

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.: ГЕРС, 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.

Чтобы исключить влияние вертикальной компоненты E_z , возникающей при перепадах рельефа, для измерения E_x использована симметричная конструкция электрической антенны [5]. Датчики были закреплены на станке за спиной оператора, пульт располагался на груди, съемка производилась одним человеком.

АЧХ датчиков и корректирующих фильтров аппаратуры настроены на подавление электромагнитных сигналов частотой ниже 100 Гц, в том числе 50-герцовой помехи (–30 дБ) и «микрофонного» эффекта колебаний датчиков при движении (–70 дБ). Во время съемки профиля ведется непрерывная запись усиленных компонент E_x и H_y в цифровой регистратор с твердотельной памятью. Уровень сигнала в каналах контролируется по индикаторам на пульте аппаратуры. Для привязки к характерным точкам профиля (пикеты, углы и т.п.) в процессе съемки предусматривается установка маркеров в записи.

Камеральная обработка аудиоманнитотеллурических данных включает:

- фильтрацию промышленных помех;
- получение частотных спектров на основе быстрого преобразования Фурье;
- восстановление истинных амплитуд сигналов с учетом амплитудно-частотной характеристики измерительных каналов;

- расчет продольного импеданса среды: $Z = E_x / H_y$;
- расчет эффективного удельного электрического сопротивления (УЭС):

$\rho_{эф} = |Z|^2 / 2\pi \cdot f \cdot \mu_0$, где: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная проницаемость воздуха;

- получение частотного псевдореза $\rho_{эф}(f)$;
- трансформацию частотной зависимости $\rho_{эф}(f)$ в глубинный разрез эффективных сопротивлений $\rho_{эф}(h_{эф})$ с помощью оригинального способа преобразования АМТ данных с учетом априорной информации;

- пересчет и построение глубинных разрезов продольной проводимости $S_{эф}(h_{эф})$;

- 2D-инверсия АМТЗ по программе ZondMT2d [8] и построение количественного геоэлектрического разреза.

Для получения дополнительной информации проводились отдельные работы методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с комплектом аппаратуры ЭРА-МАКС (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург) по стандартной методике [7]. Использовалась симметричная 4-электродная установка Шлюмберже (AMNB) с выносом питающих электродов $AB/2$ на расстояние от 3 до 150 м с логарифмическим шагом. Измерения проводились при стабилизированном токе в питающей линии от 5 до 50 мА. Погрешность полевых измерений составила менее 3%. Количественная интерпретация результатов ВЭЗ выполнена в рамках одномерной модели по программе IPI2win [2].

Результаты работ

Аудиоманнитотеллурические наблюдения проводились на различных этапах освоения рудных месторождений:

- разведочные работы (Светлое);
- стадия эксплуатации (Волковское);
- ликвидация и рекультивация (Березовское).

Различные стадии подразумевают разные условия измерений — от полного отсутствия техногенных помех до работы на урбанизированной территории вблизи крупных промышленных предприятий, создающих интенсивные электромагнитные помехи.

Месторождение Светлое

Золото-серебряное месторождение Светлое располагается в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного комплекса Дальнего Востока. На месторождении представлены золото-меднопорфировый и эпитеpmальный золото-серебряный типы оруденения. Мелкозернистая минерализация золота сформирована вторичным кварцитом, связанным с эпитеpmальной сульфидизацией. Золотосодержащие окварцованные залежи прожилковых, прожилково-вкрапленных и местами штокверковых руд мощностью от 20 до 120 м размещены в вулканических породах. Зоны с более высоким содержанием приурочены к брекчиям. Месторождение находится в зоне распространения многолетнемерзлотных пород (ММП). Целью исследовательских работ было изучение гидрогеологической ситуации в зоне развития многолетней мерзлоты на одном из участков месторождения Светлое. Перед электроразведкой ставились задачи выделения основных геологических структур, изучение мерзлотных свойств геологического разреза, выявление областей оттайки (таликов) и связанных с ними путей разгрузки талых вод.

Электрические сопротивления приповерхностных отложений участка работ отличаются пониженными значениями (рис. 1а), что может быть объяснено широким развитием метасоматических процессов с образованием глинистых минералов (каолинита и гидрослюд), которые в оттаянном состоянии имеют низкие значения УЭС. Электропроводность верхней части разреза (ВЧР) в большей степени подвергнута сезонным изменениям: участки высокой проводимости (более 1 См) связаны с обводненными грунтами (рис. 1б), слабопроводящие

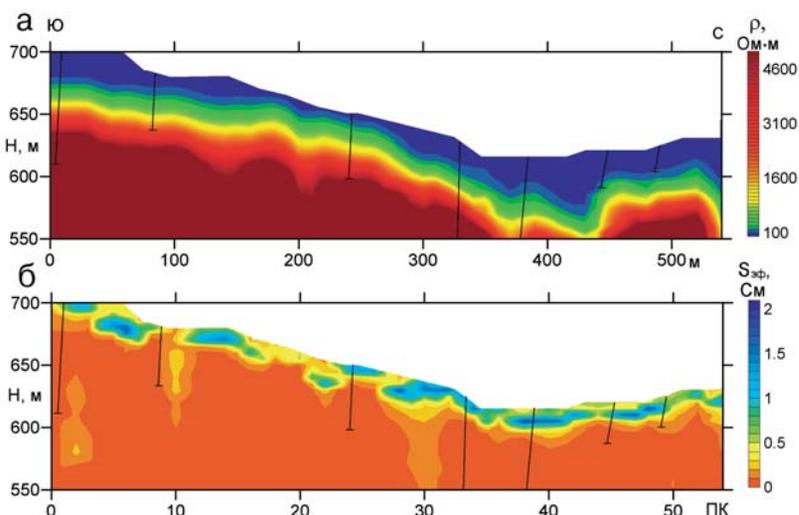


Рис. 1. Разрезы геоэлектрических параметров в долине р. Алаиньды (Хабаровский край): а — геоэлектрический разрез, полученный в результате 2D-инверсии АМТЗ; б — разрез эффективной продольной проводимости $S_{эф}$

зоны указывают на присутствие сезонной мерзлоты, которая на глубине переходит в многолетнюю мерзлоту. Глубина залегания кровли многолетнемерзлотных пород по данным бурения находится в пределах 5–25 м от поверхности. На геоэлектрическом разрезе (рис. 1а) граница ММП приблизительно соответствует изолинии в 3000 Ом·м. Заметим, что в долине реки (ПК34–ПК42) за счет растепляющего эффекта глубина залегания ММП увеличивается до 30–50 м. В результате площадных электроразведочных работ методом радиокип СДВР выяснено, что основная разгрузка таликовых и поверхностных стоков в бассейн р. Алалинья идет по ослабленным контактам вулканических пород разного состава [6]. На разрезе эффективной продольной проводимости видны возможные каналы подпитки и частичной разгрузки таликовых вод в виде вертикальных проводящих областей в районе ПК10 и ПК30 (рис. 1б). Предполагается, что это сквозные талики в многолетней мерзлоте, образовавшиеся по тектоническим швам и зонам трещиноватости в коренных породах.

Волковский рудник

Волковское месторождение одно из наиболее крупных медных магматических месторождений на Урале. Оно приурочено к одноименному габбровому массиву, расположенному в западной части Тагильского синклиория и является типичным представителем габбро-перидотитовой формации. Волковский массив сложен габбро, габбро-диоритами, диоритами, кварцевыми диоритами, взаимоотношения которых свидетельствуют о его складчатом строении. Медно-сульфидное оруденение тяготеет к сводовой части антиклинальной складки и образует зону из многочисленных линзовидных залежей и вкраплений. Несколько ниже располагаются титаномагнетитовые руды, имеющие вкрапленный и шлировый характер. Преобладающий тип руд — ванадиево-железо-медные, основные минералы руд — борнит, халькопирит, ванадийсодержащий титаномагнетит и апатит. Главным промышленным компонентом является медь, существенное значение имеет также железо, ванадий, титан, фосфор [1].

Разработка первой очереди Волковского месторождения (Лавро-Николаевского карьера) в настоящее время завершена. После окончания работ на борту карьера скопился отвал некондиционной окисленной и смешанной руды. В перспективе намечен проект ручного выщелачивания данных руд, под который уже были проведены пробные работы. Для экологического контроля по воздействию на окружающую среду были проведены инженерно-геологические исследования условий зале-

гания подземных вод вблизи площадки отвала. В состав работ были включены геофизические исследования методами ВЭЗ и АМТЗ. Главная цель работ — не допустить попадания кислых сточных вод в ближайшую р. Лая. Основная задача исследований состояла в выделении проницаемых горизонтов, по которым осуществляется дренаж подземных вод из района отвала в долину реки.

Для изучения литологического состава грунтов было выполнено бурение шести инженерно-геологических скважин глубиной до 24 м по периметру отвала. Выяснено, что коренные породы, представленные слабыветрелыми габбро средней прочности, залегают на глубине от 6 до 20 м и более. Рыхлые отложения представлены насыпными грунтами, делювиальными глинами и элювиальными суглинками с включениями щебня. Во время бурения скважин вода в них так и не появи-

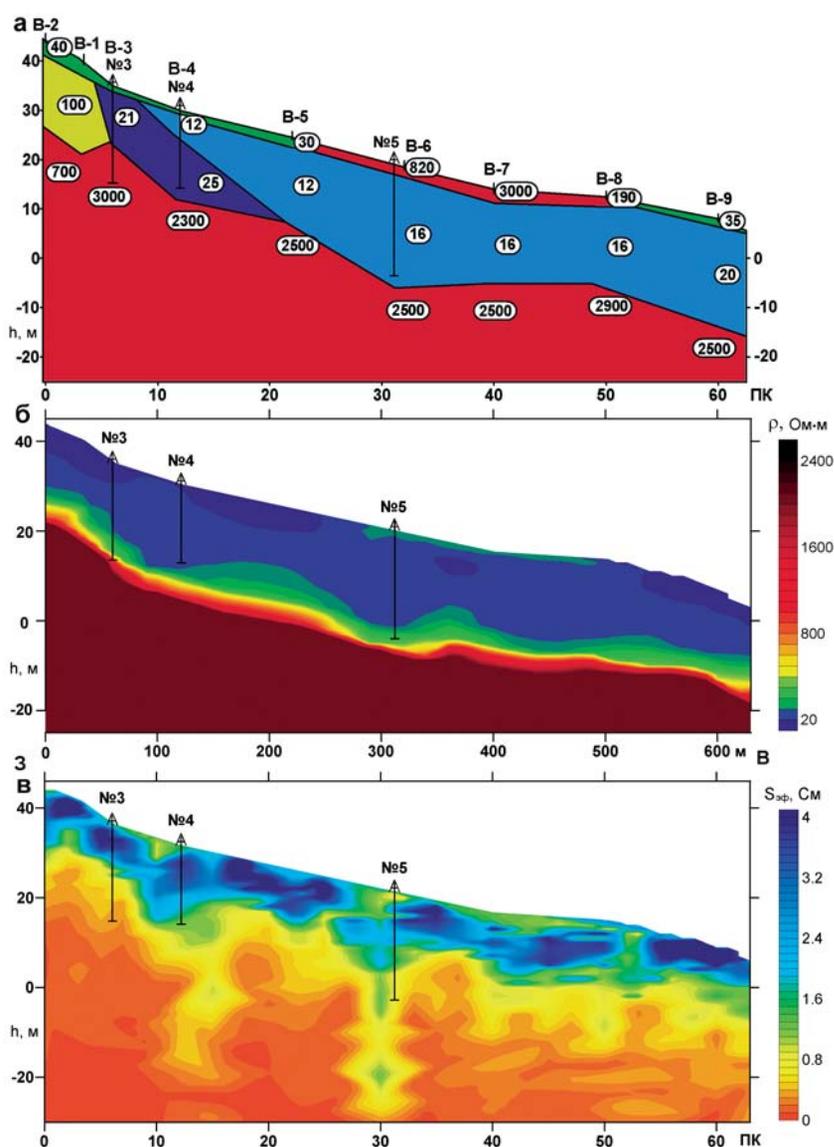


Рис. 2. Разрезы геоэлектрических параметров на Волковском руднике (Северный Урал): а — геоэлектрический 1D-разрез ВЭЗ (в овалках указаны значения УЭС выделенных слоев); б — геоэлектрический разрез, полученный в результате 2D-инверсии АМТЗ; в — разрез эффективной продольной проводимости $S_{эф}$. Вертикальная ось соответствует превышению в метрах, относительно уровня воды в р. Лая. Обозначения: В-1, В-2 и т.д. — точки ВЭЗ; № 3, № 4, № 5 — номера скважин

лась, в две скважины (№ 4 и № 5) вода стала поступать чуть позже и установилась на уровне около 5 м от поверхности земли.

Электромагнитные зондирования были проведены по двум широтным профилям по обе стороны отвала, начиная от борта карьера и заканчивая долиной р. Лая. Результаты по одному из них приведены на рис. 2. По результатам ВЭЗ геоэлектрический разрез носит в основном трехслойный характер (рис. 2а). Коренные породы (габбро) отличаются высокими значениями удельного электрического сопротивления $\rho = 700 \div 3000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Глины и суглинки коры выветривания практически не расчленяются по электрическим свойствам и выделяются в виде однородной низкоомной толщи ($\rho = 12 \div 21 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Насыпные грунты в верхней части разреза сильно отличаются по составу (от суглинков до щебня), поэтому их УЭС варьирует в широких пределах — от 30 до 3000 Ом·м. Геоэлектрический разрез АМТЗ (рис. 2б) в целом согласуется с разрезом ВЭЗ по величинам УЭС и глубине залегания коренных пород. Разрез эффективной продольной проводимости (рис. 2в) более информативен по предоставляемой детальности. На нем можно выделить локальные проводящие участки, связанные с высокой степенью обводненности грунтов ($S_{\text{эф}} > 2 \text{ См}$). Также обращают на себя внимание зоны чуть повышенной проводимости ($S_{\text{эф}} \leq 1 \text{ См}$) в коренных породах (ПК15 и ПК30), по-видимому, связанные с трещиноватостью. На основании полученных результатов предполагается, что основной водоносный горизонт приурочен к коре выветривания и верхней трещиноватой части коренных пород, водоупором для которых служат монолитные габбро. Проницаемость горизонта невысокая, сток направлен в сторону реки. Трещинные воды в коренных породах на глубину зондирования (более 100 м) не обнаружены. Вероятно, поверхностный сток на территории участка играет более значимую роль, чем подземный. Косвенным подтверждением этому является действующая в настоящее время на руднике система перехвата кислотных стоков в виде сети неглубоких канав, вода из которых направляется в зумпф для последующей откачки.

Березовское рудное поле

Березовское месторождение золота открыто в XVIII в. и разрабатывается с 1745 г. Рудное поле находится в пределах Урало-Тобольского антиклинория, сложено вулканогенно-осадочными породами и ограничено субмеридиональными разломами и крупными интрузиями разного состава. Породы прорваны многочисленными субмеридиональными дайками плагио-порфиоров, гранитпорфиоров и лампрофиоров. На территории рудного поля известно более 350 даек, протяженность некоторых достигает 20 км, мощность от 2 до 40 м (в среднем 10–20 м). К поперечным трещинам разрыва в дайках приурочены крутопадающие кварцевые «лестничные» жилы с золото-сульфидной минерализацией. Кроме «лестничных» на месторождении развиты однотипные по составу «красичные» жилы,

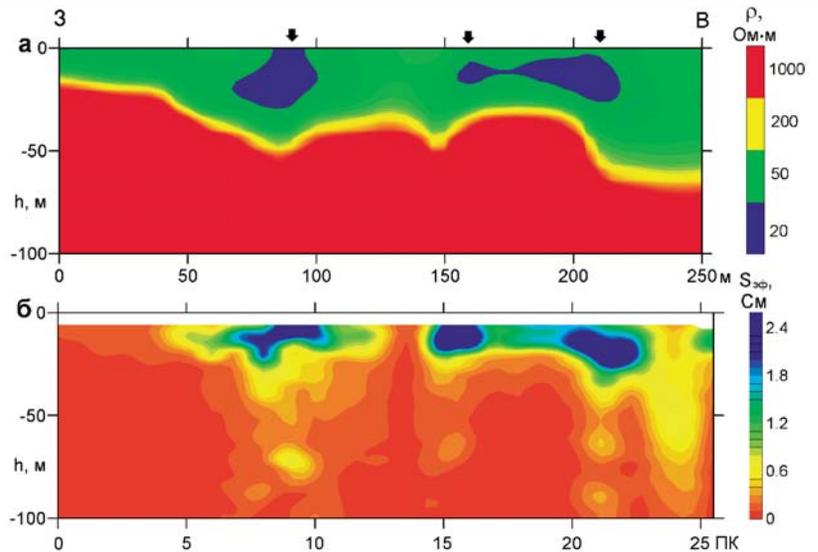


Рис. 3. Геофизические разрезы в районе старых подземных разработок (Березовское рудное поле, Средний Урал): а — геоэлектрический разрез, полученный в результате 2D-инверсии АМТЗ, б — разрез эффективной продольной проводимости $S_{\text{эф}}$. Стрелками показаны положения подземных выработок

которые выходят за пределы даек во вмещающие породы. Рудные жилы сложены крупнозернистым кварцем, карбонатом и сульфидами. Золото находится в самородной и тонкодисперсной форме (в сульфидах). Из сульфидов преобладающим минералом является пирит, далее следуют блеклые руды, галенит и халькопирит. Кварцевые жилы сопровождаются оторочками зон березитизации, которые также являются золотосносными [9]. В настоящее время месторождение разрабатывается подземным способом на глубоких горизонтах. Городская территория частично располагается над шахтным полем Березовского рудника. Точное местоположение старых горных выработок не всегда известно, поэтому по рекомендации Березовского рудоуправления в состав инженерно-геологических изысканий включают геофизические работы для выявления возможных пустот. Результаты по одному из профилей АМТЗ на подработанной территории представлены на рис. 3. По данным Березовского рудоуправления старые горные работы на участке велись на глубине 15–25 м, их плановое положение известно, поэтому не составило труда привязать их к профилю работ. Выработанное пространство довольно четко отмечается на 2D-разрезах АМТЗ низкоомными аномалиями (рис. 3а). Дело в том, что пустоты со временем затягиваются глинистым материалом и выделяются электроразведочными методами как проводящие зоны. Промышленные помехи на качественных разрезах эффективной продольной проводимости обычно проявляются в виде горизонтальных полос, однако после цифровой «гребенчатой» фильтрации полосы полностью исчезают (рис. 3б). Следует отметить, что аномалии от горных выработок на количественном геоэлектрическом разрезе (рис. 3а) и качественном разрезе эффективной продольной проводимости (рис. 3б) выглядят практически идентично, что еще раз подтверждает правильность полуколичественной интерпретации по эффективной электропроводности.

По существующим правилам при строительстве в районах, где находятся горные выработки и их выходы на поверхность, необходимо выполнять комплекс изыскательских работ по определению точного расположения пустот в выработанном пространстве на глубине до 80 м [10]. Из этого следует, что глубинность применяющихся геофизических методов для обнаружения выработок должна быть более 80 м. Для метода ВЭЗ это означает, что разности питающих электродов АВ должны составлять не менее 320 м, что в условиях городской застройки может оказаться проблематичным, даже не говоря о заземлении. Для сейсморазведки методом преломленных волн (МПВ) фланговый вынос пунктов возбуждения для данной глубины исследований должен быть не менее 200 м, что может привести к недостатку мощности традиционных источников сейсмических колебаний, используемых при инженерных изысканиях. Другие «глубинные» геофизические методы, к числу которых можно отнести и обычные АМТЗ, имеют ограниченное развитие и крайне редко применяются на урбанизированных территориях. Однако вариант аудиоманнитотеллурических экспресс зондирований со стелющейся электрической линией может послужить реальной альтернативой остальным методам обнаружения подземных пустот на больших глубинах.

Выводы

Электроразведочные работы экспрессным методом АМТЗ показали высокую эффективность при изучении инженерно-геологических условий рудных месторождений на различных стадиях освоения. Электромагнитные помехи техногенного происхождения, являющиеся основной проблемой при изучении естественных магнитотеллурических полей можно отфильтровать современными аппаратными и программными средствами. Сопоставление результатов аудиоманнитотеллурических зондирований с имею-

щейся геолого-геофизической информацией показало хорошую сходимость как в случае двумерной количественной инверсии АМТЗ, так и в случае одномерной полуколичественной интерпретации по эффективной проводимости.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект №15-2-5-31.

Автор выражает благодарность сотрудникам Института геофизики УрО РАН Горшкову В.Ю. и Маликову А.В. за полевые материалы по ВЭЗ, а также Климшину А.В. за предоставление инженерно-геологической информации по Волковскому руднику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин, В.В. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В. Авдонин, В.Е. Бойцов, В.М. Григорьев и др. — М.: Академический Проект, 2005. — 720 с.
2. Бобачев, А.А. Программа IPI2Win. Руководство пользователя / А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин — М.: МГУ, 2003. — 25 с.
3. Давыдов, В.А. Аудиоманнитотеллурическая съемка в движении / В.А. Давыдов // Геофизика. — 2014. — № 2. — С. 47–53.
4. Давыдов, В.А. Измерительная аппаратура ОМАР-2 для электромагнитных методов исследований / В.А. Давыдов // Уральский геофизический вестник. — 2015. — № 1 (25). — С. 37–41.
5. Давыдов, В.А. Эквивалентные схемы и основные характеристики различных датчиков электромагнитных сигналов в широкой полосе частот / В.А. Давыдов // Уральский геофизический вестник. — 2014. — № 1 (23). — С. 46–54.
6. Давыдов, В.А. Электроразведка методом радиокип в сверхдлинноволновой модификации с использованием радиостанций системы дальней навигации РСДН-20 («Альфа») / В.А. Давыдов // Инженерные изыскания. — 2014. — № 2. — С. 65–70.
7. Инструкция по электроразведке. — Л.: Недра, 1984. — 352 с.
8. Каминский, А.Е. Программа интерпретации магнитотеллурических зондирований ZondMT2d. Руководство пользователя / А.Е. Каминский. — СПб.: Zond Software, 2006. — 22 с.
9. Сазонов, В.Н. Месторождения золота Урала / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, В.А. Коротеев и др. — Екатеринбург: УГГА, 1999. — 570 с.
10. СНиП 2.01.09-91. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. — М.: Госстрой СССР, 1992.

© Давыдов В.А., 2016

Давыдов Вадим Анатольевич // davyde@yandex.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.24

Склянов В.И. (ЧОУ ДПО «Корпоративный университет «Норильский никель»)

АНАЛИЗ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА ВРАЩЕНИЕ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ, ОСНАЩЕННОЙ РОТОРНО-МУЛЬТИПЛИКАТОРНЫМ БУРОМ

Проведен сравнительный анализ затрат передаваемой мощности от бурового станка к породам забоя с использованием роторно-мультипликаторного бура и без него при высокооборотном алмазном бурении глубоких скважин. **Ключевые слова:** роторно-мультипликаторный бур, высокооборотное алмазное бурение, энергоёмкость, породоразрушающий инструмент.

Sklyanov V.I. (Corporate University «Norilsk Nickel»)

THE COST ANALYSIS FOR POWER DRILL STRING ROTATION, EQUIPPED WITH ROTOR MULTIPLIER BORER

*The comparative analysis conducted of the costs of the transmission power of the drilling rig to the bottom rocks with rotary drill bit multiplier and without it at high-diamond drilling of deep wells. **Key words:** rotary drill bit multiplier, the high speed diamond drilling, power consumption, rock-cutting tool.*

Энергоёмкость процесса бурения характеризует эффективность использования мощности, т.е. объем полезной работы, выполненной в течение определенного времени при данной мощности привода. Она является одним из критериев оценки целесообразности технологических и технических мероприятий, влияю-