

Применение импульсной электроразведки для выделения зон сульфидной минерализации медно-порфирирового типа на территории северного Казахстана

М.С. Шкиря* (ИРННТУ), Д.В. Гуревич (ООО «Гелиос»), С.А. Терёшкин (ИРННТУ), А.Ю. Белова (ИРННТУ), Ю.А. Давыденко (ИРННТУ, ООО «Гелиос», ИЗК СО РАН)

Введение

Исследования проводились на территории северного Казахстана на участке работ «Кызыл-Сор». Основной целью геофизических исследований было определение скрытых зон сульфидной минерализации на глубине до 1 км, характеризующихся аномальной вызванной поляризацией и контрастными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС). Также решалась задача по выделению и картированию коры выветривания. Для этого применялась технология электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП), в которой используется импульсное возбуждение тока для заземленных источников и приемников.

Основной задачей являлось исследование депрессии Кызыл-Сор размером около 2х2 км, полностью перекрытой четвертичными глинами и неогеновыми отложениями под ними. Большую часть времени депрессия недоступна для транспорта, так как покрыта с весны водой и не успевает просохнуть до зимы. Депрессия имеет хорошо выраженную кольцевую форму и, возможно, сформировалась на месте просадки над интрузивным очагом. На участке, прилегающем к депрессии с запада, широко проявлена бедная медно-сульфидная минерализация меднопорфирирового типа (вкрапленность и тонкие прожилки халькопирита). Большинство исследователей относят эту минерализацию к подрудной зоне эродированного меднопорфирирового объекта. На поверхностных геоэлектрических картах, созданных в советское время, эта минерализация хорошо проявляется в виде пояса аномалий вызванной поляризации размером около 1х4 км. Электроразведочные работы 2018 г. были нацелены на подтверждение данных советского периода и поиски ореолов сульфидизации, которые могли бы отвечать незэродированной части меднопорфирировой системы с относительно богатыми вкрапленными и штокверковыми рудами меди. В пределах депрессии ранее геоэлектрические исследования не проводились,

Метод и Теория

Метод ЭМЗ-ВП является методом импульсной электроразведки. Разрез возбуждается с помощью электрического диполя А-В, в то время как разность потенциалов измеряется на приемных электродах. Разница напряжений между приемными электродами контролируется во времени (интервал 125 мс). Переходный процесс (гальванический и индукционный) также регистрируется во время выключения тока. Такой подход позволяет устойчиво выделять эффект вызванной поляризации в исследуемых породах и, в конечном итоге, перейти от традиционных кажущихся параметров (кажущегося сопротивления (Rho) и кажущейся поляризуемости (η)) к построению трехмерных геоэлектрических моделей по результатам решения обратной задачи, с учетом частотную дисперсию электропроводности (Belova et al. 2019).

В практике поисковых работ на меднопорфирировых объектах геоэлектрические исследования направлены, главным образом, на картирование зон повышенной поляризуемости, в том числе не выходящих на поверхность. Повышенная поляризуемость достаточно часто (не всегда) обуславливается присутствием сульфидной минерализации, которая, в свою очередь, может быть связана с рудными накоплениями.

Результаты

На участке работ «Кызыл-Сор» с использованием технологии ЭМЗ-ВП было записано 1472 точки зондирования, общим объемом 36 погонных километров на 17 профилях с шагом 25 м. Из них три профиля полностью пересекли участок, включая депрессию Кызыл-Сор (Belova et al. 2020).

В рамках одномерных поляризующихся моделей с целью поиска слепых рудных тел на глубине, содержащих сульфидную минерализацию, была выполнена одномерная инверсия электромагнитных зондирований. При моделировании, осуществляемом в программе Mars1D, расчеты велись путём использования комплексного значения УЭС, зависящего от частоты (Davidenko et al. 2012). Для описания частотной зависимости УЭС использовалась формула Cole-Cole, применение которой позволяет описать большинство экспериментальных дисперсионных зависимостей в горных породах (Cole et al. 1941). Инверсия была выполнена для создания предпочтительной геологической модели с целью объяснения наилучшего результата электромагнитных измерений.

По результатам моделирования были построены разрезы по УЭС и поляризуемости на глубину до 1300 м и горизонтальные срезы по глубине до 1100 м. По разрезам УЭС отчетливо проявляются структурные особенности строения территории (Рисунок 1). Тектонически ослабленные зоны и монолитные высокоомные интрузии выделяются с точностью до 10%. Выделена граница коры выветривания. На рисунке 1 она выделена пунктирной линией.

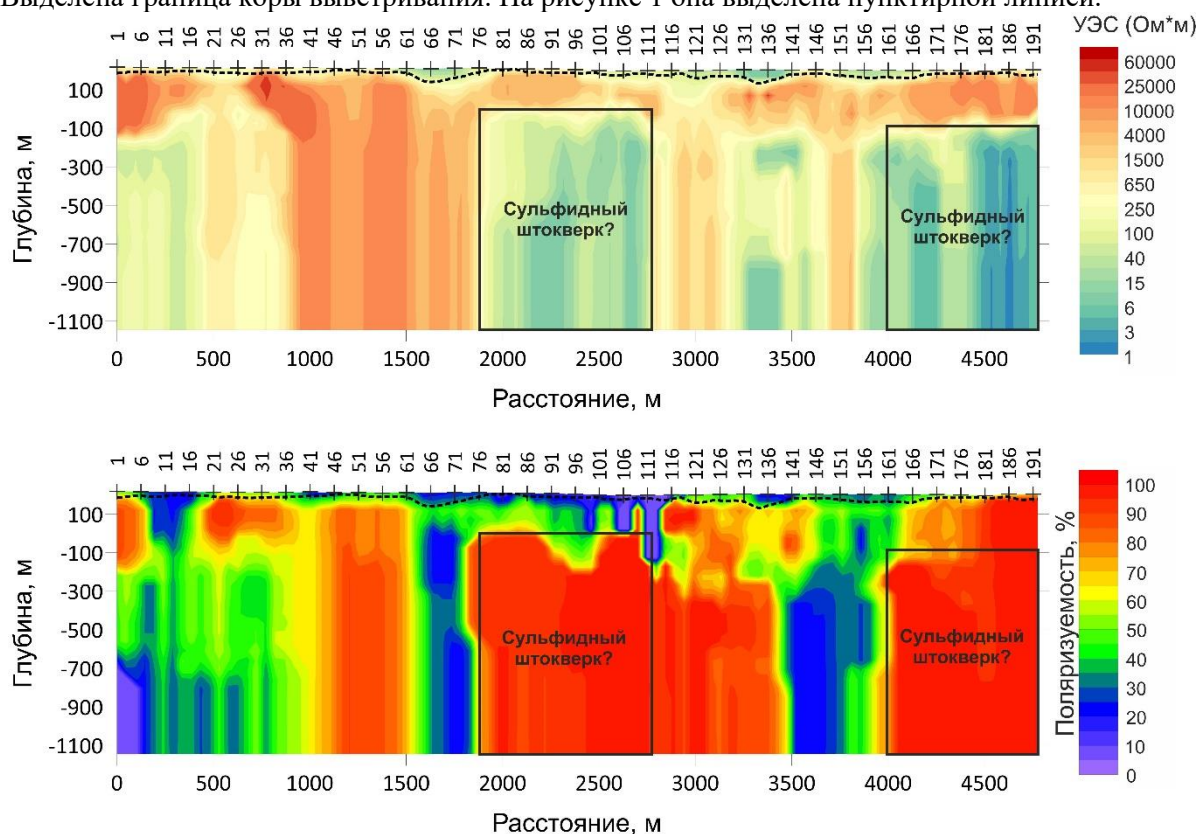


Рисунок 1. а. Разрез УЭС по профилю № 5. б. Разрез поляризуемости по профилю № 5.

По имеющимся данным и интерпретации геоэлектрических разрезов, мощность коры выветривания изменяется от десятков сантиметров на возвышенностях, до 80 м и более в зонах разломов. Характерно трехчленное строение. Зона глинистых перемещенных (бесструктурных) кор выветривания развита локально и исключительно в пониженных участках рельефа. Зона структурных каолинит-гидрослюдистых кор выветривания так же эродирована на большей части рудного поля, ее мощность изменяется от нуля до 15 м, в некоторых случаях может

достигать 80 м. Зона дезинтеграции первичных пород имеет мощность от нуля до 20 м и более. К нижней зоне часто приурочена зона вторичного сульфидного обогащения с высокими содержаниями меди и молибдена. Наличие глинистых перемещенных кор выветривания и почв важно с точки зрения методики геологоразведочных работ и определения потенциала площади, так как они препятствуют обнаружению литохимических ореолов (Gurevich 2013).

На разрезах, один из которых представлен на рисунке 1, выделяются низкоомные высокополяризующиеся аномалии, расположенные в центральной и правой части профилей 4, 5 и 6.

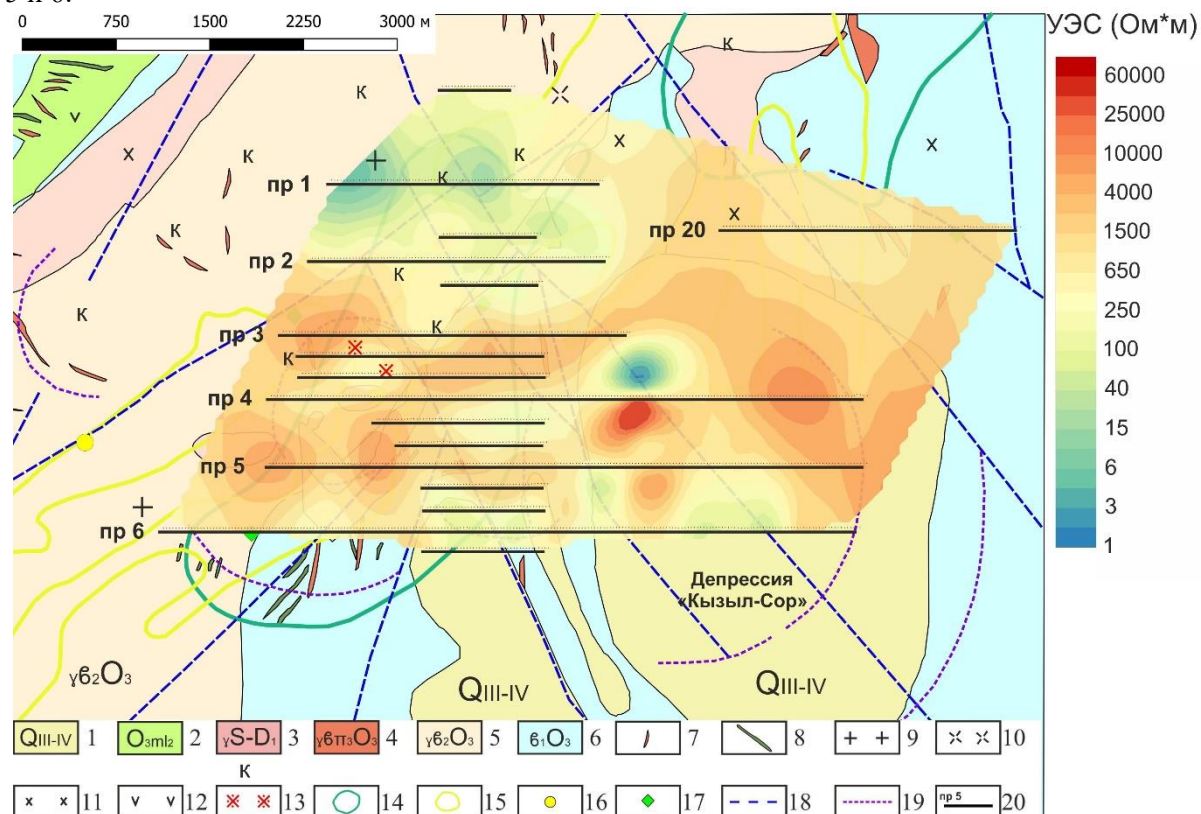


Рисунок 2. Карта усредненного УЭС на интервале глубин 100-250 м. 1 – Верхний – современный отделы. Аллювиальные и озерно-болотные отложения: пески, глины, супеси; 2 – Подсвета дацитовых порфиров; 3 – Боровский интрузивный комплекс. Аляскитовые граниты; 4 – Породы фазы дополнительных интрузий ко второй интрузивной фазе. Порфиоровидные гранодиориты, гранодиорит-порфиры; 5 – II главная фаза. Среднезернистые гранодиориты; 6 – Диорит; 7 – Дайки фельзит-порфиров; 8 – Дайки основного состава; 9 – Граниты; 10 – Порфиоровидные гранодиориты; 11 – Диориты, кварцевые диориты; 12 – Андезитовые и дацитовые порфиры; 13 – Кварц - турмалиновые метасоматиты; 14 – Ареалы вторичных ореолов меди (>0.03-0.05%); 15 - Ареалы вторичных ореолов золота (>0.05-0.1 г. т.); 16 – Рудопроявление золота; 17 – Рудопроявления меди; 18 – Линейные тектонические нарушения; 19 – Элементы кольцевых структур; 20 – Профиля ЭМЗ-ВП.

На рисунке 2 представлена карта усредненного УЭС на интервале глубин 100 - 250 м по результатам одномерной инверсии, наложенная на геологическую карту. В западной части участка выделилась субкольцевая структура, которая контролирует большую часть откартированной бедной штокверковой минерализации. Совпадение зон пониженного сопротивления, совпадающих с зонами повышенной поляризации, говорит о возможном присутствии минерализации штокверкового типа, для которого характерны разноориентированные и соединяющиеся друг с другом прожилки сульфидов.

Выводы и рекомендации

По результатам работ на открытых площадях к западу от депрессии, включая сопоставление с данными бурения, 1D-инверсия уверенно отображает зоны высокой поляризации и пониженного сопротивления, которые связаны с зонами сульфидной минерализации. Кроме этого, 1D моделирование позволяет достаточно точно выделить мощность коры выветривания. Электроразведочные работы, выполненные в пределах депрессии, подтвердили наличие аномалий вызванной поляризации и пониженного сопротивления, которые могут быть связаны с сульфидной минерализацией штокверкового типа. На следующем этапе будет построена трехмерная модель поляризуемости до глубины 1 км. Предполагается, что она позволит обосновать рекомендации по расположению поисковых скважин.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-67-47037 «Методологическое и программное обеспечение обработки больших объемов данных электромагнитных зондирований, гравиразведки и БПЛА-магниторазведки на основе комплексного решения трехмерных обратных задач рудной геофизики».

Список литературы / References

1. Belova, A.Y., A.S. Bashkeev, S.V. Bukhalov, Y.A. Davydenko and P.C.H. Veecken, 2020, Mineral prospecting for copper-molybdene ores in northern Kazakhstan using electromagnetic sensing and induced polarization technology (EMS-IP). Extended abstract, 82th EAGE annual conference and exhibition, non-seismic EM session, Amsterdam, June 2020.
2. Belova, A., Y. Davydenko, A. Zhukov, D. Bogdanovich, S. Bukhalov, M. Shkirya and K. Abornev, 2019, Assessment of water-protective sequence at the VerkhneKamsky deposit of salts from 3D inversion results of EMS-IP. Near Surface Geoscience conference and exhibition, extended abstract, The Hague, session We_25th_A05, 5p.
3. Belova A.Y., Gurevich D.V., Bogdanovich D.V., Aikasheva N.A., Bashkeev A.S., Bukhalov S.V. and Davydenko Y.A. Search for Concealed Copper-Molybdenum Mineralization in Northern Kazakhstan with the Help of Electromagnetic Sounding Technologies and Induced Polarization (Ems-IP). Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2019 15th Conference and Exhibition, Apr 2019, Volume 2019, p. 1 – 12.
4. Cole, K.S. and R.H. Cole, 1941, Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, 6, 341-353.
5. Davydenko, Y.A., I.Y. Pesterev, S.V. Yakovlev, M.A. Davydenko., A.V. Komyagin, and D.M. Shimyansky, 2012, Method of measurement and processing of transient processes with grounded line under pulsed excitation of field by electric dipole in order to construct geoelectric sections and device for carrying out the method using hardware software electro-prospecting complex (HSEPC "MARS"). Patent for invention, RU, №2574861.
6. Gurevich D.M., 2013, Mapping of Cupola-Ring Structures at the Exploration for Porphyry and Epithermal deposits. In: Materials of the Conference "Volcanism and related processes". Petropavlovsk-Kamchatsky, p. 280-290 (in Russian). <http://www.kscnet.ru>.