

УДК 553.411:552(571.56+571.65)

ПЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЯДА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯНО-КОЛЫМСКОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОЯСА

В. М. Шарафутдинов, И. М. Хасанов

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: seismolog@neisri.ru*

На основе лабораторных замеров электрических свойств 247 образцов из 66 точек отбора и 6 скважин, по профилям общей протяженностью 38 км, на территории Омчакского рудного узла и его обрамления установлено зональное распределение петроэлектрических параметров в градации «вмещающие» – «рудный узел» – «рудное поле» – «рудное тело». Выполнены профильные геоэлектрические исследования на золоторудных месторождениях Бутарное, Светлое, Дорожное, Дегдекан, Наталка в общем объеме 1897 физических точек. На основе интерпретации полученных материалов выявлены общие закономерности электрических параметров окружающей золоторудные месторождения геологической среды в зависимости от типа вмещающих их пород; впервые на территории Яно-Колымского металлогенического пояса для ряда золоторудных объектов установлены амплитудно-частотные характеристики вмещающих пород и руд месторождений золото-редкометалльной и золото-кварцевой формации. Выявлены их общие закономерности, характерные особенности и различия, зависящие от типа минерализации и геологических условий их формирования.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, вызванная поляризация, электрическое многочастотное профилирование, амплитудно-частотные характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время территория Северо-Востока с геологической точки зрения изучена достаточно детально, по крайней мере большинство крупных золоторудных объектов, выходящих на поверхность, обнаружено. Однако с точки зрения ряда исследователей рудный потенциал региона далеко не исчерпан, и в основном он связан с золоторудными телами, не выходящими на дневную поверхность. Поэтому резко возрастает роль дистанционных поисковых и разведочных методов, к основным из которых, несомненно, относятся геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. На стадии разведки и детализации рудных объектов из всех геофизических методов наиболее эффективны электроразведочные. Это обусловлено тем, что электрические свойства горных пород более дифференцированы и в большинстве случаев непосредственно связаны с минеральным составом горных пород. Таким образом, для Северо-Востока актуальна как разработка новых электроразведочных методов, так и адаптация возможностей уже известных к конкретным золоторудным объектам в различных геологических структурах территории.

Целью исследований, результаты которых изложены в данной статье, являлось изучение закономерностей распределения петроэлектрических параметров в системе «рудное тело» – «вмещающие породы» для месторождений золото-кварцевой и золото-редкометалльной формации, расположенных в различных геологических условиях и с различным морфологическим строением.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Лабораторные исследования

В результате лабораторных исследований проведены замеры электрических свойств 247 образцов из 66 точек отбора и 6 скважин, по профилям общей протяженностью 38 км, на территории Наталкинского рудного поля, северо-западного фланга Омчакского рудного узла и его обрамления, на глубину до 600 м (абсолютная отметка 350 м). Материалы замеров сведены в таблицу, где приведены: № п/п; полевой номер точки наблюдения (керн), количество замеренных образцов, минимальное, максимальное и среднее значение параметра (удельное электрическое сопротивление – УЭС, коэффициент анизотропии – $K_{ан}$), порода. В процессе исследований выполнили контрольные замеры, которые составили по объему 12,1% от общего числа замеров. Относительная

погрешность замеров сопротивления составила 6,26% при нормативной 5–10% (Физические..., 1984). Результаты петрофизических наблюдений обработаны программным комплексом спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД (Петров, Никитин, 1990) для выделения и уточнения зависимости петрофизических параметров (ПФП) между собой и рудной минерализацией.

На основе интерпретации результатов лабораторных исследований установлено, что обобщенные параметры УЭС и $K_{ан}$ всех исследованных образцов, систематизированных в последовательности «вмещающие» – «рудный узел» – «рудное поле» – «рудное тело», фиксируют зональное распределение электрических параметров. Более детально вопросы изучения электрических свойств (УЭС и $K_{ан}$) образцов горных пород и на основе их районирование Омчакского золоторудного узла по электрическим параметрам в указанной иерархической последовательности рассмотрены в работе (Хасанов, Шарафутдинов, 2009), в которой отмечено, что электрические параметры области, обладающей более высокой концентрацией рудной минерализации, резко меняются относительно вмещающей среды. Это видно на грациях «вмещающие породы» – «рудный узел», «рудное поле» – «рудное тело». Однако эти результаты петрофизических исследований были получены на образцах горных пород в лабораторных условиях и их желательно было подтвердить геофизическими исследованиями на реальных геологических объектах, а конкретно на золоторудных месторождениях в грациях «рудное поле» – «рудное тело». В качестве объектов исследований были выбраны золоторудные месторождения, находящиеся в различной геолого-структурной обстановке: Бутарное (Балыгычанское поднятие); Дорожное, Светлое (Иньяли-Дебинский синклиниорий); Дегдекан, Наталка (Аян-Юряхский антиклиниорий).

Геологическое описание объектов

Месторождение Бутарное приурочено к одноименному штоку гранитов площадью 4,6 км.

Гранитоиды штока Бутарный (басугуньинский комплекс) прорывают и метаморфизуют терригенные отложения триаса и юры. Все известные к настоящему времени рудные тела сосредоточены в пределах гранитоидного штока, характеризующегося относительной сложностью геологического строения, которая обусловлена многостадийностью его формирования и различной степенью проявленности гетерогенных процессов: катаклаза, метасоматоза, формирования кварцевых жил, сопровождающихся зонами березитизации различной мощности и интенсивности, и химического разложения в коре выветривания. Существует (по данным В. Н. Егорова, 2004 г.)

определенная корреляция между интенсивностью метасоматической переработки и мощностью зон кварцевого прожилкования. Рудные тела, преимущественно сульфидно-кварцевые жилы с золото-редкометалльной минерализацией, выделяются по опробованию и зачастую не имеют выраженных геологических границ. Минеральный состав жильных тел: главные – кварц, гидромусковит, полевой шпат, арсенопирит; второстепенные – биотит, гранат, пирит, сфалерит, антимонит, буланжерит, самородные золото и висмут; редкие – хлорит, рутил, циркон, анатаз, халькопирит, галенит, пирротин, висмутин, марказит, шеелит. Суммарное содержание рудных минералов обычно не превышает 3% (В. Н. Егоров, 2004 г.).

Месторождение Дорожное приурочено к восточной части массива Сылгытар, сложенной гранодиоритами колымского комплекса, заключающими ксенолиты и блоки (до 60 м в поперечнике) роговиков по отложениям верхнемяунджинской подсветы. Околорудные изменения представлены (Ф. И. Фидаров, 2005 г.) маломощными зонами грейзенизации и достаточно мощными зонами березитизации. Рудоносные кварцевые жилы составляют субпараллельную систему (мощностью 380 м) жил, полого (20–25°) падающую на северо-запад. Кроме кварца, в жилах распространены серицит, мусковит, карбонаты, альбит и хлорит (1–5%). Из рудных минералов (1–3%) в них присутствуют вкрапленность и гнезда (до 5–8 см) арсенопирита, галенита, пирита, иногда золота, халькопирита, сфалерита, магнетита, буланжерита, джемсонита, фрейбергита, диафорита, пираргирита и стефанита. Распределение золота крайне неравномерное. Маломощные (первые сантиметры) околосильные изменения гранодиоритов проявлены в березитизации с развитием новообразований (50–90%) серицита, мусковита, карбонатов, альбита, хлорита, пирита, пирротина и арсенопирита (В. И. Шалупенко и др., 1989 г.). Оруденение установлено в жилах № 1, 2, 3, 5, 6, «Буровая» и «Дорожная». Месторождение отнесено к золото-кварцевой формации. Вкрапленная сульфидная (пирротинная и пиритовая) минерализация отмечается в осадочных породах, где имеет площадное распространение, и в интрузивных породах в виде линз и линейных зон протяженностью десятки – первые сотни метров (Ф. И. Фидаров, 2005 г.).

Месторождение Светлое сложено рудовмещающей верхнемяунджинской подсветой (J_2mn_2) и перекрывающей ее алевролитовой пачкой светлинской свиты. Основу месторождения составляют система межпластовых жил, залегающих в рудоносной пачке флишоидного типа, и секущие жилы, являющиеся апофизами межпластовых. Рудные тела представляют собой цепь линзовидных кварцевых жил, чередующихся по простира-

нию с зонами прожилкования, смятия, дробления (В. И. Шалупенко и др., 1989 г.). Мощность жил колеблется от 0,1 до 2,0 м. По минеральному составу месторождение относится к золото-кварцевой малосульфидной формации. Промышленные запасы сосредоточены в жилах «Первая», «Мощная». Характер распространения оруденения крайне неравномерный, столбовой; участки богатого оруденения располагаются среди бедных руд. Основные жильные минералы: кварц (85–90%), альбит, хлорит, серицит, мусковит. Редкие: апатит, адуляр, барит. Гипергенные: гипс, лимонит. Основные рудные минералы: арсенопирит, пирит, галенит, золото. Горными выработками установлен контроль промышленного оруденения тектоническими нарушениями (В. И. Шалупенко и др., 1989 г.).

Месторождение Дегдекан расположено в бассейне одноименного ручья (левого притока р. Кулу), в пределах Аян-Юрхского антиклинория. В Дегдеканском рудном поле развиты терригенные морские глубоководные отложения позднепермского возраста (пионерская свита). Характерной особенностью вмещающих оруденение пород является их рассланцевание (кливаж), повышенное содержание углеродистого вещества. В границах рудного поля породы пиритизированы, количество пирита варьирует от сотых долей процента до 5–10% на объем породы. По классификации М. М. Константинова месторождение относится к золото-кварцевой формации. Основные типы рудных тел представлены жилами и жильными зонами, зонами (залежами) объемной прожилково-вкрапленной минерализации. Наиболее крупная приразломная зона прожилково-вкрапленной минерализации, развитая вблизи Дегдеканского рудоконтролирующего разлома, выделена на участке «Верный», где она объединяет несколько субпараллельных субширотных зон смятия, расланцевания, дробления вмещающих пород с многочисленностью рудных минералов (р. з. «Южная», «Северная» и «Диагональная»). Границы рудных тел (р. т.) проведены по данным опробования с учетом геолого-минералогических признаков (В. В. Абашин, 2004 г.).

Месторождение Наталка изучалось многими исследователями и описано в большом количестве работ. Детально оно охарактеризовано в монографии (Гончаров и др., 2002) и ряде других работ (Ворошин и др., 1989; Калинин, 1992; Горячев и др., 2000; Григоров, 2006; и др.). Месторождение расположено в зоне влияния крупного Тенькинского разлома северо-западного простирания. В строении рудного поля принимают участие монотонные пермские вулкано-терригенные породы мощностью более 2,5 км. Золоторудная минерализация контролируется продольными и диагональными по отношению к складкам тектоническими зонами, осложняющими юго-западное кры-

ло Наталкинской синклинали. В рудных зонах сульфидно-вкрапленное и линейно-штоковое оруденение преобладает над жильными. Особенность руд Наталкинского месторождения заключается в том, что количество кварцевых жил и прожилков составляет не более 5% от их массы. Основная же рудная масса – это сульфидно-вкрапленные руды во вмещающих, в разной степени измененных терригенных породах. Во вкрапленных сульфидах содержится 50–70% всего золота (Ворошин и др., 1989).

Аппаратурное и методическое обеспечение исследований

Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении полей, создаваемых вторичными электрическими зарядами (Хмелевской, 1970; Жданов, 1986). Эти заряды возникают в земле при пропускании через нее постоянного или низкочастотного (до 100 Гц) электрического тока.

Природа ВП различна, и нет единого механизма, который мог бы объяснить все электрические явления, связанные с накоплением зарядов под действием тока в геологической среде. ВП обусловлено (Комаров, 1980) следующими явлениями:

химической поляризацией на контакте между электролитом и минералами с электронным типом проводимости (колчеданные, железные руды, самородные металлы, антрацит и графит);

диффузионными процессами, которые развиваются вблизи поверхности рудного электронного проводника;

объемной поляризацией растворов, заполняющих поры «пустых» (нерудных) пород, и др.

Вызванная поляризация протекает наиболее интенсивно при наличии в среде электропроводящих минералов. Поэтому метод ВП является одним из основных методов рудной геофизики (Комаров, 1980). Причем, поскольку интенсивность аномалий ВП пропорциональна площади поверхности электронных проводников, метод позволяет диагностировать не только массивные, но и вкрапленные руды.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) ВП – достаточно тонкий инструмент, теоретически позволяющий определять тип минерала (минерализации), различать однотипную минерализацию (к примеру, пиритизацию) разных генераций.

Измерения проводили при помощи многофункциональной электроразведочной станции «Спектр-1», состоящей из генератора импульсов мощностью 100 Вт, создающего токи от 0,001 до 1 А, и измерителя, позволяющего регистрировать сигналы величиной от 1 мкВ до 3 В на выходе электрических и магнитных датчиков. Зарегистрированный сигнал после усиления, компенсации постоянной составляющей и фильтрации, подавляющей промышленные и другие виды помех, оциф-

ровывается и далее обрабатывается встроенным процессором под управлением специальной программы. В процессе обработки осуществляется статистическое ослабление помех, выполняется расчет через преобразование Фурье амплитуд гармоник и относительных фазовых параметров. Результаты обработки записываются в память прибора и выводятся на графический дисплей. Далее результаты обработки и исходные данные переносятся из памяти прибора на внешний компьютер для последующего углубленного анализа посредством специального программного обеспечения.

Исследования проводили по схеме электрического многочастотного профилирования трехэлектродной, гальванически заземленной установкой M5N10-5A – ∞ В, с шагом 10–20 м, что обеспечивает глубинность исследований 1–2 м и позволяет считать данные исследования параметрическими.

Основной особенностью примененной методики полевых исследований является многочастотность измерений на точке. Исследования проводили на частотах 0,3–0,6–1,22–2,44–4,88–9,9–19–39–78–156–312–625 Гц. Измерения выполняли на каждой частоте отдельно, что требовало значительного времени для регистрации сигнала. Однако в данном случае это компенсируется большим объемом получаемой информации и дает возможность построить АЧХ в значительном диапазоне частот, которые для золоторудных объектов территории Яно-Колымского металлогенического пояса были получены впервые.

Настоящие исследования по методу ВП осуществляли в частотной области. Измеряли разность потенциалов на приемном диполе и фазовый параметр (по разности фаз в измерительной (MN) и токовой (AB) линиях – с регистрацией фазы вызванной поляризации $\varphi_{ВП}$) на 5 гармониках, увеличивая, таким образом, диапазон частот исследований до 5625 Гц.

Обработка полевых данных включает в себя пересчет наблюдаемых значений разности потенциала между приемными электродами в кажущееся сопротивление. Понятие кажущегося удельного электрического сопротивления введено для удобства анализа и интерпретации наблюдаемого на земной поверхности электрического поля. Кажущееся удельное сопротивление ρ_k – это наблюдаемое электрическое поле, нормированное таким образом, чтобы в однородном полупространстве оно совпало с истинным удельным сопротивлением. Кажущееся сопротивление рассчитывается по формуле (Электроразведка, 1980. С. 27)

$$\rho_k = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}},$$

где K – геометрический коэффициент установки;

ΔU_{MN} – измеренная разность потенциалов между приемными электродами М и N; I_{AB} – ток в питающей линии.

Для трехэлектродной установки точечного зондирования $MNA \rightarrow \infty B$, используемой для производства наблюдений методом ВП, коэффициент установки вычисляется по формуле:

$$K = \frac{2\pi \cdot r_{AM} \cdot r_{AN}}{r_{MN}},$$

где r_{AM} , r_{AN} , r_{MN} – расстояния между соответствующими парами электродов установки.

Расчет ВП осуществляли по формуле, полученной экспериментальным путем на основе больших объемов полевых наблюдений, в импульсном режиме на задержке 0,5 с (Методические..., 1986. С. 15): $\eta_k (\%) = -2,8 \varphi_{ВП}$ (градусы).

В результате полевых исследований получены графики параметров кажущегося сопротивления, вызванной поляризации, а также кривые АЧХ пород, метасоматитов и руд исследуемых месторождений. Кривые АЧХ определены путем нормирования параметра сопротивления, измеренного на всем ряде частот к значению, полученному на самой низкой частоте, равной 0,31 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований

В процессе исследований ряда золоторудных месторождений юга Яно-Колымского металлогенического пояса (см. таблицу) были получены следующие результаты.

Бутарное. Геофизические исследования проведены по профилю, расположенному в центральной части месторождения с выходом во вмещающие породы.

Рудные сечения с вмещающими их березитами регистрируются повышенными более 4% (до 11%) значениями ВП (рис. 1.1, б, ПК 21–37).

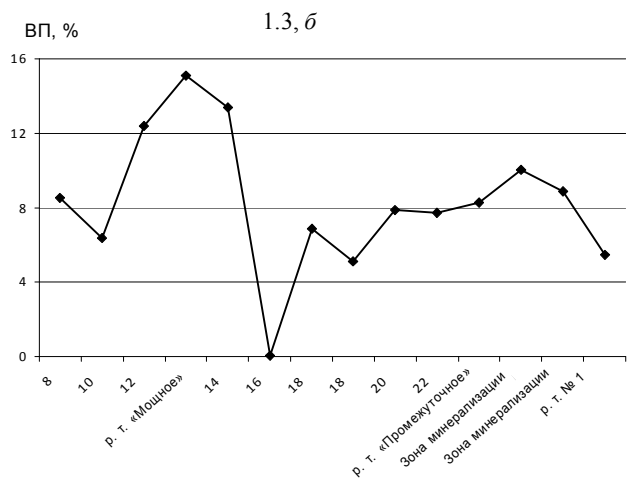
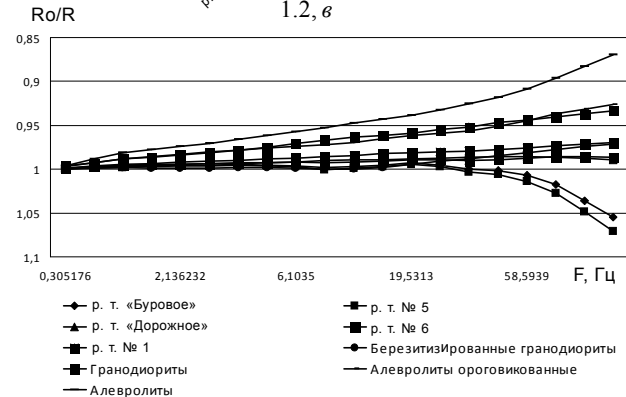
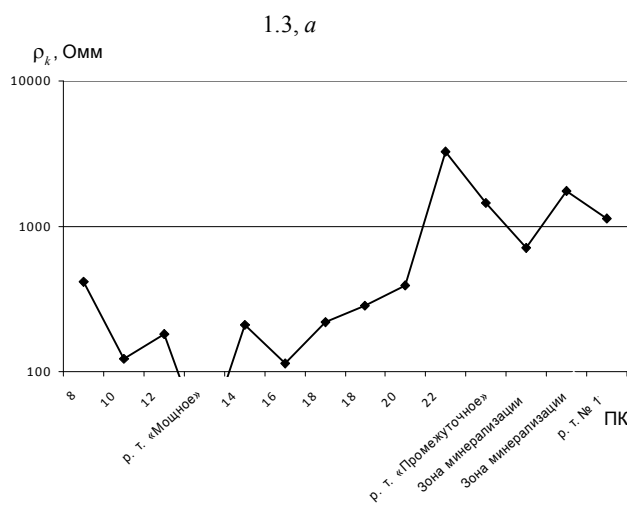
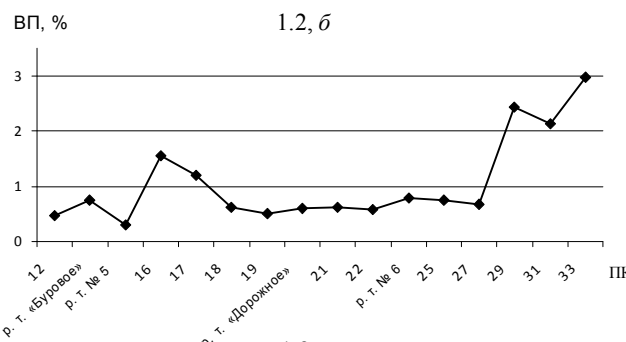
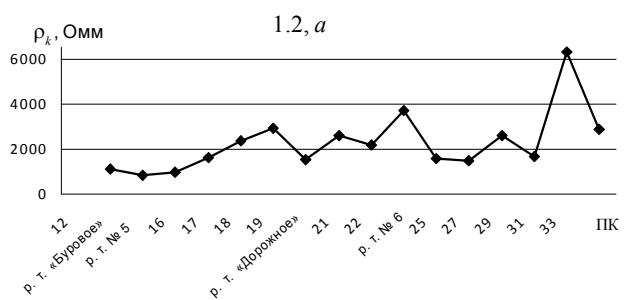
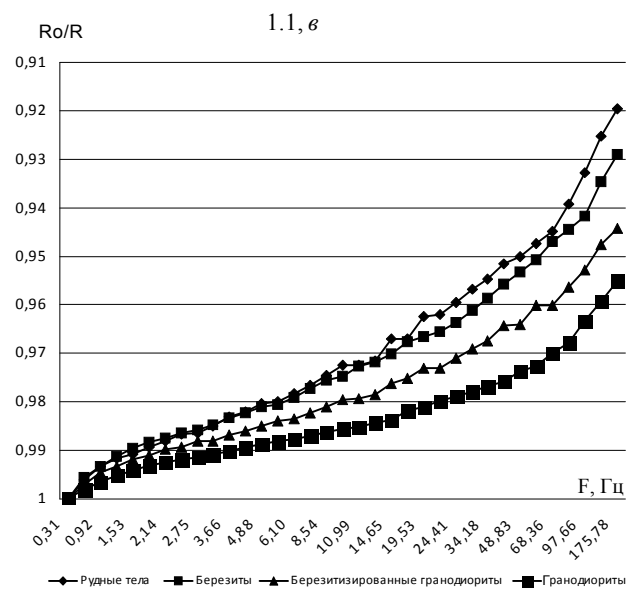
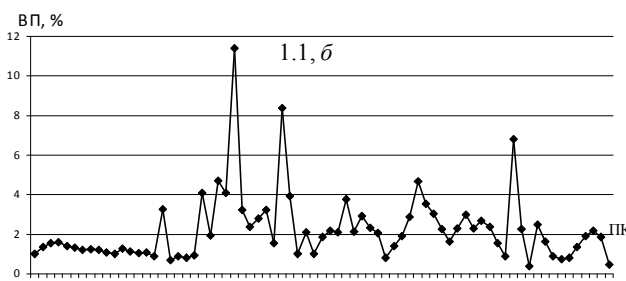
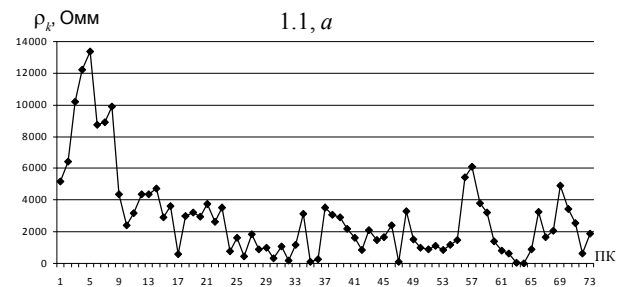
Объекты и объемы геофизических исследований Mineral deposits and geophysical prospecting areas

Месторождение	Тип минерализации	Состав и объем геофизических исследований
Бутарное	Золото-редко-металльный	Профильные геофизические исследования методом ВП, 590 ф. т.
Дорожное	Золото-кварцевый	То же, 280 ф. т.
Светлое	То же	То же, 95 ф. т.
Дегдекан	«	То же, 148 ф. т.
Наталка	«	То же, 784 ф. т.

Примечание. Геофизические исследования были выполнены станцией «Спектр-1».

Параметр сопротивления характеризуется значительно более сложным поведением: относительно мощные (от 0,5 до 1 м) кварцевые жилы отмечаются повышенным сопротивлением, разрушенные кварцевые жилы (часто приуроченные к зонам дробления) фиксируются линейными ло-

кальными аномалиями пониженного сопротивления. Когда указанные объекты сопряжены друг с другом, график параметра сопротивления имеет пилообразный вид, но в целом рудные сечения характеризуются пониженными значениями сопротивления – от 500 до 2000 Омм (рис. 1.1, а, ПК 21–37).



Березитизированные гранодиориты имеют повышенное сопротивление – от 2000 до 4000 Омм и пониженную поляризуемость – от 2 до 4% (рис. 1.1, б, ПК 41–61). Слабоизмененные и неизменные гранодиориты фиксируются аномалиями высокого сопротивления – от 4000 до 14 000 Омм и характеризуются низкой поляризуемостью – 1–1,8% (рис. 1.1, а, б, ПК 1–13).

Кривая АЧХ рудных тел слабо отличается от кривой березитов (рис. 1.1, в), некоторые различия зафиксированы только на высоких частотах

(свыше 48 Гц). Это, очевидно, связано с тем, что рудные тела представляют собой достаточно тонкое кварцевое прожилково-жильное прожилкование (от первых сантиметров до 10–20 см) с фрагментами вмещающих из березитов (зальбанды, межжильное пространство) с постепенным затуханием рудной минерализации в среде березитов и березитизированных гранодиоритов. Учитывая, что образование минералов березитовой формации сопровождается рудным процессом в гранитоидах (т. е. существовал единый процесс минерализа-

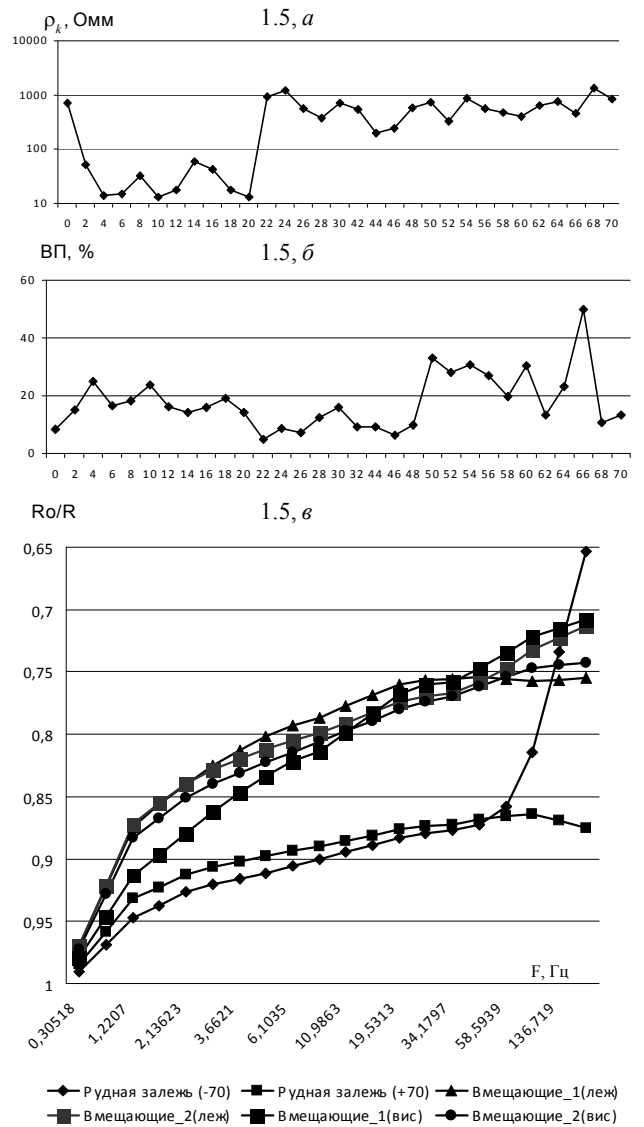
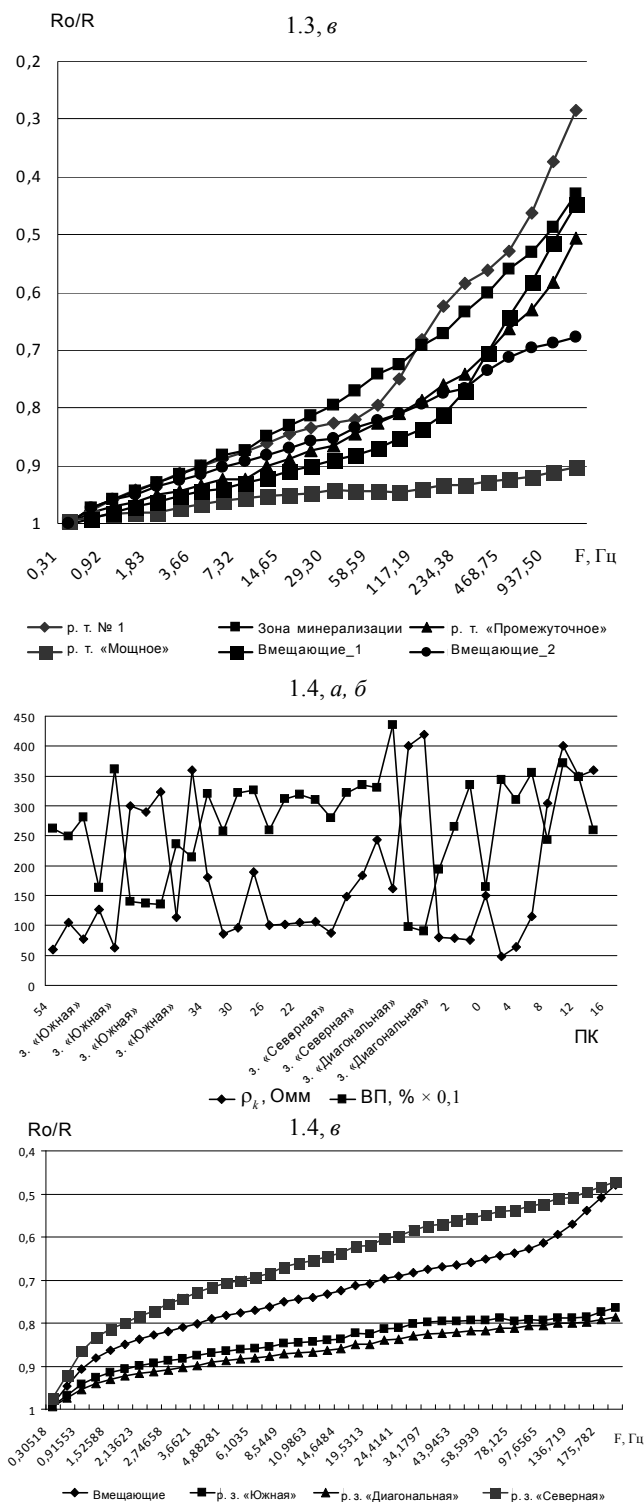


Рис. 1. Результаты геофизических исследований на месторождениях: 1.1 – Бутарное, 1.2 – Дорожное, 1.3 – Светлое, 1.4 – Дегдекан, 1.5 – Наталка. а – графики параметра кажущегося удельного сопротивления; б – графики параметра ВП; в – АЧХ вмещающих пород и руд месторождения

Fig. 1. Geophysical prospecting data obtained for studied lodes: 1.1 – Butarnoe, 1.2 – Dorozhnoe, 1.3 – Svetloje, 1.4 – Degdekan, 1.5 – Natalka. а – apparent resistivity graphs; б – induced polarization graphs; в – amplitude-frequency characters of hosting rocks and ores

ции), то совпадение кривых выглядит вполне закономерно. АЧХ березитизированных гранодиоритов и неизменных гранодиоритов имеют свои характерные кривые (рис. 1.1, в).

Дорожное. Геофизические исследования проведены в целях изучения электрических характеристик над неизменными гранодиоритами, березитизированными гранодиоритами и р. т. «Буровое», «Дорожное», № 1, 5, 6. В результате работ получены графики кажущегося удельного сопротивления, ВП и АЧХ рудных тел и вмещающих пород (рис. 1.2).

Рудные тела «Буровое» и № 5 характеризуются пониженными значениями параметра сопротивления – от 800 до 1000 Ом; р. т. «Дорожное» фиксируется слабоконтрастной локальной аномалией сопротивления (до 2000–2300 Ом); р. т. № 6 регистрируется аномалией высокого сопротивления – 4000 Ом (см. рис. 1.2, а). Также пониженным сопротивлением характеризуются березиты и березитизированные гранодиориты, непосредственно вмещающие рудные тела (см. рис. 1.2, а, ПК 16, 17). Высокими дифференцированными значениями сопротивления (от 2000 до 6000 Ом) отмечаются ороговикованные алевролиты, слагающие провисы кровли над интрузивного пространства (см. рис. 1.1, а, ПК 32,33), слабоизмененные алевролиты имеют сопротивление от 500 до 2000 Ом (см. рис. 1.2, в, ПК 0–8 и 62,64).

Всем рудным телам свойственны пониженные значения параметра вызванной поляризации – от 0,5 до 1%. При этом березиты и березитизированные гранодиориты приуроченные к висячим блокам р. т. «Буровое», № 5 и фиксируются аномалиями повышенной поляризуемости – от 1,5 (см. рис. 1.2, б, ПК 16,17) до 2% (см. рис. 1.2, б, ПК 32). Низкими, в пределах 0,6–1%, значениями параметра ВП характеризуются слабоизмененные гранодиориты. Алевролиты регистрируются аномалиями повышенной поляризуемости – 2,5–3% (см. рис. 1.2, б, ПК 29–33).

Амплитудно-частотные характеристики показывают, что кривые, соответствующие р. т. «Буровое» и № 5, совпадая на низкочастотном, до 4,88 Гц, интервале с кривыми, полученными над р. т. «Дорожное», № 6 и 1, значительно различаются на более высокочастотном интервале частот – 19–175 Гц. Кривая АЧХ березитизированных пород, фрагментарно совмещаясь в диапазонах частот 0,31–24,4 и 34–97 Гц с кривыми от р. т. «Буровое», № 5 и «Дорожное», № 6 соответственно, на более высоких частотах отличается от кривых перечисленных рудных тел (рис. 1.2, в). Этот факт, возможно, указывает на частичное совпадение минерального состава березитизированных пород, включающих в себя тонкое кварцевое прожилкование, и рудных тел, представленных кварцевы-

ми прожилково-жильными телами, зальбанды которых сложены березитами и березитизированными породами. Кривые АЧХ ороговикованных алевролитов экзоконтактной зоны интрузии практически не отличаются от характеристики гранодиоритов эндоконтакта. Кривые АЧХ вмещающих пород значительно отличаются от АЧХ рудных тел на всем частотном диапазоне исследований, в то же время АЧХ слабоизмененных алевролитов резко отличаются от аналогичных параметров остальных вмещающих пород (ороговикованных алевролитов и гранодиоритов).

Светлое. Геофизические исследования проводили по профилю, пересекающему основные рудные тела – «Мощное», «Промежуточное» и № 1.

В результате исследований (рис. 1.3, а, б) установлено, что р. т. «Мощное» фиксируется пониженным сопротивлением (менее 100 Ом) и повышенной поляризуемостью (более 14%), в то время как р. т. «Промежуточное» и № 1 регистрируются аномалиями повышенного сопротивления (1800–2000 Ом) и характеризуются относительно небольшими значениями параметра поляризуемости (8–10%).

Вмещающие породы мяунджинской свиты, представленные флишоидным чередованием песчаников, алевролитов и глинистых сланцев, обладают низким сопротивлением (около 200 Ом) и низкой поляризуемостью (6–8%). Аналогичные характеристики имеют и алевролиты светлинской свиты (см. рис. 1.3, а, б, ПК 8–12 и 18–22).

Анализ АЧХ показывает, что кривые, наблюдаемые над рудными телами и минерализованными зонами (последние вмещают тонкое кварцевое прожилкование), совпадая на низкочастотном фрагменте (до 14,6 Гц), несколько различаются на более высокочастотном интервале (29–937 Гц), что может быть связано с флуктуациями и неравномерностью распределения минерализации исследуемых объектов. Исключение составляет р. т. «Мощное», АЧХ которого резко отличаются от АЧХ прочих рудных тел, что по-видимому, объясняется значительно большей концентрацией электропроводящих вкраплений (сульфидной минерализацией), так как регистрируется аномалией ВП интенсивностью более 14% (см. рис. 1.3, в).

Породы светлинской (на рис. 1.3, в – вмещающие-1) и мяунджинской (вмещающие-2) свит имеют свои, отличающиеся друг от друга характерные кривые АЧХ, которые отвечают их литологическому составу.

Дегдекан. Геофизические исследования проводили по профилю, пересекающему центральную часть участка «Верный»: рудные зоны «Южная» (з. «Южная»), «Северная» (з. «Северная») и «Диагональная» (з. «Диагональная»).

В результате исследований установлено следующее (рис. 1.4):

р. з. «Южная» и «Диагональная» отмечаются четко выраженными аномалиями повышенного сопротивления (соответственно 300–350 и 400–420 Ом) и пониженной поляризуемости (14–15 и 9–10%);

р. з. «Северная» регистрируется локальной аномалией относительно повышенного сопротивления (250 Ом) и повышенной поляризуемости (45%);

вмещающие оруденение (осадочные породы нижней подбиты пионерской свиты) песчанистые, песчано-глинистые алевролиты, алевроитовые аргиллиты характеризуются низкими значениями параметра сопротивления (100–150 Ом) и высокими значениями поляризуемости (30–32%) (рис. 1.4, а, б, ПК 22–34);

параметры АЧХ р. з. «Южная» и «Диагональная» близки, в то же время АЧХ р. з. «Северная» значительно от них отличаются. Этот факт может быть объяснен повышенным количеством сульфидов, сконцентрированных в пределах исследуемого фрагмента р. з. «Северная», фиксируемого аномалией ВП (рис. 1.4, в, ПК 22–34);

АЧХ вмещающих пород имеют свою, определяющуюся литологией, характерную кривую.

Наталка. Геофизические исследования проведены по створу буровых профилей -70 (рис. 1.5, а, б) и +70 в целях изучения отражения в электрических полях рудной залежи и вмещающих ее осадочных пород.

Северо-западный фланг рудной залежи (профиль -70) регистрируется повышенными значениями кажущегося удельного сопротивления (от 500 до 1000 Ом) и пониженными значениями (8–12%) параметра поляризуемости (рис. 1.5, б, ПК 32–48). При этом отмечается, что вмещающие породы восточного (лежачего) блока характеризуются пониженными значениями сопротивления (от 10 до 80 Ом) и относительно повышенными значениями поляризуемости (12–22%), а западного (висячего) – повышенными сопротивлением (от 800 до 1000 Ом) и поляризуемостью (20–30%; рис. 1.5, а, б, ПК 2–20 и 50–70).

Юго-восточный фланг рудной залежи (профиль +70) четкого выражения в электрических полях не имеет.

Данные по АЧХ показывают, что рудная залежь на северо-западном и юго-восточном флангах отображается весьма близкими кривыми. Это указывает на выдержанность и однородность залежи на всем ее протяжении. Также схожими кривыми характеризуются вмещающие породы атканской свиты со стороны как лежачего, так и висячего блоков (рис. 1.5, в).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для обсуждения полученных петроэлектрических данных кратко сформулируем основные результаты исследований.

Месторождение Бутарное – кривая АЧХ рудных тел слабо отличается от кривой АЧХ вме-

щающих березитов, некоторые различия зафиксированы только на высоких частотах, рудные тела характеризуются пониженным сопротивлением и повышенной поляризуемостью, а вмещающие гранодиориты – повышенным сопротивлением и низкой поляризуемостью.

Месторождение Дорожное – кривые АЧХ, соответствующие р. т. «Буровое» и № 5, совпадая на низкочастотном интервале с кривыми, полученными над р. т. «Дорожное», № 6 и 1, значительно различаются на более высокочастотном интервале частот. Рудные тела характеризуются пониженным сопротивлением, а вмещающие гранодиориты – повышенным.

Месторождение Светлое – анализ АЧХ показывает, что кривые, наблюдаемые над рудными телами и минерализованными зонами (последние вмещают тонкое кварцевое прожилкование), совпадая на низкочастотном фрагменте, несколько различаются на более высокочастотном интервале. Исключение составляет р. т. «Мощное», АЧХ которого резко отличаются от АЧХ прочих рудных тел. Рудные тела обладают высоким сопротивлением, а вмещающие породы характеризуются относительно пониженным сопротивлением.

Месторождение Дегдекан – параметры АЧХ р. з. «Южная» и «Диагональная» близки, в то же время АЧХ р. з. «Северная» значительно от них отличаются. Рудные тела уверенно регистрируются аномалиями повышенного сопротивления и пониженной поляризуемости, а вмещающие породы отмечаются низким сопротивлением и высокой поляризуемостью.

Месторождение Наталка – данные по АЧХ показывают, что рудная залежь на изученных интервалах регистрируется весьма близкими кривыми. Вмещающие породы на северо-западном фланге рудной залежи достаточно уверенно отбиваются по параметрам сопротивления и поляризуемости, на юго-восточном фланге такой четкой дифференциации не отмечено.

Для анализа сходства и различия электрических характеристик рудных тел и вмещающих пород изучаемых объектов необходимо сгруппировать месторождения по типу минерализации и структурно-морфологическим признакам следующим образом: Бутарное – Дорожное, Наталка – Дегдекан.

Месторождения Бутарное и Дорожное расположены в идентичных геолого-структурных обстановках: в пределах штоков гранодиоритов. Поэтому рудные тела этих месторождений имеют близкие электрические характеристики. Они преимущественно приурочены к аномалиям пониженного сопротивления и характеризуются относительно повышенной поляризуемостью. Это объясняется тем, что, хотя рудные тела в основном представлены кварцевыми жилами и прожилками (Бутарное – кварц-сульфидные), они сопровождаются зонами березитизации и часто приурочены к разноранговым элементам разрывной тек-

тоники и находятся в катаклазированной (и, как следствие, часто обводненной) состоянии. При этом вмещающие породы указанных месторождений (слабо- и неизменные гранодиориты), характеризуются повышенным сопротивлением и пониженной поляризуемостью.

Сравнение АЧХ пары месторождений Бутарное – Дорожное (рис. 2, а) показывает, что наиболее идентичны на всем исследуемом частотном интервале кривые р. т. № 1 (Бутарный) и № 1 (Дорожное), каждое из которых является наиболее протяженным и выдержанным (морфологически и по составу) на своем месторождении. Кривые АЧХ остальных рудных тел совпадают только на низкочастотном интервале – от 0,31 до 4,88 Гц, в пределах высокочастотного диапазона (от 9,88 до 234 Гц) они значительно различаются. Все это говорит о том, что на территории исследуемых месторождений на некотором этапе шли достаточно близкие процессы, но в дальнейшем гранитоидный массив Сылгытар, вмещающий месторождение Дорожное, был подвержен более интенсивной и длительной проработке с многократ-

ной генерацией рудной минерализации, в то время как шток Бутарный изменен в гораздо меньших масштабах (АЧХ практически всех его рудных тел идентичны).

Рудные тела месторождений Наталка, Дегдекан и Светлое имеют общий золото-кварцевый тип рудной минерализации, однако залегают они среди разновозрастных (соответственно пермских и юрских) осадочных пород, различных по составу. Тем не менее регистрируются преимущественно аномалиями относительно повышенного сопротивления и пониженной поляризуемости. При этом вмещающие породы, как правило, характеризуются пониженным сопротивлением и повышенной поляризуемостью.

Анализ АЧХ пары месторождений Наталка – Дегдекан (см. рис. 2, б) обнаруживает весьма близкое сходство кривых рудной залежи месторождения Наталка и р. з. «Южная» и «Диагональная» месторождения Дегдекан. Геологической причиной этого является то, что обсуждаемые рудные тела имеют аналогичный минеральный состав (основные рудные минералы – арсенипи-

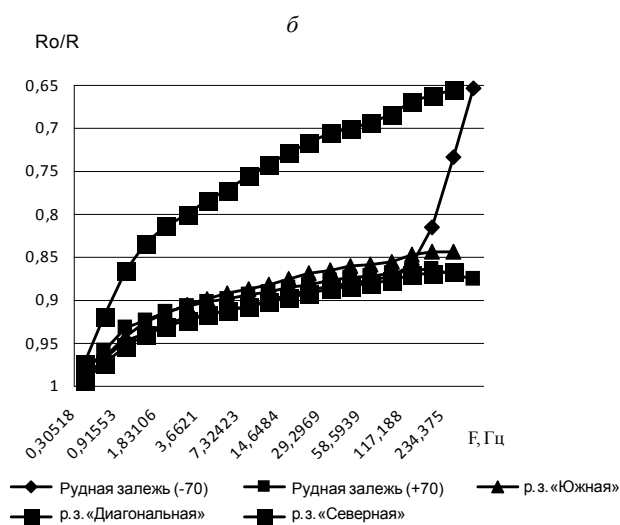
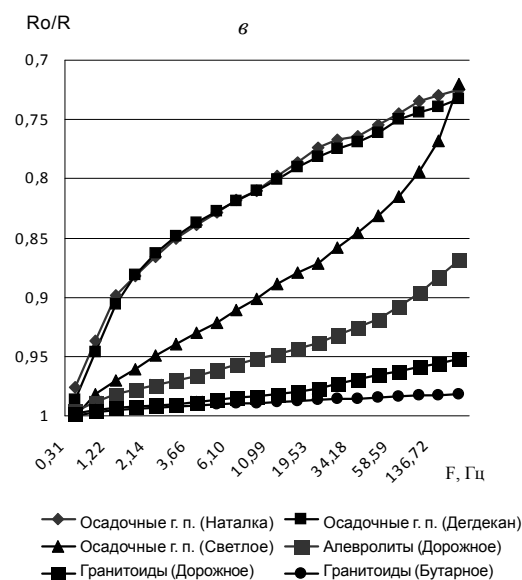
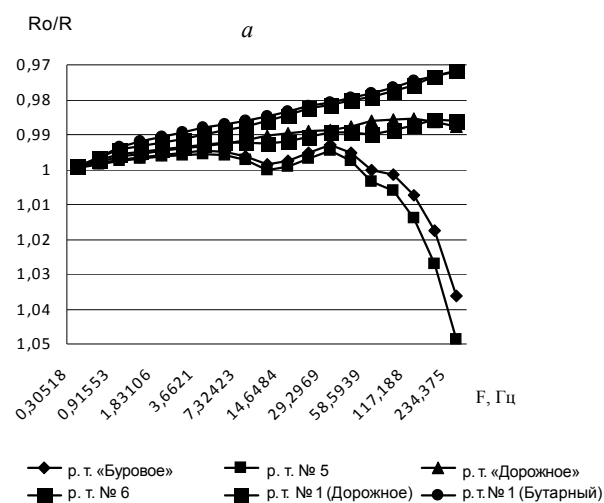


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики вмещающих пород и руд месторождений: а – АЧХ рудных тел месторождений Дорожное (р. т. «Буровое», «Дорожное», № 1, 5, 6) и Бутарное (р. т. № 1); б – АЧХ рудной залежи и рудных тел месторождений Наталка (рудная залежь в сечении буровых профилей +70, -70) и Дегдекан (р. з. «Южная», «Диагональная», «Северная»); в – АЧХ вмещающих пород месторождений

Fig. 2. Amplitude-frequency characters of hosting rocks and ores of lodes: а – amplitude-frequency characters of ore bodies of Dorozhnoe Lode (p. т. «Burovoe», «Dorozhnoe», p. т. N 1, 5, 6) and Butarное Lode (p. т. N 1); б – amplitude-frequency characters of the mineral occurrence and ore bodies of Natalka Lode (mineral occurrence (-70), mineral occurrence (+70) and Degdekan (p. з. «Yuzhnaya», «Diagonalnaya», «Severnaya»); в – amplitude-frequency characters of hosting rocks

рит и пирит), формирование которых происходило в сходных Р-Т условиях.

Особенностью сопоставления результатов АЧХ вмещающих горных пород по всем исследуемым месторождениям (см. рис. 2,в) является зафиксированное, устойчивое на всем частотном диапазоне от 0,31 до 176 Гц, совпадение кривых, полученных на месторождениях Наталка и Дегдекан. Геологической причиной подобного может быть достаточно близкий их минеральный состав. Амплитудно-частотные характеристики вмещающих пород на месторождениях Бутарное и Дорожное, представленных в различной степени измененными гранодиоритами, имеют идентичные кривые в пределах частотного диапазона 0,31–9,88 Гц и близкие (но расходящиеся) ветви кривых в более высокочастотном интервале – от 19 до 234 Гц. Очевидно, это связано с различной степенью проработки интрузивных тел Бутарный и Сылгытар.

Наиболее четкие и устойчивые закономерности установлены при исследовании на территории крупных месторождений, что указывает в целом на более выдержанный характер их минерализации. На более мелких месторождениях выявленные закономерности менее стабильны, диапазон изменений по всем параметрам более дифференцирован, что, возможно, объясняется значительной неравномерностью минерализации этих объектов.

В результате исследований установлена корреляционная связь электрических свойств горных пород и руд с характером рудной минерализации, вмещающими породами и структурно-морфологическими признаками золоторудных месторождений. Для месторождений золото-кварцевой формации, имеющих преимущественно близкий минеральный состав, различия петроэлектрических параметров в основном определяются типом (интрузивные или осадочные) вмещающих пород. Для одинаковых типов вмещающих пород петроэлектрические свойства близки, а для различных – резко отличаются по всем параметрам, что, возможно, связано с различными типами электронной проводимости (электронная, дырочная) рудных минералов указанных групп пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований выполнены лабораторные и полевые измерения электрических свойств горных пород и руд ряда золоторудных месторождений Яно-Колымского металлогенического пояса. В результате интерпретации полученных материалов установлено следующее:

выявленные ранее в лабораторных исследованиях закономерности в различии электрических свойств (удельного сопротивления и поляризуемости) градации «рудное поле» – «рудное тело»,

подтверждены полевыми исследованиями на ряде месторождений золото-кварцевой и золото-редкометалльной формации, расположенных в различной геолого-структурной обстановке;

для ряда золоторудных месторождений выявлены общие закономерности электрических параметров окружающей геологической среды в зависимости от типа вмещающих их пород – осадочных или интрузивных;

впервые на территории Яно-Колымского металлогенического пояса для ряда золоторудных объектов установлены амплитудно-частотные характеристики вмещающих пород и руд месторождений золото-редкометалльной и золото-кварцевой формации. Выявлены их общие закономерности, характерные особенности и различия, зависящие от типа минерализации и геологических условий формирования.

Предложенный комплекс геоэлектрических исследований (полевые и лабораторные исследования, методика обработки и интерпретации), выявленные петроэлектрические параметры рудных тел и вмещающих пород могут быть использованы в дальнейших исследованиях при комплексном изучении структуры и генезиса золоторудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- Ворошин С. В., Еремин Р. А., Тюкова Е. Э., Шахтыров В. Г.* Новые материалы по структуре и минералогии Омчакского узла // Геохимия и минералогия рудных месторождений Северо-Востока СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1989. – С. 67–86.
- Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. и др.* Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2002. – 250 с.
- Горячев Н. А., Сидоров В. А., Литвиненко И. С., Михалицына Т. И.* Минеральный состав и петрохимические особенности рудных зон глубоких горизонтов Наталкинского месторождения // Колыма. – 2000. – № 2. – С. 38–49.
- Григорьев С. А.* Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля // Руды и металлы. – 2006. – № 3. – С. 44–48.
- Жданов М. С.* Электроразведка. – М. : Недра, 1986. – 316 с.
- Калинин А. И.* Месторождение Наталка // Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / под ред. М. М. Константинова, И. С. Розенблюма, М. З. Зинна-туллина. – М., 1992. – С. 5–11.
- Комаров В. А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. – Л. : Недра, 1980. – 391 с.
- Методические рекомендации по применению станции ЭВП-203 при электроразведочных работах на стадии поисков месторождений полезных ископаемых.* – Алма-Ата, 1986. – 77 с.
- Петров А. В., Никитин А. А.* Классификация комплексных геополей на однородные области // Геология и разведка. Изв. вузов. – 1990. – № 3. – С. 33–41.

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: справочник геофизика. – М. : Недра, 1984. – 454 с.

Хасанов И. М., Шарафутдинов В. М. Рудное минералообразование и петрофизические свойства горных пород Омчакского рудного узла // Физико-химические факторы петро- и рудогенеза: новые рубежи: материа-

лы конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. Д. С. Коржинского. – М. : ИГЕМ РАН, 2009. – С. 408–411.

Хмелевской В. К. Основной курс электроразведки. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. – Ч. 1. – 269 с.

Электроразведка : справочник геофизика. – М. : Недра, 1980. – 516 с.

Поступила в редакцию 18.11.2009 г.

PETROELECTRIC CHARACTERS REGISTERED FOR SOME GOLD LODES IN THE YANA-KOLYMA METALLOGENIC BELT

V. M. Sharafutdinov, I. M. Khasanov

Two hundred forty seven rock samples were taken from 66 sampling sites and 6 boreholes totalling 38 km-long geophysical profiles over the Omchak mineral area and its riming structures. Petroelectric properties of sampled rocks measured in laboratory conditions demonstrate their zonal distribution grading as follows: «hosting rocks», «mineral area», «ore field», and «ore body». Geoelectric studies were conducted over geophysical profiles of gold lodes Butarnoe, Svetloe, Dorozhnoe, Degdekan and Natalka, and covered 1897 sites. The obtained study results were interpreted, and these data served as a basis for the authors to establish general regularities in electric parameters of rocks in gold lode areas depending on their host rock types. The amplitude-frequency characters of host rocks and Au rare metal and Au quartz deposit types are for the first time established for some gold lodes within the Yana-Kolyma Metallogenic Belt. Their common and peculiar characters are described as depending on the mineralization type and geologic environment.

Key words: electric resistivity, induced polarization, electric multifrequency profiling, amplitude-and-frequency characters.