

полостями. Третья стадия связана с интенсивным привнесом CO<sub>2</sub>, благодаря которой возникают индивиды карбонатов, и в конце образуются карбонатитовые линзы кальцит-доломитового состава с перекристаллизованными кристаллами рутила, титанита, флогопита, скаполита и альбита. Этой стадией завершились процессы эндогенного минералообразования.

Рассматриваемые силикатно-карбонатные породы близки гидротермальным карбонатитам. По геологическому положению, минеральному и химическому составу их можно отнести к кальцит-доломитовой стадии карбонатитов плутонического типа, выделяемых в работе [8].

#### Выводы

Метасоматические карбонатиты месторождения Черногорское имеют пространственную и, вероятно, генетическую связь с гарцбургитами, габброидами и нефелиновыми сиенитами. Они образуются путем замещения силикатных и других минералов карбонатами. Несмотря на замещение, в карбонатитах создавалась благоприятная среда для роста минералов крупного размера: скаполита, роговой обманки, титанита и рутила.

Образование карбонатитов является конечной стадией эндогенного процесса, проявленного в виде карбонатизации, которая интенсивно проявилась на площади месторождения. Минералы карбонатитов содержат повышенные и высокие количества редких и редкоземельных элементов. Это позволяет рассма-

тривать их как поисковый признак возможной рудной минерализации.

*Авторы выражают благодарность Л.А. Паутову за консультации и помощь в аналитических работах.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатов, Б.П. Тектоника Памира / Б.П. Бархатов. — Л.: ЛГУ, 1963. — 241 с.
2. Буданова, К.Т. Метаморфические формации Таджикистана / К.Т. Буданова. — Душанбе: Дониш, 1991. — 336 с.
3. Дюфур, М.С. Альпийский метаморфический комплекс восточной части Центрального Памира / М.С. Дюфур, В.А. Попова, Т.Н. Кривец. — Л.: ЛГУ, 1970. — 126 с.
4. Курилин, Е.Н. Скаполит месторождения Кукурт / Е.Н. Курилин // Геология, поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. — Душанбе, 1987. — С. 32–34.
5. Литвиненко, А.К. Со-Ni оруденение на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир / А.К. Литвиненко, Ш.А. Одинаев // Новые идеи в науках о Земле: XIV Международная науч.-практ. конф. — М., 2019. — Т. II. — С. 114–117.
6. Литвиненко, А.К. Минералы титана на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир / А.К. Литвиненко, Ш.А. Одинаев // Новые идеи в науках о Земле: XIV Международная науч.-практ. конф. — М., 2019. — Т. II. — С. 305–306.
7. Литвиненко, А.К. Первая находка содалита и нефелина на месторождении ювелирного скаполита Черногорское (Центральный Памир) / А.К. Литвиненко, Ш.А. Одинаев, Ф.А. Малахов // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 7. — С. 17–22.
8. Фролов, А.А. Карбонатитовые месторождения России / А.А. Фролов, А.В. Толстов, С.В. Белов. — М.: НИИ-Природа, 2003. — 493 с.

© Коллектив авторов, 2020

Одинаев Шарифджон Ахтамжонович // sharif.geolog@mail.ru  
Литвиненко Андрей Кимович // ak11954@yandex.ru  
Федоров Андрей Валериевич // valerich63@mail.ru  
Авезов Мирали Нуралиевич // mirak@mail.ru  
Ятимов Умед Абдурозикович // umed1990@list.ru

## ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

Давыдов В.А., Байдиков С.В., Горшков В.Ю. (Институт геофизики УрО РАН им. Ю.П. Булашевича, г. Екатеринбург)

### ДИСТАНЦИОННЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ ЗОНДИРОВАНИЯ С ИЗУЧЕНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЧАСТОТНОГО ЭФФЕКТА НА РУДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассматриваются результаты научно-исследовательских работ по изучению частотной дисперсии электрического сопротивления в рудных районах Среднего Урала при проведении индукционных зондирований. Приведено описание методики полевых наблюдений и основных принципов обработки данных. Дается общее представление о геологической обстановке на участках работ и краткая характеристика обследуемых рудных месторождений. **Ключевые слова:** вызванная поляризация, частотная дисперсия сопротивления, индукция, рудные месторождения.

Davydov V.A., Baydikov S.V., Gorshkov V.Yu. (Institute of Geophysics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg)

### REMOTE INDUCTION SOUNDINGS WITH THE STUDY OF THE POLARIZATION-FREQUENCY EFFECT ON ORE OBJECTS

*The results of researches of frequency dispersion of electrical resistivity during induction soundings in ore districts of the Middle Urals are considered. The methodology of field observations and the basic principles of data processing are described. General idea of the geological situation at the work sites and a brief description of investigated ore deposits are given. **Keywords:** Induced polarization, frequency dispersion of resistivity, induction, ore deposits.*

#### Введение

Электрические свойства горных пород на переменном токе могут изменяться в зависимости от частоты. Этот эффект, названный частотной дисперсией (ЧД), возникает вследствие поляризуемости среды, и является эквивалентом процесса вызванной

поляризации (ВП) во временной области. Единство природы эффектов ЧД и ВП выявлено экспериментально [15] и подтверждено теоретически [11]. При изучении частотной дисперсии электропроводности установлено, что наиболее сильно зависимость сопротивления от частоты проявляется в породах, содержащих рудную минерализацию. Дисперсия электрических свойств вкрапленных руд при протекании переменного тока связана с процессом перезарядки двойных электрических слоев, существующих на поверхности рудных включений. Удельное электрическое сопротивление среды становится комплексным и изменяется с частотой в зависимости от содержания электропроводящих минералов [10]. К настоящему времени выявлено несколько типов поляризации, возникающих при прохождении тока, и отличающихся временем релаксации. Их можно разделить за счет разной реакции по наблюдениям электрических и магнитных составляющих поля [14]. При этом можно использовать и различные виды возбуждения электромагнитных полей: электрические линии и магнитные диполи. Опытные работы с применением вертикальных магнитных диполей (ВМД) в качестве источника и приемника гармонических сигналов для изучения поляризационных эффектов уже проводились нами ранее в варианте профилирования [3]. Целью представленной работы является изучение высокочастотной дисперсии сопротивлений при индукционных зондированиях различных рудных объектов. Выяснение характера поведения частотной дисперсии направлено на нахождение дополнительного геофизического параметра, позволяющего классифицировать породы по физическим свойствам и выявлять аномалии геологического разреза.

#### Методики наблюдений и обработки данных

Дистанционные индукционные зондирования (ДИЗ) выполнялись аппаратурой МЧЗ-8 (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург) [1] в режиме двухчастотных наблюдений по отработанной ранее методике работ. Возбуждающее электромагнитное поле генерировалось вертикальным магнитным диполем, измерялись две ортогональные составляющие переменного магнитного поля — вертикальная  $H_z$  и радиальная  $H_r$ . Рабочие частоты ( $f$ ), отличающиеся друг от друга в 4–8 раз, находились в диапазоне от 5 до 40 кГц. Точки зондирования располагались по профилю через 10–20 м, при этом приемник оставался на месте, а генератор последовательно относился на расстояние ( $r$ ) от 5 до 100 м по линии профиля с переменным шагом. Кажущееся сопротивление (КС) рассчитывалось по формуле для низкочастотной асимптотики [2]:

$$\rho_k = 2D \cdot f \cdot r^2 \cdot |H_z| / |H_r|,$$

где:  $D$  — нормирующий коэффициент, зависящий от волнового параметра поля. Разнос  $r$  в формуле выражен в километрах, а частота  $f$  — в герцах.

При значении волнового параметра  $P = |k|r < 1$  выполняется условие ближней зоны и нормирующий коэффициент  $D \approx 1$ . Область средних параметров  $1 < P < 10$  характеризует промежуточную зону, где  $D$  находится из зависимости отношений  $|H_z| / |H_r|$  для ВМД от величины  $\rho/r^2 \cdot f$  в однородном полупространстве. Главным критерием выбора рабочих частот является соблюдение условия  $P < 2.5$  при максимальных разностях на верхней частоте исследований. Это требование выполняется при  $|H_z| > |H_r|$ , в противном случае результаты измерений бракуются, поскольку существенно искажены влиянием скин-эффекта.

Основной интересующий электрометрический параметр — это частотная дисперсия, связанная с поляризацией среды. Она характеризует разницу в удельном электрическом сопротивлении (УЭС) на разных частотах. Ранее при работе с низкочастотными ВМД была предложена формула для определения коэффициента частотной дисперсии (КЧД) с логарифмической нормализацией значений [12]. Проведенные нами исследования дисперсии кажущихся сопротивлений на высокочастотных индуктивных установках выявили логнормальную частотную зависимость для основных горных пород [5]. Таким образом, исходная формула для КЧД или поляризационно-частотного эффекта была модифицирована с учетом корреляционных зависимостей к следующему виду:

$$K_f = \lg(\rho_1 / \rho_2) / \ln(f_2 / f_1) + \delta_m,$$

где:  $\rho_1$  — удельное электрическое сопротивление на нижней частоте;

$\rho_2$  — УЭС на верхней частоте;

$f_1$  — нижняя частота;

$f_2$  — верхняя частота;

$\delta_m$  — поправка за магнитную индукцию.

Поправка  $\delta_m$  зависит от уровня геологических и техногенных помех и определяется эмпирически, исходя из выбранных рабочих частот и характера геоэлектрического разреза. Данные индукционных зондирований по специальному алгоритму трансформировались в исходный файл для программы Res-2Dinv (Geotomo Software, Малайзия) и подвергались двумерной (2D) инверсии [4]. Результаты дистанционных индукционных зондирований с изучением частотной дисперсии (ДИЗ-ЧД) представлены в виде двумерных разрезов УЭС и поляризационно-частотного эффекта.

#### Результаты работ

##### Дегтярский рудник

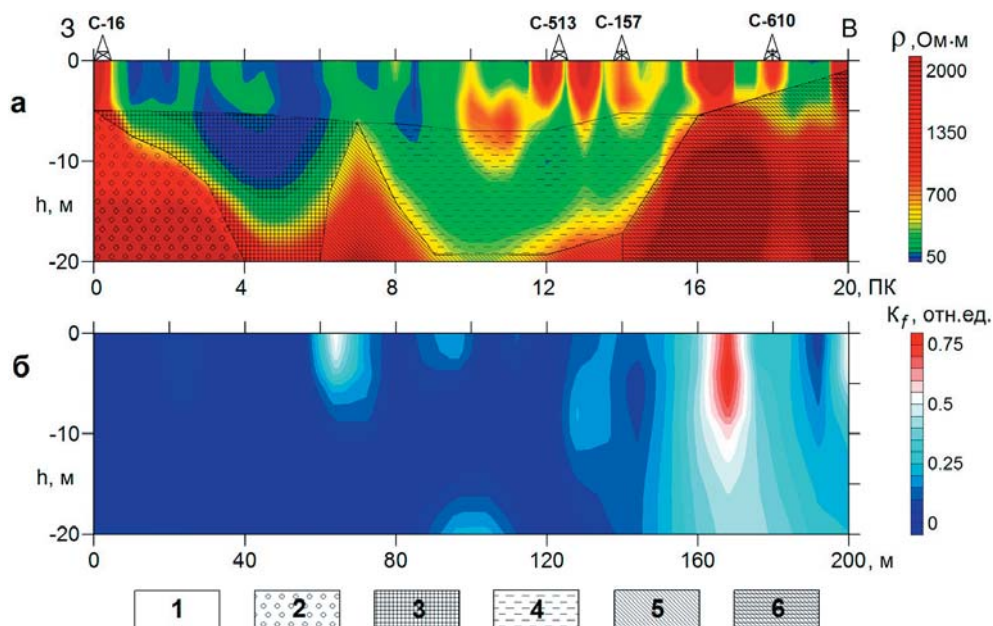
Дегтярское медноколчеданное месторождение находится приблизительно в 40 км к западу от г. Екатеринбург. Месторождение расположено в наиболее суженной части Тагило-Магнитогорского прогиба и представлено сульфидными рудами, залегающими висячем боку регионального Серовско-Маукского (Дегтярского) разлома в вулканогенно-осадочных породах дегтярской свиты. С запада залежь контактирует с туфопесчаниками, на востоке — с кварц-сери-

цитовыми и кварц-хлорит-серицитовыми сланцами, насыщенными вкрапленностью пирита. Вмещающие породы имеют ритмичное строение, а геохимическая и рудная зональность свидетельствует о запрокинутости толщи на запад. Область оруденения образует моноклиналиную структуру, ограниченную с запада серпентинитовым меланжем, с востока — габбро и плагиогранитами Новоалексеевского массива. Рудное тело осложнено раздувами, изгибами и смещениями, его длина составляет около 5 км, при средней мощности в 11 м. Простираение тела субмеридианальное, согласное со сланцеватостью вмещающих пород, падение восточное под углом 55–90°. Колчеданные руды месторождения двух основных типов — массивные и вкрапленные. К главным рудным минералам относятся пирит, халькопирит и сфалерит. Выход руд на дневную поверхность представлен лимонитами зоны окисления или «железной шляпы». Она обычно прикрыта делювиальными отложениями мощностью в несколько метров. Вертикальная мощность самой «железной шляпы» составляет 10–20 м, в центральной части месторождения до 25 м. Ниже залегает слой пиритной сыпучки (3–5 м), постепенно переходящий в плотный колчедан [8]. Эксплуатация Дегтярского рудника на медь и серу велась с 1914 по 1995 г. Основной объем запасов колчеданной руды отработан подземным способом на глубину до 610 м, на северном фланге велись открытые разработки в карьере. После закрытия шахт «железная шляпа» центральной части месторождения была выработана с поверхности на золото.

Исследовательский профиль прошел по южному склону горы Лабаз (Караульной). Его начало располагается в 300 м восточнее шахты Капитальная-2 и приблизительно на таком же расстоянии к югу от края карьера, где отработывалась «железная шляпа» Дегтярского месторождения. Местность затронута старыми горными работами с поверхности, провалы подземных выработок по линии профиля не наблюдаются. Разметка профиля проведена в субширотном направлении вкрест простираения основных геологических структур. Особенности геоэлектрического строения объекта обусловлены различием УЭС пород и руд, обводненностью, тектоникой и горной подработкой. Вмещающие породы представлены: туфопесчаниками (ПК0–ПК4), серицитовыми (ПК5–ПК14) и хлорит-

серицитовыми (ПК14–ПК20) сланцами. «Железная шляпа» над рудой имеет сопротивление порядка 50–100 Ом·м. Поверхностные отложения, содержащие глину, отличаются самыми низкими значениями удельных сопротивлений (12–25 Ом·м), соизмеримыми с сопротивлениями рудного тела (5–30 Ом·м). При увеличении песчано-щебенистой фракции сопротивления рыхлых пород повышаются до 100–200 Ом·м и выше. Коренные породы имеют значительно более высокие электрические сопротивления. Так, туфопесчаники характеризуются УЭС в 500–800 Ом·м, а сопротивления серицитовых сланцев изменяются в пределах 300–700 Ом·м. Самыми высокими значениями УЭС отличаются хлорит-серицитовые сланцы (1000–3000 Ом·м) (рис. 1а).

Рыхлые образования представляют собой смесь природных и техногенных грунтов разного состава и фракции, отличающихся широким разбросом УЭС: от 12 до 1000 Ом·м. Тем не менее, на геоэлектрическом разрезе можно четко выделить поверхность коренных пород, не затронутых горными работами. По характеру поведения КЧД можно сделать вывод, что в рыхлых породах поляризационно-частотный эффект на используемых частотах (10–40 кГц) проявляется незначительно ( $K_f = 0–0.15$ ) (рис. 1б). В «железной шляпе» и туфопесчаниках он практически отсутствует ( $K_f < 0.03$ ). Область развития серицитовых сланцев затронута поверхностно, поэтому давать по ним заключение некорректно. А вот хлорит-серицитовые сланцы обладают довольно значительной частотной дисперсией ( $K_f = 0.2–0.8$ ). Это вполне можно объяснить с точки зрения присутствия электронно-прово-



**Рис. 1. Результаты дистанционных индукционных зондирований с изучением частотной дисперсии (ДИЗ-ЧД) на параметрическом профиле Дегтярского месторождения:** а) двумерный (2D) геоэлектрический разрез; б) коэффициент частотной дисперсии (поляризационно-частотный эффект): С — номер скважины; 1 — рыхлые отложения; 2 — туфопесчаники; 3 — «железная шляпа»; 4 — техногенный грунт; 5 — серицитовые сланцы; 6 — хлорит-серицитовые сланцы

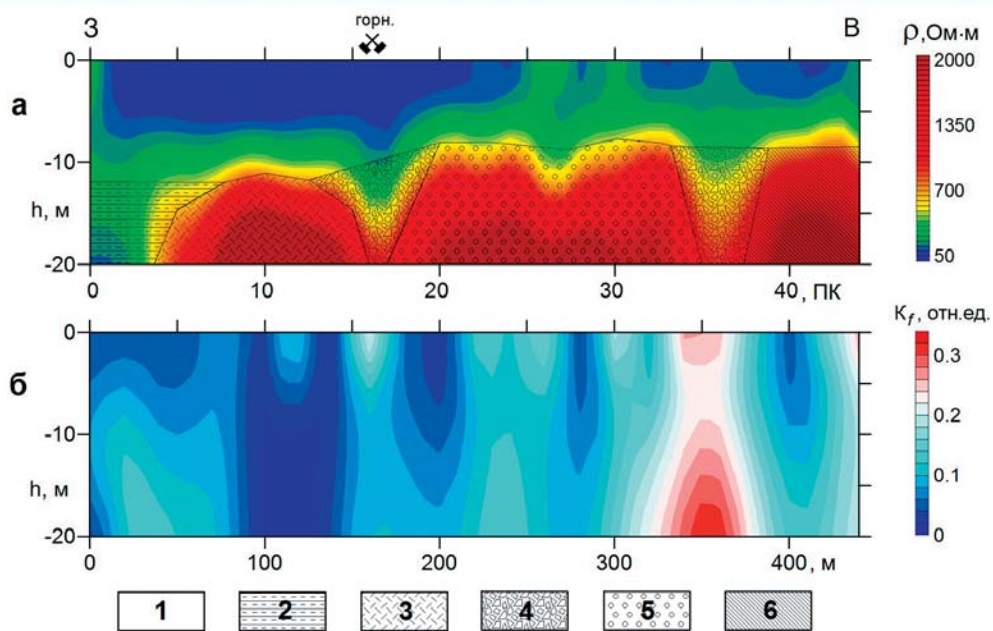
дящих минералов, таких как магнетит и сульфиды. Так, в базальтах рудные минералы отсутствуют, а в «железной шляпе» они окислены до лимонитов, поэтому не поляризуются. Разброс значений КЧД в рыхлых отложениях связан с присутствием неразрушенных обломков коренных пород с вкрапленной сульфидной минерализацией. А высокий уровень поляризационно-частотного эффекта в хлорит-серицитовых сланцах вызван значительной вкрапленностью в них акцессорного пирита.

### Волчихинский участок

Участок работ находится в 6 км севернее Дегтярского месторождения в сходных условиях. Он также приурочен к зоне полимиктового меланжа Серовско-Маукского разлома, разделяющего вулканогенные породы полевской и дегтярской свит. Исследовательский профиль начинается в долине р. Ельчевка, текущей по ослабленной зоне разлома и идет на восток вкострест простирания уральских структур. Основная часть профиля сложена базальтами и туфопесчаниками дегтярской свиты, вмещающими колчеданное медно-цинковое и полиметаллическое оруденение. На прилегающей территории обнаружен целый ряд старых горных выработок, пройденных в меридианальном направлении. К зоне тектонического контакта Тагильской и Восточно-Уральской мегазон также тяготеет силикатно-никелевое оруденение, связанное с серпентинитами Серовско-Маукского пояса, контактирующими с мраморизованными известняками. Данный тип оруденения локализуется в карстовых полостях верхней части карбонатной толщи. Поблизости известны Ельчевские рудопроявления контактово-карстового типа, а в двух километрах к северу расположено Петровское никель-кобальтовое месторождение [9].

На Волчихинском участке были проведены комплексные геолого-геофизические работы по выявлению перспективной рудной минерализации различного генезиса. Результаты бурения и электромагнитных зондирований показали, что толщина коры выветривания коренных пород участка составляет около 10 м, в долине реки мощность рыхлых отложений может увеличиваться до 20 м и более (рис. 2).

Начало профиля в долине реки характеризуется увеличенной мощностью рыхлых отложений. Аномальное поведение геоэлектрического разреза, проявляющееся в «воронке» пониженных сопротивлений в районе горных выработок, соответствует восточной

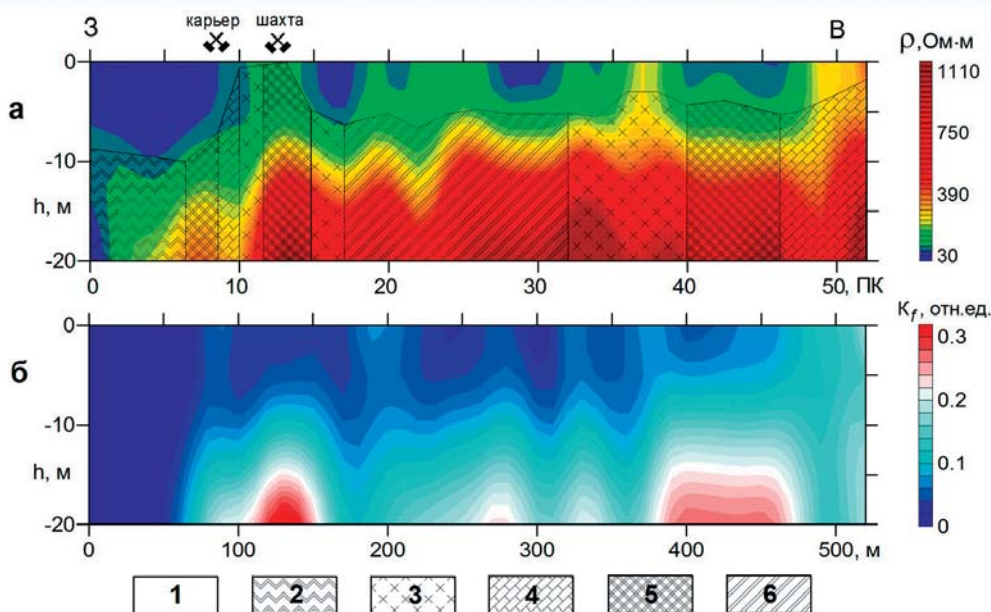


**Рис. 2. Результаты ДИЗ-ЧД по исследовательскому профилю Волчихинского участка:** а) геоэлектрический 2D-разрез; б) коэффициент частотной дисперсии: горн. — горные выработки; 1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — аллювиальные отложения; 3 — серпентиниты; 4 — тектонические зоны; 5 — базальты; 6 — сланцы

границе Серовско-Маукского разлома. В то же время, область серпентинитового меланжа отмечается очень слабой поляризацией по линии профиля ( $K_f < 0.1$ ). Старые выработки находятся в стороне от профиля на значительном расстоянии друг от друга, что может свидетельствовать о локальном (гнездовом) характере оруденения. Подобное понижение электрического сопротивления, характерное для оперяющей тектоники, отмечается в пределах дегтярской свиты на пикете ПК35. Кроме того, здесь же наблюдается значимая аномалия коэффициента частотной дисперсии ( $K_f > 0.3$  отн. ед.). Учитывая приуроченность сульфидной минерализации к зонам тектонических нарушений и присутствие аномалии КЧД, можно спрогнозировать перспективность локального оруденения в интервале ПК32-ПК38.

### Шиловское месторождение

Шиловское медно-скарновое месторождение расположено в 25 км к западу от г. Екатеринбург. Месторождение локализуется в юго-восточном экзоконтакте Верх-Исетского массива гранитоидов. На его периферии находится небольшая Решетнинская интрузия более основного состава (от диоритов до габбро). Здесь на контакте с мраморизованными известняками сформировались скарны гранатового и гранат-пироксенового состава с магнетитом и наложенной медно-сульфидной минерализацией. Рудная минерализация фиксируется в тектонических нарушениях, локализуясь в скарнах, габбро, диоритах и кварц-серицитовых метасоматитах. Редкая вкрапленность сульфидов меди развита и в известняках. Руды представлены халькопиритом, борнитом, халькозинном, магнетитом, пиритом и сфалеритом. Для месторождения характерна повышенная золотоносность



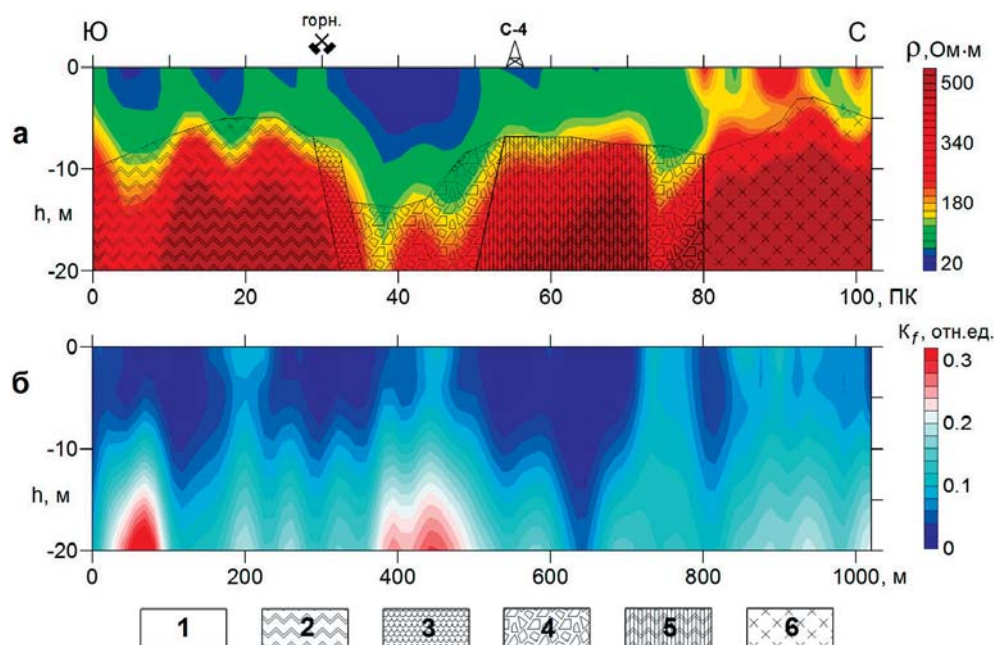
**Рис. 3. Результаты ДИЗ-ЧД по исследовательскому профилю Шиловского месторождения:** а) геоэлектрический 2D-разрез; б) коэффициент частотной дисперсии: 1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — габбро; 3 — диориты; 4 — известняки; 5 — скарны; 6 — метасоматиты с магнетитом

руд, участками до промышленной. Шиловская рудная ассоциация близка к другим медно-магнетитовым месторождениям Среднего Урала (Волковское, Ауэрбаховская группа) [13].

Мощность рыхлых отложений на участке варьирует от нуля до 10 м, в районе карьера коренные породы выходят на поверхность. Удельные электрические сопротивления элювиально-делювиальных суглинков и супесей составляют 30–80 Ом·м, при малых значениях коэффициента частотной дисперсии ( $K_f < 0.1$  отн. ед.) (рис. 3).

Сопротивления трещиноватых коренных пород в кровле основания разреза варьируются в пределах 100–300 Ом·м, УЭС прочных монолитных пород составляет 400–1200 Ом·м. По электропроводности коренные породы не расчленяются, однако район старых горных работ (ПК8-ПК15) четко выделяется положительной аномалией поляризации-частотного эффекта ( $K_f > 0.3$  отн. ед.). Это дает основание предполагать, что аномалия КЧД до 0.25 относительных единиц в интервале ПК38-ПК46 также связана с рудоносной минерализацией. Данная аномалия располагается

урочено к кварцевым жилам, образованным за счет гидротермальной проработки трещин, оперяющихся разломом. Наиболее перспективный южный участок месторождения обрабатывался до Второй мировой войны. На нем были пройдены 4 шахты и ряд шурфов, некоторые горные выработки и разведочные канавы сохранились до сих пор. Кварцевые жилы месторождения залегают в габбро и гранитах, некоторые жилы выходят из гранитов в габбро. Более рас-



**Рис. 4. Результаты ДИЗ-ЧД по контрольному профилю Сverdловского месторождения:** а) геоэлектрический 2D-разрез; б) коэффициент частотной дисперсии: горн. — горные выработки; С — номер скважины; 1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — габбро; 3 — серия кварцевых жил; 4 — зона дробления; 5 — зона смятия; 6 — граниты

в сходных геологических условиях, но на удалении более 300 м от группы старых выработок. При этом здесь нет коренных обнажений в отличие от старорудного участка, которое способствовало бы обнаружению руды в демидовские времена. Можно считать, что по результатам геофизических работ на данной территории остаются перспективы нахождения «слепого» рудопроявления или малого месторождения.

### **Сverdловское месторождение**

Сverdловское месторождение расположено в зоне тектонического контакта Верх-Исетского гранитного массива с Ширококоренским массивом габбро. Золотое оруденение при-

пространенными являются жилы северо-восточного простирания, мощностью более метра. Среднее содержание золота в кварце при обработке составляло 10–12 г/т, в штуфных пробах концентрация доходила до 23 г/т [8]. Околорудные метасоматиты представлены апогранитными березитами и апогаббровыми лиственитами. Зона дробления разлома контролируется серпентинизацией и милонитизацией, в при-мыкающей области широко развита лимонитизация. Вся площадь месторождения перекрыта слоем рыхлых отложений, состоящих из элювиально-делювиальных суглинков мощностью от 2 до 15 м.

Территория Свердловского месторождения давно служит геофизическим полигоном для проведения опытно-методических работ по опробованию новых технологий и тестирования полевой аппаратуры. На участке пробурено четыре скважины, а в пределах полигона размечен контрольный параметрический профиль. Профиль пересекает область тектонического контакта габбро и гранитов, включая зону околорудных изменений и отработанную кварцевую жилу.

Данные дистанционных индукционных зондирований неплохо согласуются с имеющейся геологической информацией и результатами других геофизических методов, выполненных на параметрическом профиле (рис. 4).

На разрезе ДИЗ довольно четко выделяются поверхность коренных пород и зоны тектонических нарушений. Области развития габбро и гранитов резко отличаются сопротивлениями поверхностных отложений. Таким образом, с помощью индукционных зондирований можно определить основные элементы геологического строения на данной территории. Характер частотной дисперсии в целом не отличается от уже рассмотренных примеров: рыхлые отложения имеют минимальные значения  $K_f = 0-0.1$ ; поляризационно-частотный эффект в коренных породах имеет повышенный уровень ( $K_f = 0.1-0.2$ ). Максимальные значения КЧД ( $K_f > 0.25$  отн. ед.) приурочены к основной зоне разлома (ПК38-ПК50) и участку рудной вкрапленности в габбро (ПК2-ПК8). В обоих случаях аномалии частотной дисперсии связаны с повышенной концентрацией магнетита, что подтверждается наличием магнитных аномалий [6]. Содержание сульфидов в кварцевых жилах незначительно, кроме того, они частично окислены. Видимо, поэтому жилы не выделяются по поляризации от вмещающих горных пород.

#### Выводы

Проведенные в рудных районах дистанционные индукционные зондирования с изучением частотной дисперсии сопротивления на высоких частотах (5–40 кГц) показали, что основные аномалии поляризационно-частотного эффекта связаны с вкрапленностью сульфидных минералов и магнетита. Таким образом, частотная дисперсия, измеряемая с помощью высокочастотных индукционных установок, близка эффекту вызванной поляризации для низкочастотных гальва-

нических установок. Наиболее низкими значениями коэффициента частотной дисперсии обладают рыхлые отложения ( $K_f < 0.1$ ), в коренных породах средний уровень обычно повышается до 0.1–0.2 относительных единиц, хотя существуют и исключения. В зонах тектонических нарушений КЧД может возрастать до 0.2–0.3, а максимальные значения поляризационно-частотного эффекта наблюдаются во вкрапленных рудах ( $K_f > 0.3$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Байдилов, С.В. Аппаратура для высокочастотных индукционных зондирований МЧЗ-8 / С.В. Байдилов, А.И. Человечков // Екатеринбург: Уральский Геофизический Вестник. — 2011. — № 1. — С. 4–8.
2. Вешев, А.В. Временное руководство по методу электромагнитного зондирования с вертикальным магнитным диполем / А.В. Вешев, Е.Ф. Любцева, В.М. Леончиков. — Л.: ЛГУ, 1978. — 55 с.
3. Давыдов, В.А. Исследование эффекта частотной дисперсии на ультраосновных хромитоносных массивах Урала / В.А. Давыдов // Уральский геофизический вестник. — 2017. — № 2. — С. 47–55.
4. Давыдов, В.А. Двухмерная инверсия дистанционных индукционных зондирований / В.А. Давыдов // Вопросы естествознания. — 2018. — № 1 (15). — С. 62–69.
5. Давыдов, В.А. Изучение поляризационных эффектов индукционными методами электроразведки на примере Чусовского месторождения / В.А. Давыдов, С.В. Байдилов, П.Ф. Астафьев // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 8. — С. 39–44.
6. Давыдов, В.А. Результаты комплексных геофизических исследований на полигоне месторождения «Свердловское» / В.А. Давыдов, С.В. Байдилов, В.Ю. Горшков, А.В. Маликов, О.И. Федорова, П.Ф. Астафьев // Изв. вузов. Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 112–118.
7. Иванов, А.А. Геология коренных месторождений золота на Урале / А.А. Иванов // Тр. Горно-геол. ин-та УФ АН СССР. — 1948. — № 16. — С. 45–52.
8. Иванов, С.Н. Дегтярское колчеданное месторождение / С.Н. Иванов, М.И. Меркулов. — М.–Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. — 124 с.
9. Калугина, Р.Д. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Изд. второе. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV. Объяснительная записка / Р.Д. Калугина, В.Ф. Копанев, Е.В. Стороженко и др. — М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. — 156 с.
10. Кормильцев, В.В. Вызванная поляризация моделей и образцов горных пород на переменном токе / В.В. Кормильцев // Фазовые и амплитудные измерения вызванной поляризации на рудных месторождениях. Сб. статей. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. — С. 23–34.
11. Кормильцев, В.В. Электроразведка в поляризующихся средах / В.В. Кормильцев, А.Н. Мезенцев. — Свердловск: УрО АН СССР, 1989. — 128 с.
12. Патент RU2156986C2. Индуктивный способ электромагнитного мониторинга процесса оттайки грунта / В.С. Титлинов, А.И. Человечков, П.Ф. Астафьев, В.С. Вишнев. Дата приоритета 10.10.1997.
13. Сазонов, В.Н. Золотооруденение Екатеринбургского геологического полигона / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, Ю.А. Поленов, С.Г. Суставов, В.В. Григорьев. — Екатеринбург: Изд. УГГА, 1997. — 226 с.
14. Светов, Б.С. О связи феноменологического описания вызванной поляризации среды с происходящими в ней физическими процессами. Постановка вопроса / Б.С. Светов, В.В. Агеев, О.А. Агеева, С.Д. Каринский // Геофизика. — 2011. — № 4. — С. 25–29.
15. Улитин, Р.В. О частотной дисперсии электрического сопротивления и поляризуемости горных пород / Р.В. Улитин, Г.В. Астраханцев // Электротриметрия при поисках сульфидных месторождений. Сб. № 8. — Свердловск: УФАИ СССР, 1968. — С. 49–54.

© Давыдов В.А., Байдилов С.В., Горшков В.Ю., 2020

Давыдов Вадим Анатольевич // davyde@yandex.ru  
Байдилов Сергей Владимирович // badikek@mail.ru  
Горшков Виталий Юрьевич // vitalaa@yandex.ru