

УДК 550.83:553.3/9+551.2

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН МЕТАСОМАТИТОВ В ВОСТОЧНОМ ПРИАЗОВЬЕ

Шеремет Е. М., Николаев И. Ю., Агаркова Н. Г.,
Сетая Л. Д., Николаев Ю. И., Лунев Е. В.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

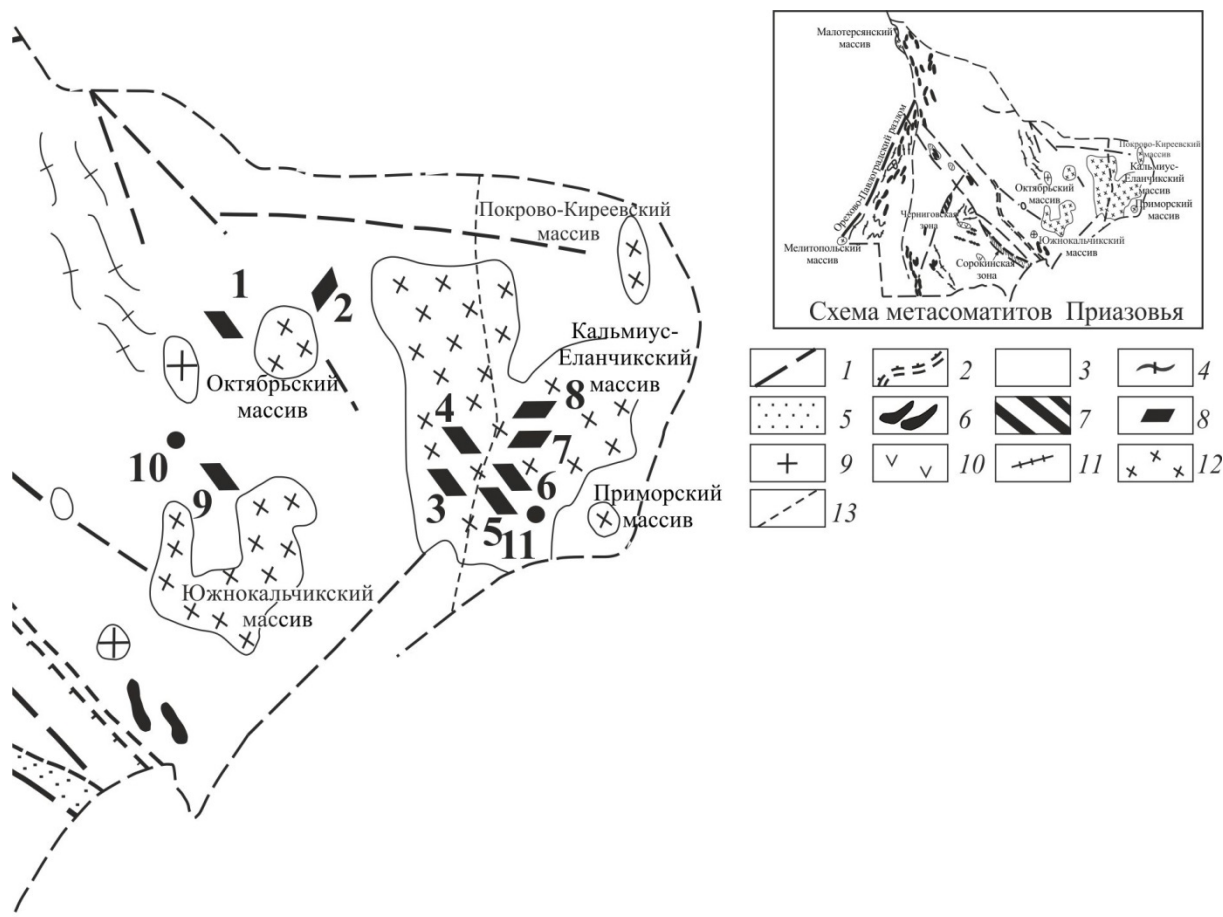
Розглянуто нові дані геоелектричних досліджень метасоматитів Східного Приазов'я, які відомі як перспективні джерела рідкісноземельних елементів. Зроблено висновок про можливість застосування методу аудіомагнітотелуричного зондування для виявлення рудопроявів рідкісноземельних елементів, пов'язаних з метасоматитами.

New data of geoelectrical surveys for metasomatites of the East Azov region, which are known as promising sources of rare-earth elements, is considered. We make conclusion of the possibility of employing audiomagnetotelluric sounding technique to detect mineralizations of rare-earth elements related to metasomatites.

Условия залегания метасоматитов

Щелочные метасоматиты распространены как вблизи Октябрьского массива (Дмитриевка, Хлебодаровка, б. Вали-Тарама), так и на значительном расстоянии от него, преимущественно в обнажениях по р. Кальмиус (рис. 1).

Скорее всего, щелочные метасоматиты распространены значительно шире, чем это показано на схеме. Они описаны только в естественных обнажениях коренных пород по бортам балок и р. Кальмиус, а также вскрыты двумя действующими карьерами (Дмитриевский и Хлебодаровский).



1 – тектонические нарушения; 2 – граница Восточно-Приазовского батолита по П. С. Кармазину; 3 – граниты и мигматиты архея и протерозоя; 4 – главные области линейной складчатости гранулитовых комплексов; 5 – формации наложенных проторифтогенных структур; 6 – железисто-кремнистые формации; 6 – интрузивно-магматические формации платформенного этапа; 7 – щелочно-ультраосновные породы и карбонатиты Черниговского массива; 8 – щелочные метасоматиты; 9 – граниты каменноугольного типа; 10 – дайки и небольшие тела основных пород; 11 – дайки метаякопирангитов; 12 – массивы щелочно-ультраосновных формаций; 13 – русло р. Кальмиус.

Цифры на схеме – рис.1-б (проявления щелочных метасоматитов): 1 - Хлебодаровський масив; 2 - Дмитрієвський кар'єр; 3 - б. Монашеска (с. Орловское); 4 - б. Вербовая; 5 - Петрово-Гнутовское рудопроявление; 6 - б. Калмыцкая; 7 - с. Капланы; 8 - с. Николаевка; 9 - б. Туникова; 10 - б. Вали-Тарама; 11 - с. Набережное

Рис. 1. Схема расположения щелочных метасоматитов Восточного Приазовья [1]

Можно предположить, что не вскрытые эрозией метасоматиты находятся и на водоразделах, где коренные породы перекрыты корами выветривания и задернованы. При этом метасома-

титы достаточно большой мощности наиболее распространены на отдаленных от Октябрьского массива участках. Исключением может быть лишь карьер в с. Дмитриевка, где мощность метасоматитов достигает нескольких метров. Однако эти метасоматиты несколько отличаются от подобных пород в других пунктах Восточного Приазовья - они сильно обогащены Zr, Nb, а на некоторых участках и Mo [2, 3]. Чаще всего щелочные метасоматиты залегают среди разнообразных гранитоидов в зонах трещиноватости (за что были названы трещиноватыми метасоматитами [4]). Обычно это маломощные прожилковые зоны, мощность которых достигает первых или нескольких метров. Простираение прожилков, чаще всего северо-западное или северо-восточное, падение – преимущественно крутое, до вертикального. Вмещающие породы – биотитовые, биотит-амфиболовые граниты, пегматиты (Дмитриевка, Кальмиус), эндербиты (Хлебодаровка), гранито-гнейсы (б. Вали-Тарама).

Геохимия и рудоносность (описание рудопроявлений)

Наряду с необычными, почти уникальными, текстурно-структурными особенностями, изученные образования содержат широкий спектр редкометальных минералов, среди которых преобладают редкоземельные минералы цериевой группы. Редкометальными минералами метасоматитов являются: бастнезит, паризит, бритоцит, циркон, монацит, пирохлор, нередко апатит, а также ильменит (в том числе, с высоким содержанием Zn). Довольно часто, однако не повсеместно, наблюдается флюорит (метасоматиты по р. Кальмиус – Петрово-Гнутово, Капланы, фениты Дмитриевки).

По данным спектрального и химического анализов в фенитах отмечается повышенное содержание Ce, Zr, Nb, P. Однако, содержание этих элементов на разных участках, где встречаются выходы щелочных метасоматитов, заметно различается. Так, например, повышенное содержание Nb зафиксировано в фенитах и альбититах Хлебодаровки, Дмитриевки, б. Туникова и б. Вербовая, а Zr - только в альбититах (Дмитриевка, б. Туникова). Редкие земли Ce-группы характерны почти для всех метасоматитов, однако в альбититах их несколько меньше, хотя их минералы

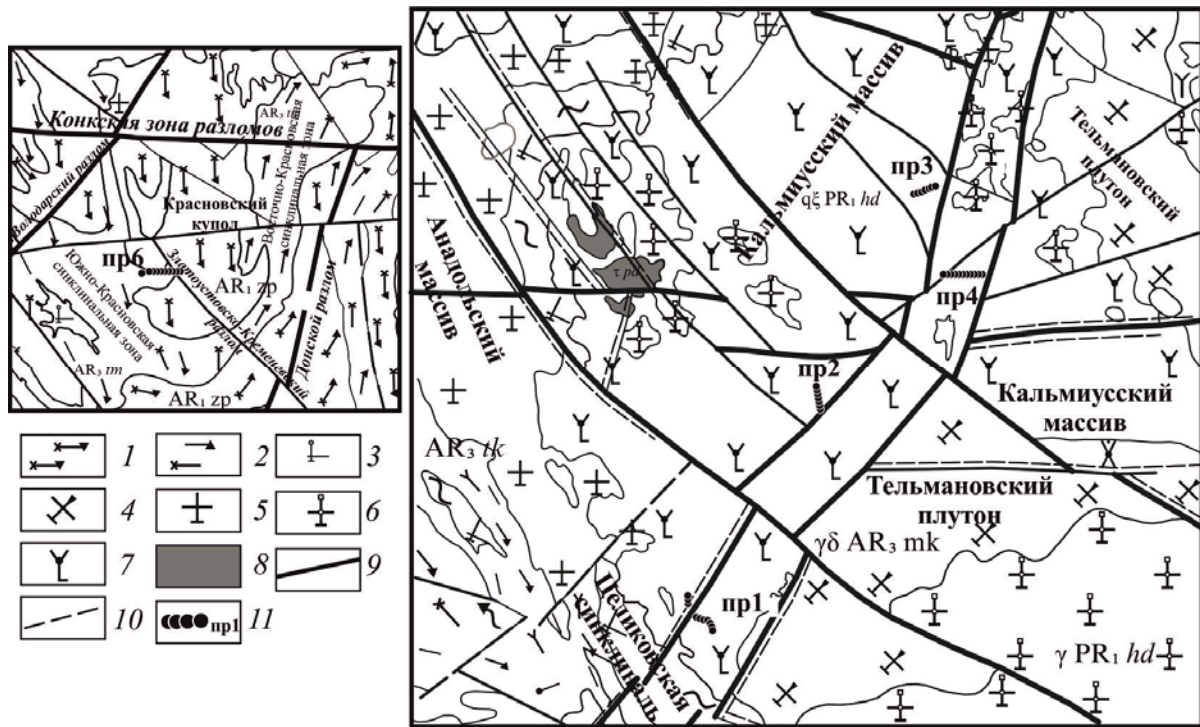
есть в этих породах (бастнезит - в альбититах Дмитровка). Известно, что содержание РЗЭ в Петрово-Гнутовском рудопроявлении такое же высокое, как и в апокварцитовых фенитах б. Туникова и апогранитоидных фенитах района с. Набережное и Капланы. Вместе с тем, в образцах фенитов Петрово-Гнутовского месторождения (рудопроявления) содержание Се незначительно, что, очевидно, свидетельствует о неоднородном распределении TR_{Ce} (а также других редких элементов) в трещинных зонах фенитизации.

Это может означать, что наличие фенитов, даже с невысоким содержанием указанных редких элементов, может быть критерием выявления их месторождений в той же зоне (необнаженной или закрытой делювиальными отложениями). Высокое содержание Се приурочено в основном к флюорит-карбонатным жилам, пространственно связанных с фенитами (Петрово-Гнутово, Капланы), однако в апогранитоидных фенитах проявления Набережное и апокварцовых фенитах б. Туникова содержание РЗЭ превышает 1 %.

По результатам геохимических исследований и микрозондового анализа, щелочные метасоматиты указанных участков, независимо от их происхождения, содержат значительное количество элементов, которые представляют практический интерес. Отмечается повышенное содержание Се, Zr, Nb, P, Ti и др. Химический анализ показал, что содержание TR_2O_3 в метасоматитах достигает 1,5 %. Как было отмечено, в щелочных метасоматитах есть минералы, которые свидетельствуют о перспективной рудоносности этих пород на TR, Се, Zr, Nb. Состав РЗЭ существенно цериевый, однако апатит из фенитов участка Капланы имеет относительно высокое содержание иттриевых земель. Содержание иттрия в апатите составляет 0,3 %, это значительно больше, чем в паразите Петрово-Гнутовского месторождения.

Геоэлектрические исследования зон проявления метасоматитов

Размещение профилей на геологической карте показано на рисунке 2.



1 - нерасчлененные образования западноприазовской серии (AR_1zp) - плагиогнейсы, кристаллосланцы и амфиболиты, 2 - центральноприазовская серия, темрюкский света (AR_3tm) - плагиогнейсы и гнейсы, амфиболиты, кристаллические сланцы, диопсидиты, кальцифиры, мрамор; кварциты железистые; 3 - плагиомигматиты токмакского комплекса (AR_3tk) 4 - гранодиориты ассоциации максимовских гранодиритив (AR_3mk) 5 - граниты анадольского комплекса (PR_1an) 6-7 - хлебодаровский комплекс (PR_1hd): 6 - граниты порфириподобные, 7 - кварцевые сиениты порфириподобные, 8 - трахиты, трахит-порфиры, лавобрекчии южнодонбасского комплекса, 9 - разрывные нарушения, 10 - милонитизация, 11 - профили и точки АМТЗ

Рис. 2. Участки проведения геофизических исследований методом АМТЗ на фрагментах геологической карты домезозойских образований

Ниже дается описание профилей.

Профиль 1 расположен в балке Чернечья (правый берег р. Кальмиус), в 2,5 км на юг от с. Орловское. Длина профиля составляет 831 м, количество физических точек наблюдений АМТЗ (т. н.) – 10. Шаг наблюдений 50 м, с 300-метровым перерывом из-за ЛЭП.

Профиль 2 расположен на правом берегу балки Вербовая (правый берег р. Кальмиус), в 1,5 км на ЮЮЗ от села Чермалык

(Заможное). Длина профиля 344 м, количество физических точек наблюдений АМТЗ – 7. Средний шаг наблюдений – 55 м.

Профиль 3 расположен на правом берегу балки Калмыцкая (правый берег р. Кальмиус), в 2,3 км на СВ от села Чермалык (Заможное). Длина профиля 437 м, количество физических точек наблюдений АМТЗ – 7. Средний шаг наблюдений 70 м.

Профиль 4 расположен на левом берегу р. Кальмиус, в 0,8 км на СЗ от с. Набережное. Длина профиля составляет 700 м, количество физических точек наблюдений АМТЗ – 14. Средний шаг наблюдений 53 м.

Профиль 6 расположен на южном борту балки Туникова, в 1 км южнее с. Красновка. Длина профиля 620 м, количество физических точек наблюдений АМТЗ – 10. Средний шаг наблюдений 62 м, со стометровым перерывом из-за локальных помех.

Общее количество наблюдений АМТЗ – 192 (четыре наблюдения по разным диапазонам на физическую точку), дополнительно – не менее 5 % контрольных наблюдений.

Результаты геоэлектрических исследований

По данным замеров электросопротивления построены геоэлектрические разрезы по каждому из профилей.

Балка Чернечь, профиль 1.

На рисунке 3 представлен геоэлектрический разрез по профилю 1, построенный по данным измерений до глубины 0,1-1,0 км (диапазон до 600 Гц).

Как видно из рисунка 3 низкоомные геоэлектрические аномалии интенсивностью 0-100 Ом·м и 100-300 Ом·м находится между т. н. 9 и 2, расстояние между которыми составляет 600 м. Низкоомные аномалии интенсивностью 0-100 Ом·м зафиксированы на глубинах 0-0,3 км (т. н. 7 и 4), на глубине 0,4-0,7 км (т. н. 7 и 5) и на глубине 0,7-0,9 км (т. н. 8 и т.н.4 и 2). В целом, зона метасоматической проработки проявляется, как низкоомная аномалия, ограниченная с двух сторон высокоомными участками.

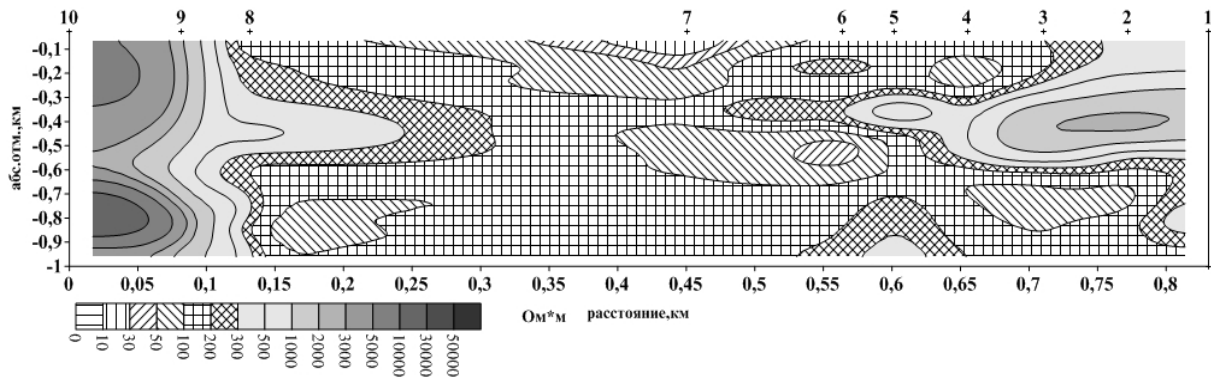
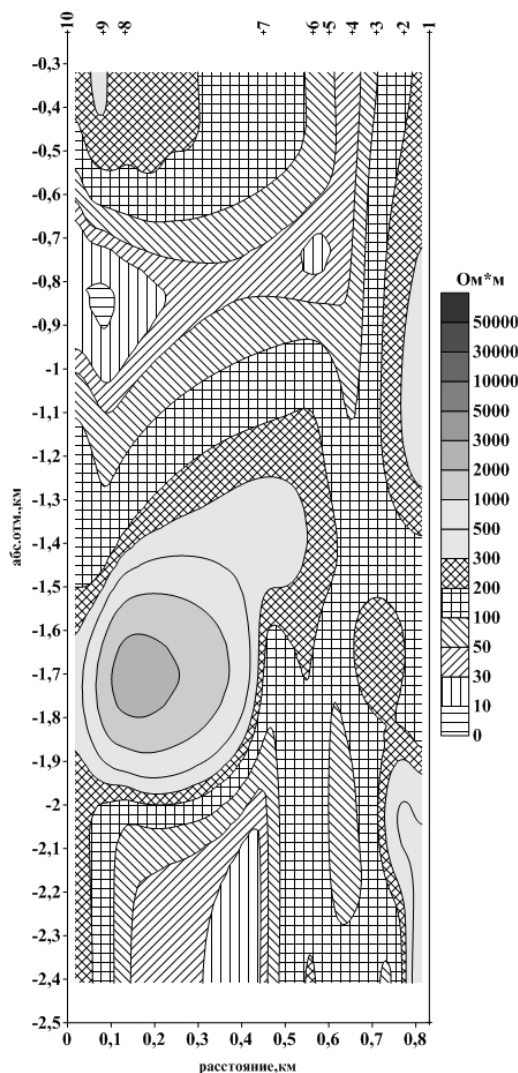


Рис. 3. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 1 (диапазон до 600 Гц, глубины 0,1-1,0 км)

Внутри рассматриваемой низкоомной аномалии находятся еще более низкоомные участки, которые могут отражать более интенсивную степень метасоматической переработки пород.



В связи с тем, что вертикальный масштаб значительно больше горизонтального, есть смысл представить нижеследующий геоэлектрический разрез до глубины 2,5 км в масштабе, близком к реальному соотношению (рис. 4).

Как видно из рисунка 4 рассмотренная низкоомная аномалия больше похожа на слоеный пирог из низкоомных и высокоомных аномалий, что в определенной степени отражает интенсивность преобразования пород метасоматизирующими растворами.

Рис. 4. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 1 до глубины 2,5 км (диапазон до 30 Гц) в масштабе 3:1

К участкам интенсивной переработки пород следует относить низкоомные аномалии, а к участкам значительно слабее переработанных пород относятся высокоомные аномалии различных величин сопротивлений.

Балка Вербовая, профиль 2.

Геоэлектрический разрез (ρ_{xy}) по профилю 2 в диапазоне до 4 000 Гц (глубины 0-500 м) показывает чередование высоких и низких значений электросопротивления по всей глубине – до 500 м (рис. 5). Представляют интерес аномалии в т. н. 2, 4 и 6 интенсивностью от 0 до 100 Ом·м.

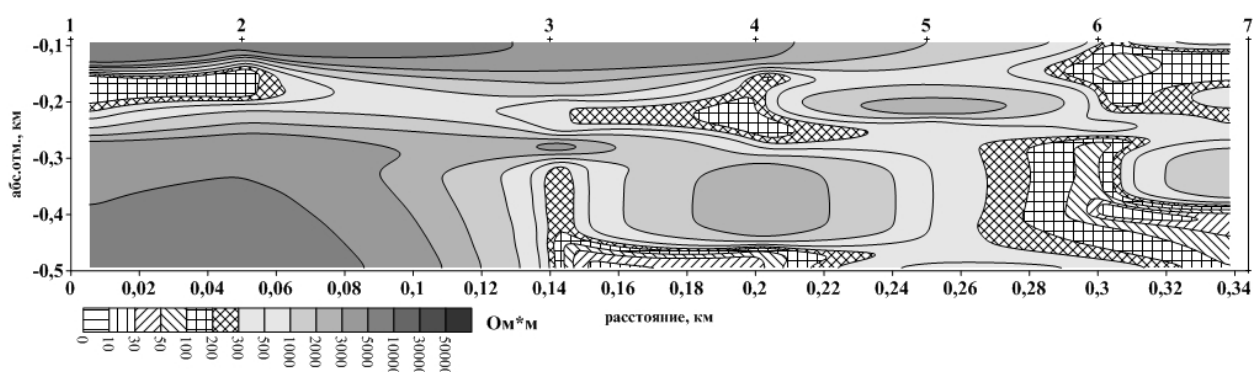


Рис. 5. Геоэлектрический разрез ρ_{xy} , по профилю 2 до глубины 0,5 км (диапазон до 4 000 Гц)

На рис. 6 показаны результаты геоэлектрических исследований в диапазоне частот до 30 Гц (глубина 1-5 км).

Как видно из рисунка 6, сигнал воспринят станцией АМТЗ лишь с глубины 1 км. На геоэлектрическом разрезе, построенном по эффективным значениям электросопротивления низкоомная аномалия та, которая проявлена на разрезе до глубины 0,5 км, между т. н. 3 и 6, прослеживается от глубины 1 км до глубины 2,5 км. Но появляется еще и вторая аномалия – (между т. н. 1 и 3) на глубине от 3,5 до 4,75 км.

Балка Калмыцкая, профиль 3.

На рисунке 7 приведен геоэлектрический разрез ρ_{xy} в диапазоне частот до 600 Гц (глубина 0-1 км) в соотношении вертикального и горизонтального масштабов 6:1.

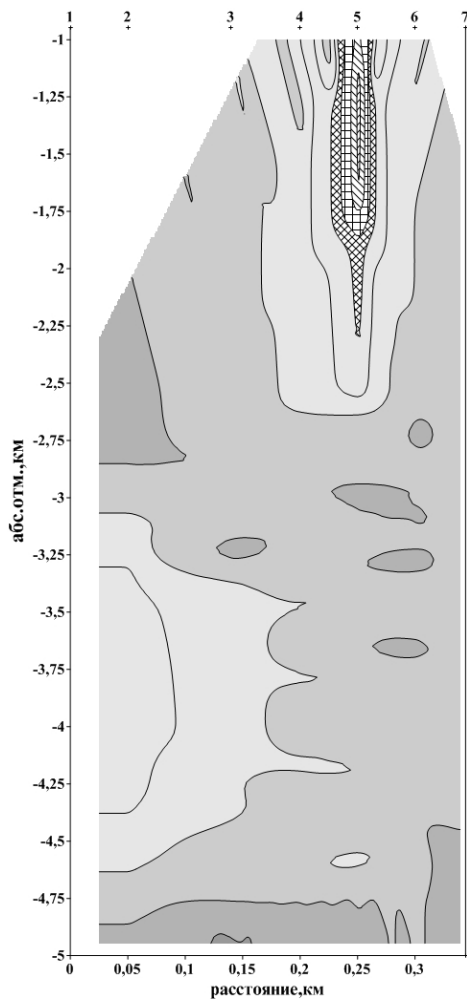


Рис. 6. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 2 (диапазон до 30 Гц), соотношение вертикального и горизонтального масштабов $\sim 17:1$

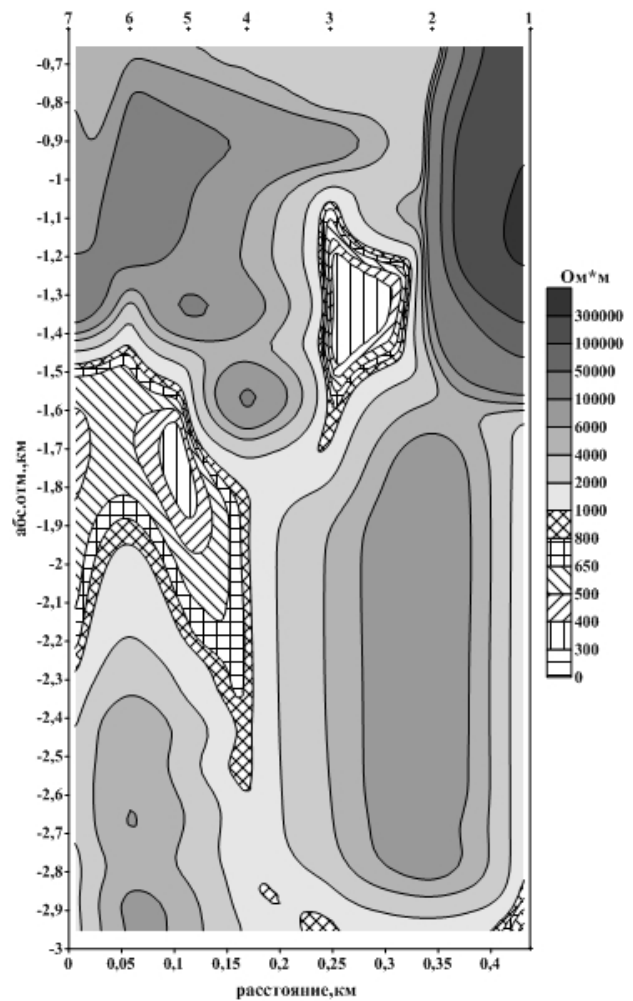


Рис. 7. Геоэлектрический разрез ρ_{xy} по профилю 3 (диапазон до 600 Гц, глубина 0-1 км), соотношение вертикального и горизонтального масштабов – 6:1

Низкоомные аномалии зафиксированы на глубине от 1,2 до 2,5 км между т.н. 3-2 и на глубине от 1,5 до 2,5 км между т.н. 6-4.

В реальном масштабе очевидна связь низкоомных аномалий с глубинной вертикальной низкоомной аномалией на всю глубину разреза. На разрезе частоты 30 Гц (1-5 км) эти аномалии не фиксируют, что свидетельствует об их распространении только на рассмотренных выше глубинах.

Село Набережное, профиль 4.

На рисунке 8 приведен геоэлектрический разрез по профилю 4 по данным измерений в диапазоне частот до 4 000 Гц (глубина 0-0,5 км). На разрезе выделяются две низкоомные аномалии: первая, двухуровневая – между т. н. 1 и 14 на глубинах 0-0,15 км и 0,1-0,2 км интенсивностью от 0 до 500 Ом·м и вторая – между т. н. 3 и 5 на глубине 0,1-0,2 км той же интенсивности, что и первая. Но низкоомный канал (интенсивность 1000-2500 Ом·м) между т. н. 7 и 10 прослеживается на всю глубину разреза.

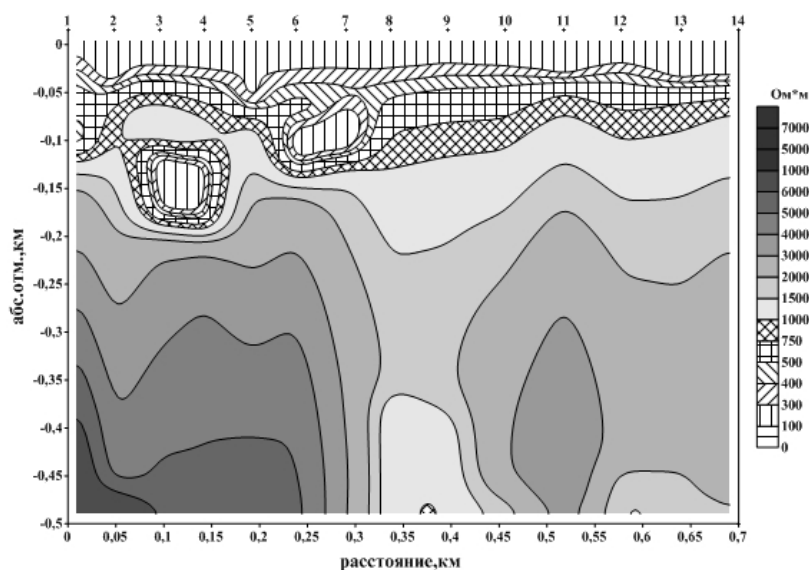


Рис. 8. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 4 (диапазон до 4000 Гц, глубина 0-0,5 км)

Диапазон частот до 30 Гц (глубина 0,4-10,0 км).

На рисунке 9 представлен геоэлектрический разрез ρ_{eff} , на котором соотношение вертикального и горизонтального масштабов принято как 15:1. Из анализа рассматриваемого рисунка вытекает, что область распространения низкоомных аномалий ограничивается глубиной 3,5-4,5 км.

Балка Туникова, профиль 6.

На рисунке 10 показан разрез ρ_{eff} , построенный по результатам измерений в диапазоне частот (до 4 000 Гц), до глубины 1,5 км.

На разрезе видно, что, начиная с глубины 0,3-0,5 км, зона низкоомных аномалий интенсивностью 0-500 и 500-1000 Ом·м

заканчивается, и в высокоомной среде интенсивностью 1500 и 4000 Ом·м появляются относительно низкоомные узкие вертикальные аномалии интенсивностью 750 и 1000 Ом·м.

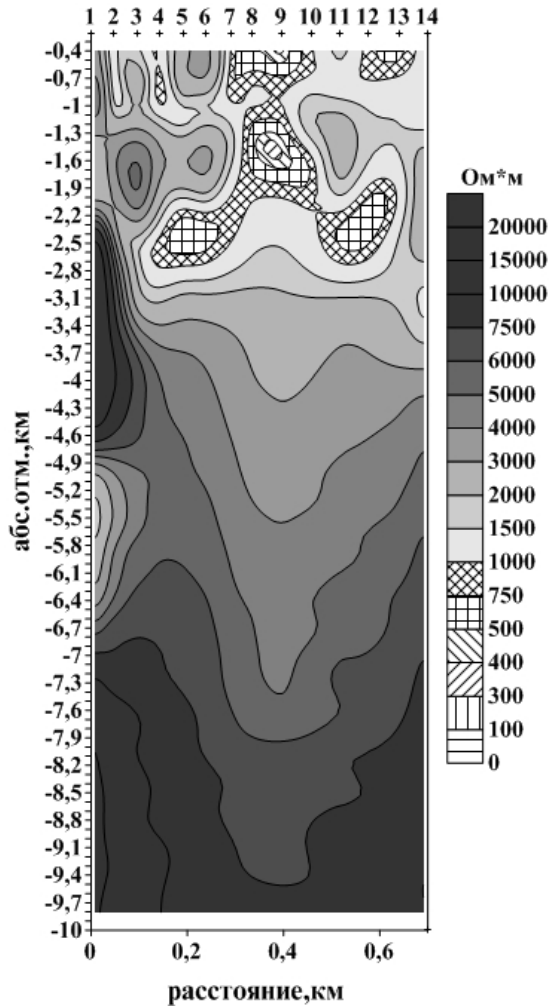


Рис. 9. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 4, глубина до 10 км (диапазон до 30 Гц)

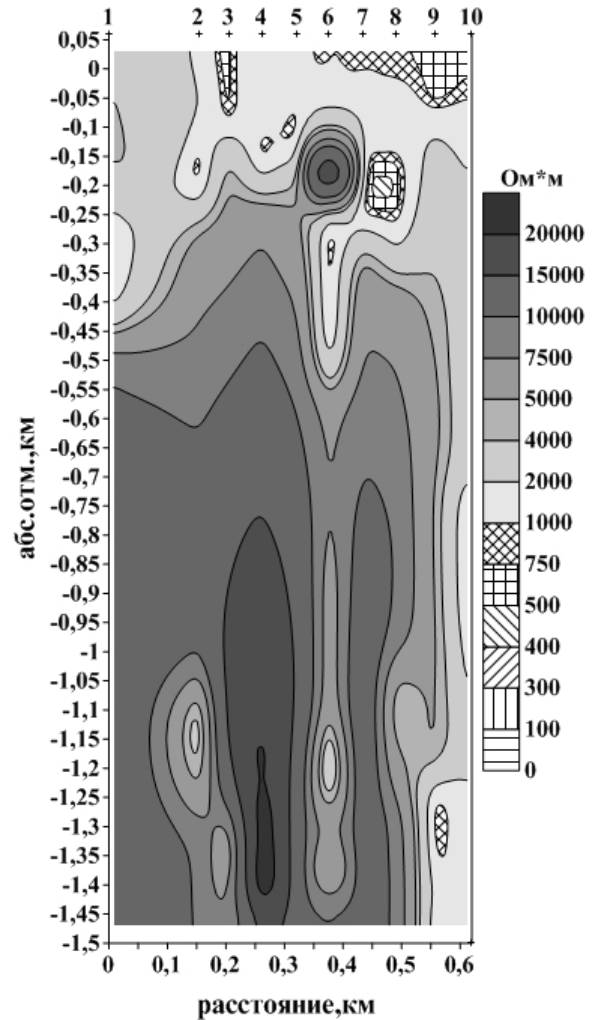


Рис. 10. Геоэлектрический разрез ρ_{eff} по профилю 6, глубина до 1,5 км (диапазон до 4 000 Гц)

Выводы

1. Все изученные проявления метасоматитов характеризуются чередованием низкоомных и высокоомных аномалий до глубины 5 км, иногда распространяясь до глубины 10 км.

2. Начиная с глубины 10 км до 50 км фиксируется последовательное увеличение высоких значений сопротивления.

3. Предполагаемая причина возникновения низкоомных аномалий, на наш взгляд, объясняется повышенной трещиноватостью верхней части Кальмиусской зоны разломов, в которой находятся рассматриваемые метасоматиты. Характер распределения значений электросопротивления свидетельствует, что, наряду с дезинтегрированными породами (предположительно гранитами), в виде останцов существуют и более пластичные и крепкие породы (предположительно кристаллосланцы и гранулиты).

Перспективы выявления редкоземельных проявлений, связанных со щелочными метасоматитами, геоэлектрическими методами

Выполненные исследования методом АМТЗ по известным щелочным метасоматитам Восточного Приазовья, показали, что до глубины 5 км к ним приурочены низкоомные аномалии. Это может явиться дополнительным поисковым признаком при геолого-поисковых работах. Для обнаружения редкоземельных проявлений необходима комплексная – петрологическая и геохимическая – оценка проявлений щелочных метасоматитов.

Рассмотренные проявления щелочных метасоматитов приурочены к Кальмиусской зоне разломов, которая не проявлена в виде низкоомных аномалий в геоэлектрических полях по данным АМТЗ. Вместе с тем, к ней приурочено около 26 редкоземельных проявлений.

Низкоомные аномалийные зоны в участках рассмотренных проявлений щелочных метасоматитов могут указывать на дезинтеграцию пород до глубины 5 км на верхнем этаже Кальмиусского разлома. Вполне вероятно, что они могли быть преобразованы в ходе последующих за верхнепротерозойским магматизмом тектонических событий. Возможно также, что для выводов о глубинности процессов метасоматоза количество точек наблюдения АМТЗ явно недостаточное.

Существует точка зрения [5], что щелочные метасоматиты Восточного Приазовья образовались за счет флюидов карбонатитовой магмы, а тела карбонатитов еще не вскрыты. Высокопроницаемые дезинтегрированные участки зон глубинных разломов,

в частности Кальмиусской зоны разломов, могли быть подводными каналами для таких флюидов. Следовательно, вкрест простирания всей Кальмиусской зоны разломов необходимо провести серию сближенных геоэлектрических профилей методом АМТЗ и ряд профилей МТЗ, чтобы построить по результатам наблюдений глубинную геоэлектрическую модель.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Кривдик С. Г., Моргун В. Г. Щелочные метасоматиты Приазовского и Ингульского мегаблоков Украинского щита // Наук. праці УкрНДМІ. — 2011. — Т. 9, ч. 2. — С. 216—237.
2. Михайлов В. А. Новый тип молибденовой минерализации Украинского щита / В. А. Михайлов, В. В. Шунько // Доп. НАН України. — 2002. — № 6. — С. 137—140.
3. Новые данные о перротите (Приазовье) / И. В. Пеков, Ю. В. Беловецкая, П. М. Карташов и др. // Записки Всероссийского минералогического о-ва. — 1999. — № 3. — С. 112—120.
4. Таттл О. Карбонатиты / О. Таттл, Дж. Гиттинс. — М. : Мир, 1969. — 486 с.
5. Кривдік С. Г. Про формаційну приналежність лужних метасоматитів Східного Приазов'я / С. Г. Кривдік, В. Г. Моргун // Геохімія та рудоносність. — 2010. — № 28. — С. 16—25.