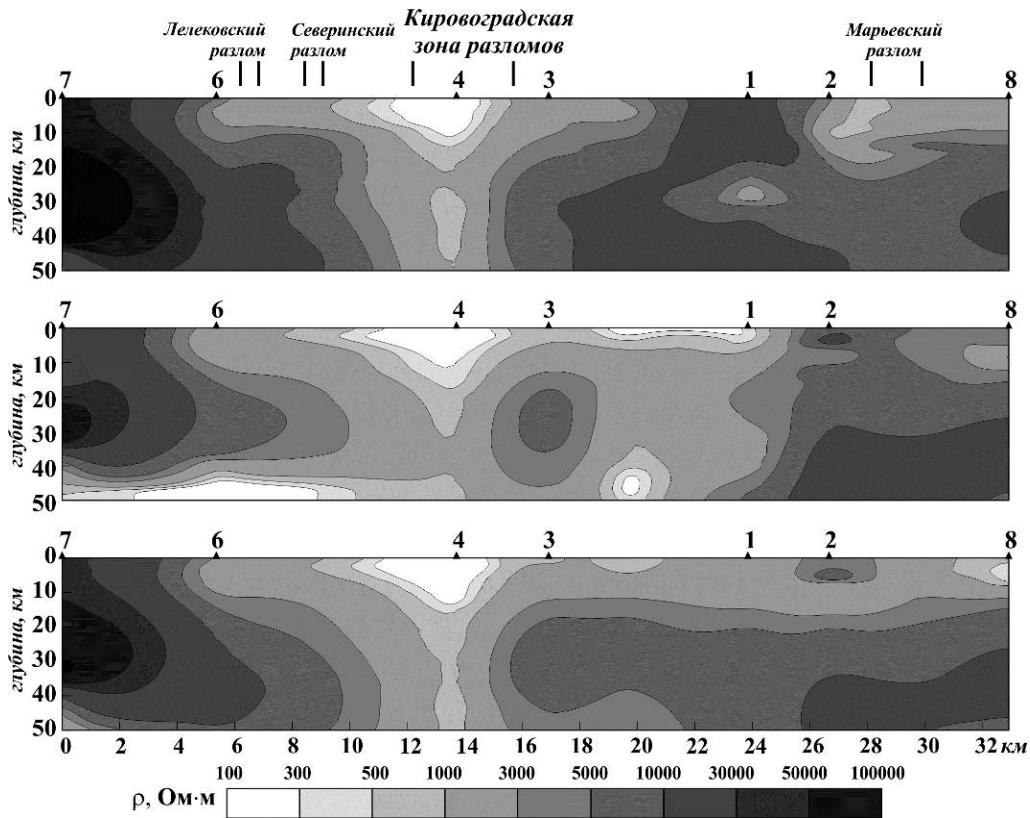


Рис. 8. Геоэлектрические разрезы значений ρ_{xy} (а), ρ_{yx} (б) и $\rho_{эфф}$ (в) МТЗ по профилю «Кировоградский»

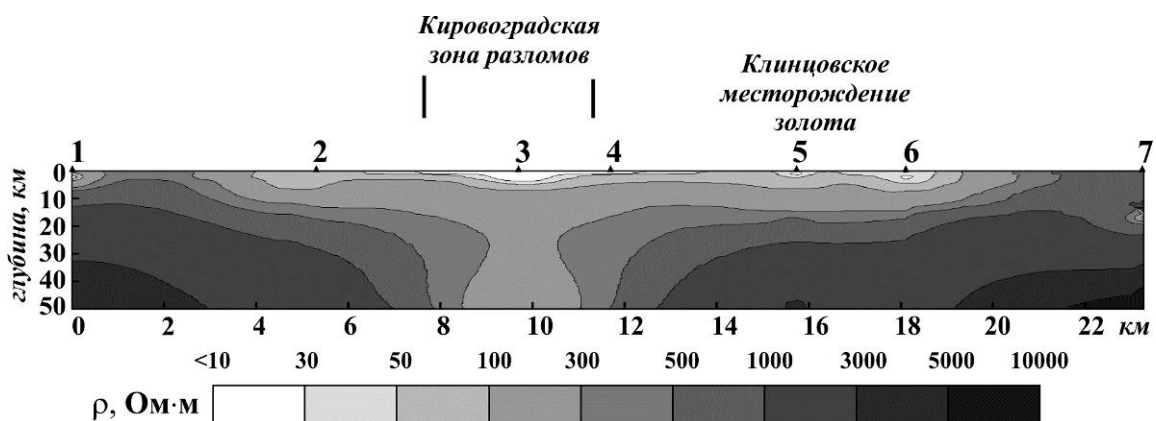


Рис. 9. Геоэлектрический разрезы значений эффективного электросопротивления по данным МТЗ по профилю «Клинцовский»

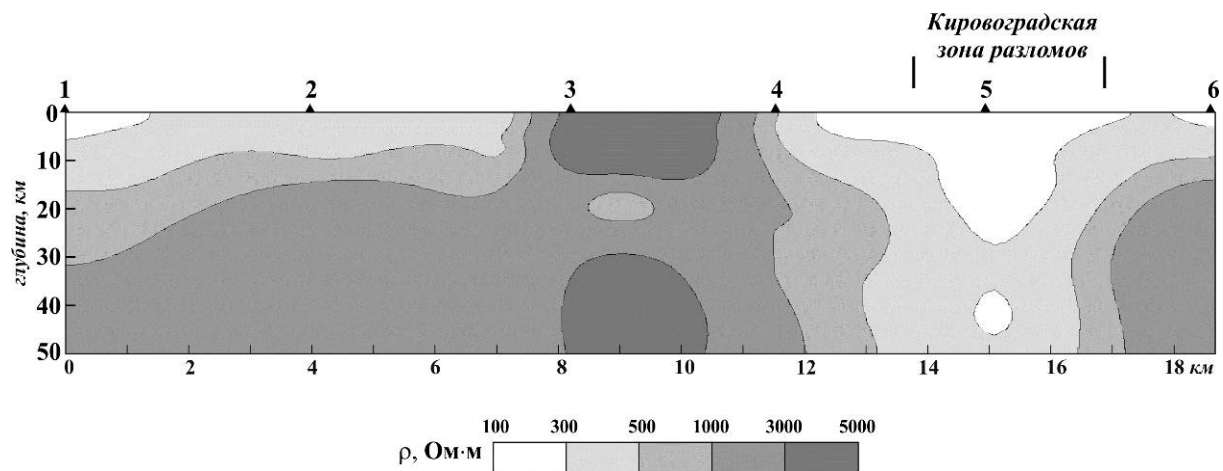


Рис. 10. Геоэлектрический разрез значений эффективного электросопротивления по данным МТЗ по профилю «Бобринецкий»

Выводы. Таким образом, результаты геоэлектрических исследований методом АМТЗ свидетельствуют о возможности его применения для выявления зон метасоматитов с урановой минерализацией до глубин 1-5 км и метасоматитов с золоторудной минерализацией до глубины 3-3,5 км.

Метод МТЗ эффективен для выявления зон разломов до глубины 5-15 км и глубинных зон разломов до 50 км (Кировоградская зона разломов), контролирующих размещение метасоматитов с золоторудными месторождениями (Клинцовское, Юрьевское). Зоны разломов, в свою очередь, перспективны на обнаружение в пределах ареала их развития метасоматитов с урановым и золоторудным оруденением.

Месторождения урана альбититовой формации тяготеют к аномалиям повышенной электропроводности на глубинах 0,1-2,5 км, природа которых, скорее всего, обусловлена электропроводящими минералами – пирита, пирротина, галенита, магнетита, ильменита в зонах метасоматической проработки пород. На глубинах от 2,5-20 км до 25-30 км локализация месторождений урана альбититовой формации, золоторудных месторождений и кимберлитовых даек контролируются Кировоградской разломной зоной. Формирование урановой и золоторудной минерализации обусловлено метасоматической проработкой пород, ве-

роятнее всего, за счет мантийных флюидов, несущих тепло и рудные компоненты.

Аномалии повышенной электропроводности на рассмотренных глубинах отражают следы воздействия колонны мантийных флюидов на верхние этажи земной коры, которые, вероятнее всего, проявили себя после становления Корсунь-Новомиргородского плутона.

В пользу этого предположения говорит приуроченность даек кимберлитов, продуктов мантийного магматизма, к тем же зонам, что и проявления урана альбититовой формации и локализации месторождений золота.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Коваль В. Б. Геохимическая модель накопления урана в щелочно-карбонатных метасоматитах докембрия / В. Б. Коваль. – К.: Наук. думка, 1980. – 148 с.
2. Геоэлектрические модели золоторудных месторождений Украинского щита и Донбасса / [В. В. Белявский, А. Б. Бобров, С. В. Гошовский и др.]. – К.: Логос, 2004. – 247 с.
3. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита / [Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет, Е. Б. Глевасский и др.]. – К.: Наук. думка, 2005. – 190 с.
4. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / [Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет, Е. Б. Глевасский и др.]. – К.: Наук. думка, 2006. – 196 с.