

Фоменко Н.Е. (Южный федеральный университет), Порфилкин Э.Г., Гроссу А.Н., Лубянова С.И., Борисов К.А. (Южно-российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова)

**ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО В НОВОШАХТИНСКОМ РАЙОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Представлены результаты применения электроразведочных технологий при геологоразведочных работах на золотоперспективном участке Галутинский в Новошахтинском районе Ростовской области. Комплекс геофизических исследований включал методы симметричного электропрофилеирования (СЭП), постоянного естественного электрического поля (ЕП), электропотенциального томографического зондирования (ЭПТЗ). Выполненные исследования позволили уточнить тектоническое строение участка, оценить геологический разрез на глубину более 100 м и выделить в нем приповерхностные и глубинные неоднородности. **Ключевые слова:** золотоперспективный участок, геологический разрез, геофизические исследования, электроразведочные методы, кривые электроразведки и электропрофилеирования, приповерхностные и глубинные неоднородности.*

Fomenko N.E. (Southern Federal University), Porfilkin E.G., Gross A.N., Lubyanova S.I., Borisov K.A. (South-Russian State Technical University Platov M.I.)

**THE ELECTRO TECHNOLOGIES IN EXPLORATION WORK ON THE GOLD OF NOVOSHANTINSK DISTRICT OF ROSTOV REGION**

*The results of the application of electro technology in exploration work on the site gold prospect Galutinsky Novoshantinsk district of Rostov region. Complex geophysical research methods include symmetric electric profiling (BOT), the permanent natural electric field (EP), the electro potential tomographic sensing (EPTZ). This research clarified the tectonic structure of the area, to evaluate the geological cross-section to a depth of 100 m. and to allocate it near-surface and deep heterogeneity. **Key words:** The gold prospect land, geological section, geophysical, geo-electric methods electrical sounding curves and electric profiling, near-surface and deep heterogeneity.*

В Восточном Донбассе основным фактором, определяющим общие перспективы золотоносности территории, является ее приуроченность к авлакогенной структуре «входящего» типа, которая пространственно связана с подвижной геосинклинальной областью [2]. В пределах авлакогенов золото-полиметаллические месторождения, как правило, обнаруживаются в центральной (приосевой) части валообразных поднятий или на их бортах. Последние осложнены поперечными разломами и поднятиями, которые трассируются дай-

ками и малыми интрузиями субщелочного и щелочно-го составов. В таких весьма сложных структурно-тектонических и литолого-стратиграфических условиях основной задачей геофизических исследований является выявление, прослеживание и детализация структур, благоприятных для локализации золоторудных зон, характеризующихся многообразием в геохимических ореолах корреляционных связей золота со свинцом, цинком, мышьяком при высоких уровнях концентрации других рудных элементов.

Геофизические исследования проведены на золотоперспективном участке Галутинский по профилю 6—6' в интервале пикетов 0—22 электроразведочными методами: симметричного электропрофилеирования (СЭП), постоянного естественного электрического поля (ЕП), электропотенциального томографического профилирования—зондирования (ЭПТЗ). Первые два метода являются типовыми, а третий — разработкой авторов [1, 5, 6].

Анализ полученных материалов в форме графиков электрического профилирования позволяет сделать вывод, что аномальные электрические поля, зарегистрированные на профиле 6-6', относятся к слабоинтенсивным (рис. 1). Обращает внимание, что участок потенциального рудопроявления, отмеченный на профиле по данным геолого-поисковых работ между пикетами 2—12, характеризуется относительно повышенными значениями потенциалов постоянного естественного электрического поля ( $U_{EP}$ ) (рис. 1а). Это вероятнее всего обусловлено суммарным влиянием гидротермально измененных, метасоматически преобразованных горных пород в субвертикальных приразломных зонах и подтопления, которое является составной частью геологического разреза ниже границы подповерхностных (покровных) отложений. Высокоомный ха-

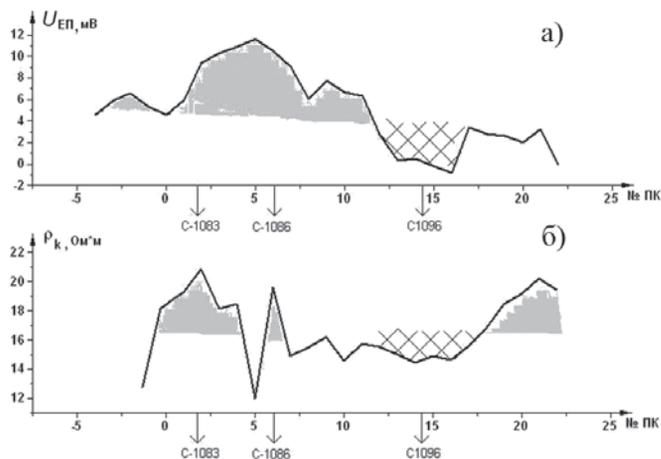


Рис. 1. Графики изменения потенциалов естественного электрического поля (а) и кажущегося удельного электрического сопротивления (б) по профилю 6—6' на участке Галутинский в Восточном Донбассе

рактически отмеченного потенциального рудопоявления частично подтверждается электропрофилеграфированием методом СЭП (рис. 16). Далее вдоль профиля между пикетами 12–17 имеет место соответствие понижения значений потенциала  $U_{\text{ЭП}}$  и кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$ .

Зону несоответствия значений  $U_{\text{ЭП}}$  и  $\rho_k$  в интервале пикетов 2–12 можно интерпретировать по-разному: 1) связывать со сменой вещественного состава пород, например, сменой метасоматически преобразованных (высокоомных) пород на черносланцевые (низкоомные); 2) выделять как трещиноватую и обводненную область с инфильтрацией вод; 3) представлять как участок интенсивной сульфидизации. Особое внимание обращает на себя область несоответствия кривых  $U_{\text{ЭП}}$  и  $\rho_k$  на 5-м пикете вблизи скв. 1086. Этот интервал геофизического профиля отмечается глубокой отрицательной аномалией  $\rho_k$  на фоне высокого значения  $U_{\text{ЭП}}$ . Аномалия подтвердилась и при измерениях методом ЭПТЗ и может быть вызвана, во-первых, локальной разгрузкой грунтовых вод по стволам скв. С-1082 и С-1086, если проектом не было предусмотрено тампонажа их верхней части, во-вторых, разгрузкой вод по трещинной системе развитых здесь разломов. Другая версия — локальное рудопоявление при весьма высоком уровне грунтовых вод (УГВ). Именно при таких условиях можно ожидать повышенную аномальность ЭП, что соответствует теоретическим постулатам электроразведки [7].

Особый интерес представляют графики ЭПТЗ, построенные по результатам измерений на профиле 6–6'. Они позволяют оценить удельное электрическое сопротивление покровных отложений, установить наличие приповерхностных неоднородностей, а также изменение  $\rho_k$  со стратиграфической глубиной. При этом следует пояснить, что сущность ЭПТЗ — в осуществлении электрического зондирования орто-осевой электроразведочной установкой *ABMN*, когда в этой установке один из питающих электродов *A* или *B* является на первоначальном этапе удаленным по отношению к измерительной линии *MN* и зондирование по своей физической сущности соответствует таковому с трехэлектродной установкой *AMN* или *BMN* (рис. 2).

Питающую линию *AB* закрепляют неподвижно, а приемную *MN* последовательно перемещают в противоположных направлениях от *A* и от *B* как ортогонально, так и вдоль. Центр зондирования относят к ближайшему питающему электроду. Разносы *AO* или *BO* увеличивают в одну и другую стороны не с логарифмическим, как в методе ВЭЗ, а с арифметическим шагом. Следо-

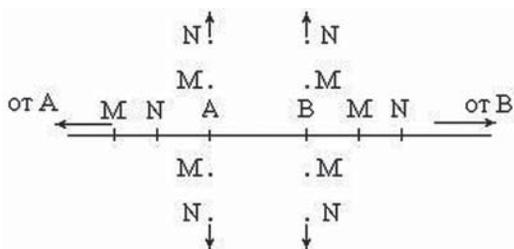


Рис. 2. Схема электроразведочной установки

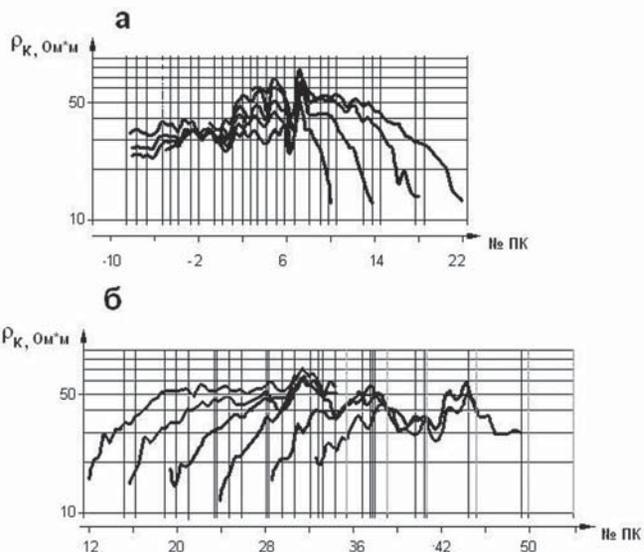


Рис. 3. Кривые ЭПТЗ на пикетах 22–2 (а) и на пикетах 12–32 (б), построенные в полулогарифмическом масштабе на предмет их анализа как кривых трехэлектродного профилирования

вательно, при производстве ЭПТЗ на последующих (соседних) пунктах зондирования, электроды *MN* в процессе измерений последовательно попадают в те же точки, что и на предыдущих пунктах [1, 4, 5]. По аналогии с технологией сплошных электрических зондирований (СЭЗ) в точках измерений осуществляется накопление сигналов, и аномалии от приповерхностных неоднородностей (ППН) и наклонных контактов и пластов (НКП) проявляются в поле кажущихся удельных электрических сопротивлений не как случайные геологические сигналы (помехи), а как регулярные [7]. Поэтому представляется возможность их или полностью исключить (отфильтровать), или использовать для изучения ППН и НКП.

Графики ЭПТЗ, построенные по результатам измерений на профиле 6–6' приведены на рис. 3.

Рассмотрение кривых ЭПТЗ, представленных на рис. 3а, показывает, что на участке профиля между пикетами 22–10 верхняя часть разреза является низкоомной, поскольку значения  $\rho_k$  на каждом из этих пикетов находятся в диапазоне от 10 до 20 Ом·м. Оценивая начальную крутизну кривых  $\rho_k$ , нетрудно заметить, что толщина покровных отложений в юго-западном направлении (в сторону отрицательных пикетов) уменьшается и на ПК 6 на дневную поверхность выходят высокоомные образования, приуроченные, по всей видимости, к коренным гидротермально измененным породам черносланцевой толщи. В области этого же пикета в явном виде (в форме четкой аномалии низких значений  $\rho_k$ ) выделяется ППН, которую, как уже было подчеркнуто при рассмотрении рис. 16, можно связывать с выходом под наносы тектонической, либо обводненной, либо содержащей рудные включения трещины.

На графиках ЭПТЗ, построенных по результатам зондирования в направлении от питающего электрода *B* (рис. 3б), низкоомные значения покровных отложений прослеживаются на всех пикетах, т.е. от ПК 12 к

ПК 32. Толщина наносов уменьшается по направлению увеличения нумерации пикетов. Следует заметить, что в местах расположения пикетов 33, 38 и 45 по признаку повторения формы аномалий выявляются ППН с относительно повышенными значениями  $\rho_k$ . Их геологическую принадлежность можно в дальнейшем выявить по результатам контрольного бурения.

Совокупное сопоставление графиков ЕП, СЭП и ЭПТЗ, выполненное над геологическим разрезом, который построен по данным геолого-поисковых работ, представлено на рис. 4. Сопоставление показывает определенное соответствие геологических и геофизических наблюдений. Участки тектонически нарушенных и метасоматически преобразованных пород характеризуются повышенными значениями  $U_{EP}$  и  $\rho_k$ , а места перехода от тектонически нарушенных к ненарушенным породам черносланцевой толщи выражаются несоответствием значений  $U_{EP}$  и  $\rho_k$  ( $\rho_k < U_{EP}$ ). Области пониженных аномалий  $\rho_k$ , указывают на потенциальную рудоносность.

На рис. 5 произведено сопоставление кривых ЭПТЗ, построенных по профилю 6–6' в билогарифмическом масштабе и полученных при перемещении измерительной линии  $MN$  в двух противоположных направлениях: как от электрода  $A$ , так и от  $B$ . В электроразведке с помощью такого приема (измерения по разные стороны от питающей, т.е. генераторной установки, а также наблюдения одной и той же установкой по различным азимутам, например, крестовые ВЭЗ) решается задача по определению степени пространственной выдержанности геологических разрезов [7]. С этой точки зрения интерес в первую очередь представляет сравнение кривых зондирования по смежным пикетам, на одном из которых разнос осуществлялся от электрода  $A$ , а на другом — от электрода  $B$ . Рассмотрение показывает, что по направлению от ПК 22 к ПК 10 толщина (мощность) высокоомных пород на кривых ЭПТЗ, полученных при измерениях от электрода  $A$ , уменьшается, а от электрода  $B$  остается без изменений (кривые ЭПТЗ на пикетах 12, 16 и 20 близки по форме). Следовательно, линия падения предполагаемых рудных зон направлена в сторону измерений от электрода  $B$ , что соответствует геологическому разрезу, построенному по результатам геолого-поисковых работ.

Качественный анализ кривых ЭПТЗ на несмежных пикетах соответственно менее информативен. Графики электроразведки, полученные на ПК 6 и 2 при измерениях от электрода  $A$ , свидетельствуют о том, что на этом участке профиля геологический разрез, начиная с самой верхней части, представлен квазиоднородными породами черносланцевой толщи. На противоположном же участке профиля по данным ЭПТЗ на участке между ПК 24 и 32 рудные тела имеются, но толщина их небольшая, и, возможно, это «хвосты» рудных залежей.

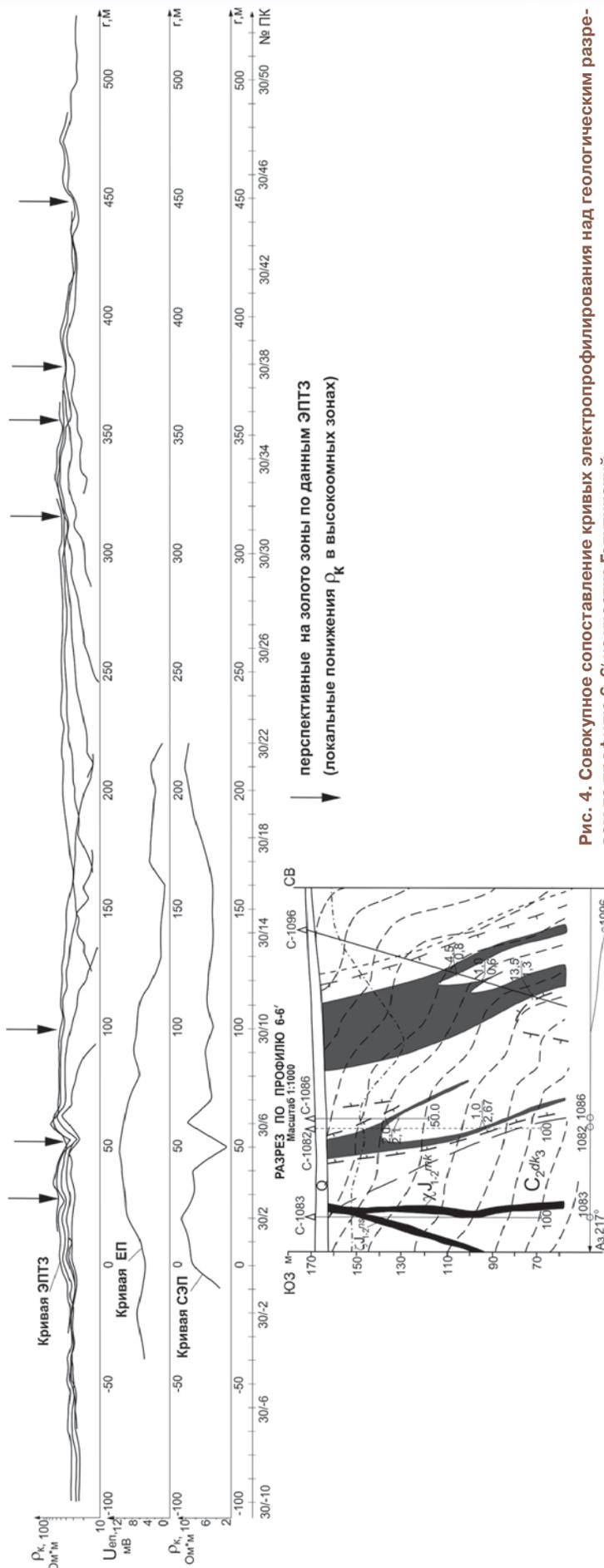


Рис. 4. Совокупное сопоставление кривых электроразведки над геологическим разрезом по профилю 6–6' на участке Галутинский

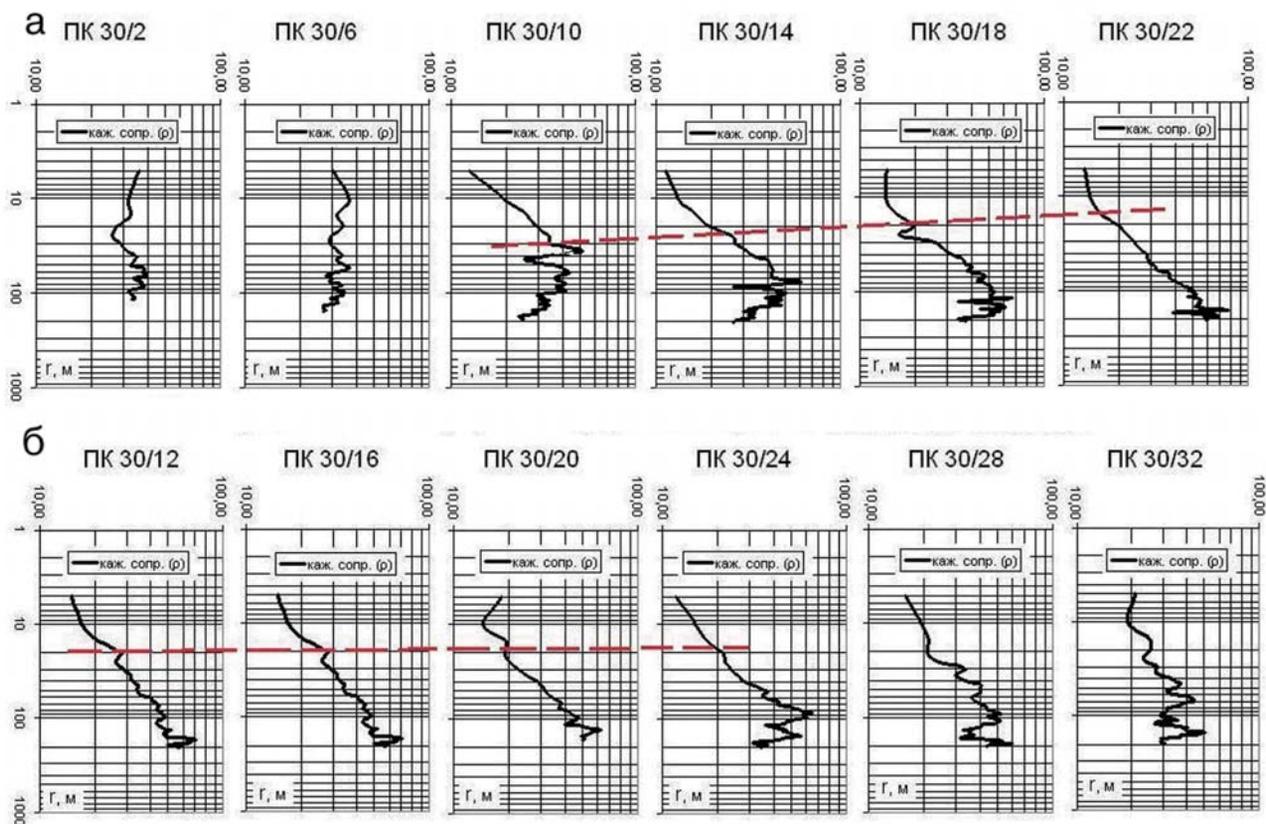


Рис. 5. Сопоставление кривых ЭПТЗ, построенных в билогарифмическом масштабе и полученных при измерениях на профиле 6-6' на участке Галутинский при увеличении разноса: а — от электрода А, б — от электрода В

### Выводы

Электроразведочные работы, проведенные в опытном порядке на профиле 6—6' на участке Галутинский, показали, что примененный комплекс методов электропрофилирования ЕП и СЭП и электропотенциального профилирования—зондирования позволяет решать следующие геологические задачи:

1. Картировать зоны гидротермально измененных, метасоматически преобразованных высокоомных пород, выходящих под наносы в виде крутопадающих залежей, и качественно оценивать их потенциальную рудоносность.

2. Оценивать строение геологического разреза на глубину более 100 м и выделять в нем приповерхностные и глубинные неоднородности.

Для дальнейшего эффективного ведения поисковых и поисково-оценочных работ целесообразно выполнять поэтапную, опережающую буровые работы, геофизическую съемку в масштабах 1:500 и 1:1000, включающую: 1) электроразведку постоянным током методами СЭП с двумя разносами питающей линии, ЕП, МПЭФ (метод пространственной электрической фильтрации в модификации продольного и поперечного срединного градиента СГ) и ЭПТЗ с контрольными точками ВЭЗ; 2) индуктивную электроразведку методами ДЭМП и радио-КИП; 3) детальную магниторазведку с измерением составляющих  $H$  и  $Z$  на двух высотных уровнях. Предполагается, что комплекс перечисленных методов, ранее выполненных и на других объектах [3, 4], позволит не только выявлять крутопадающие рудные тела, но и су-

щественно уточнять тектоническое строение участка геолого-поисковых работ. При этом, в электроразведке постоянным током следует отдавать предпочтение перечисленным выше модификациям (СЭП, МПЭФ, ЭПТЗ, ВЭЗ) на основе ВП (вызванной поляризации), так как при исследовании зон вкрапленного оруденения модификации ВП значительно более информативны по сравнению с методами сопротивлений [3]. Согласно литературным источникам, аномальность поля ВП появляется уже при содержании в изучаемой среде токопроводящих компонентов в количестве более 1%. Глубинность (дальность исследований) оценивается более 100 м.

Грави- и сейсморазведочные методы как наиболее глубинные также желательно использовать при опережающем геологическом картировании, но следует учитывать их меньшую, по сравнению с электро- и магниторазведкой мобильность и существенно большую стоимость.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гроссу, А.Н. Методические приемы выявления и диагностики приповерхностных техногенных и природных объектов посредством электрических зондирований / А.Н. Гроссу, С.И. Лубянова, Н.Ю. Боровик, Д.А. Гапонов : тез. шестой Междунар. науч.-практ. конф. и выставки «ИНЖГЕО-2010», Геленджик, 26–30 апреля 2010 г. — 4 с. CD-ROM // Инженерная и рудная геофизика — 2010.
2. Зеленщиков, Г.В. Условия локализации, поисковые признаки и оценка перспектив золотоносности юго-восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена / Г.В. Зеленщиков, Т.П. Радаева, С.В. Макарюха / Вопросы геологии и освоения недр юга России: сб. науч. статей. — Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. — С. 85–93.
3. Куликов, В.А. Применение электротомографии при решении рудных задач до глубин 300–400 м / В.А. Куликов, А.А. Бобачев, А.Г. Яковлев // Геофизика. — 2014. — № 2. — С. 39–46.

4. Фоменко, Н.Е. Области применения электроразведочных технологий на угольных месторождениях // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 12. — С. 72–77.
5. Фоменко, Н.Е. Возможности метода электропотенциального томографического зондирования при выявлении относительно тонких слоев геологического разреза / Н.Е. Фоменко, Э.Г. Порфилкин, Н.Ю. Боровик, А.Н.Гроссу / Ученые ЮРГТУ (НПИ) к юбилею университета: матер. 56-й научно-техн. конфер. профессорско-преподавательского состава, научных работников, аспирантов и студентов / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: Оникс+, 2007. — С. 89–92.
6. Фоменко, Н.Е. Электроразведочные методы контроля состояния гидросферы в угольных регионах (требования, технологии, результаты) / Н.Е. Фоменко, Э.Г. Порфилкин, А.Н. Гроссу / Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России (Всероссийский научно-технич. семинар) — Шахты: Изд-во ЮРОАГН, 2001. — С. 17–20.
7. Хмелевской, В.К. Электроразведка. Пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / В.К. Хмелевской, И.Н. Модин, А.Г. Яковлев. — М.: ГЕПС, 2005.

© Коллектив авторов, 2016

Фоменко Николай Евгеньевич // fnegeophyskohle@ya.ru  
 Порфилкин Эмиль Георгиевич // 13050465@mail.ru  
 Гроссу Анна Николаевна // A.Grossu@mail.ru  
 Лубянова Светлана Ивановна // 13050465@mail.ru  
 Борисов Константин Андреевич // 13050465@mail.ru

УДК 550.837.21

**Давыдов В.А. (Институт геофизики УрО РАН им. Ю.П. Булашевича)**

#### **ПРИМЕНЕНИЕ АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЭКСПРЕСС-ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Приведены практические примеры аудиоманнитотеллурических наблюдений на ряде рудных месторождений. Измерения проводились на разных стадиях освоения месторождений: разведки, эксплуатации и ликвидации. Описана методика полевых работ и обработки результатов наблюдений. Сопоставление результатов показало хорошую сходимость качественной и количественной интерпретации аудиоманнитотеллурических зондирований с имеющейся геолого-геофизической информацией. **Ключевые слова:** аудиоманнитотеллурическое зондирование, геоэлектрический разрез, эффективная продольная проводимость.*

Davydov V.A. (Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences Bulashevich Y.P.)

**APPLICATION AUDIOMAGNETOTELLURICS EXPRESS-SENSING IN THE STUDY OF THE ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS DEPOSITS**

*There is the practical examples audiomagnetotellurics observations on a number of ore deposits. Measurements were taken at different stages of development of deposits: exploration, exploitation and liquidation. The technique of fieldwork and processing the results of observations. Comparison of the results showed a good convergence of qualitative and quantitative interpretation audiomagnetotellurics sounding with available geological and geophysical information. **Key words:** audiomagnetotellurics sounding, geo-electric section, the effective longitudinal conductivity.*

При разведке рудных месторождений должны быть выявлены основные природные и техногенные инженерно-геологические факторы, оказывающие влияние

на условия вскрытия и эксплуатацию месторождений. Для этого проводятся работы по изучению геологического строения, гидрогеологических и геокриологических условий района месторождения, а также оценка общей инженерно-геологической характеристики для целей наземного строительства. Освещение этих вопросов дается на основе результатов комплексных геологических и гидрогеологических работ с применением геофизических методов. Геофизические исследования могут привлекаться для изучения:

- условий залегания рудных тел и вмещающих пород;
- тектонической обстановки и степени трещиноватости пород;
- водоносных горизонтов и водоносности пород;
- современных физико-геологических явлений (карст, оползни, суффозия и др.);
- распространения многолетнемерзлых пород и участков сезонного протаивания.

На рудных месторождениях самыми распространенными геофизическими методами разведки являются электроразведочные. Наиболее развиты вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), метод заряда и различные варианты электропрофилеирования. Аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ) в традиционном виде не получили широкого распространения из-за высокого уровня электромагнитных помех на эксплуатируемых месторождениях. Однако при проведении аудиоманнитотеллурических (АМТ) измерений в более высокочастотном диапазоне можно значительно сократить влияние промышленных помех без потери информации в интересующем интервале глубин. Последующая обработка полученных записей позволяет полностью отфильтровать электромагнитные помехи техногенного происхождения.

Основная цель работы — показать потенциальные возможности АМТ технологий при изучении рудных месторождений. К задачам исследований относится проведение аудиоманнитотеллурических наблюдений на различных этапах освоения месторождений и сопоставление результатов АМТЗ с имеющейся геолого-геофизической информацией.

#### **Методика работ**

Полевые аудиоманнитотеллурические исследования проводились двухканальной малогабаритной приемно-регистрирующей аппаратурой «ОМАР-2м», разработанной в Институте геофизики УрО РАН [4]. Аппаратура обеспечивает усиление, аналого-цифровое преобразование и запись широкополосных геофизических сигналов в реальном масштабе времени. Регистрация проводилась в частотном диапазоне 100–10000 Гц по методике экспресс-съемки горизонтальных компонент естественного электромагнитного поля  $E_x$  и  $H_y$  в движении с остановками [3]. Глубина исследований в этом случае ограничивается одной–двумя сотнями метров, время наблюдения на одной точке составляет 20–30 с. Магнитная компонента  $H_y$  измерялась с помощью активного индукционного датчика АМД-5 с линеаризованной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) и изменяемой чувствительностью (5–50 В·м/А). Электрическая составляющая  $E_x$  снималась со стелющейся 10-метровой линии, протягиваемой вдоль профиля.