

УДК 552.08.53(550.834)

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ АНОМАЛЬНЫХ  
ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ЗОН, РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ  
И ГЛУБИННОЙ СУБВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПОВЫШЕННОЙ  
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ НАТАЛКИНСКОГО  
РУДНОГО ПОЛЯ**

*В. М. Шарафутдинов, И. М. Хасанов*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт, г. Магадан  
E-mail: seismolog@neisri.magadan.ru, geofisics@maggeo.sferacom.ru*

Проведены исследования петрофизических свойств горных пород и руд, слагающих Наталкинское рудное поле, в горизонтальной и вертикальной плоскости. Выделена двухуровневая петрофизическая зональность, установлены ее взаимоотношения с рудными участками, межзональным пространством и вмещающими их измененными породами. Определена пространственно-генетическая связь субвертикальной зоны проводимости (приуроченной к Омчакскому рудному узлу) с петрофизическими изменениями, отражающими минералогический состав метасоматитов и руд.

**Ключевые слова:** петрофизические параметры, магнитотеллурическое зондирование, геоэлектрический разрез, субвертикальная зона проводимости, петрофизическая зональность, рудная залежь.

Рудное поле крупнейшего месторождения золота Северо-Востока России Наталкинское располагается в пределах геологического блока, сложенного пермскими образованиями (диамиктиты, аргиллиты, алевролиты, песчаники) атканской и пионерской свит. К серии сложно сочетающихся продольных разрывов рудоносного тектонического блока приурочены более 100 рудных зон – тел типа линейных штокверков, образованных кварцевыми прожилками (0,5–3 см) и жилами зачастую очень сложной формы. Границы рудных тел (зон) проявлены неотчетливо и определяются по данным опробования. По последним представлениям о строении месторождения в качестве большеобъемного объекта с бедными преимущественно прожилково-вкрапленными рудами оно рассматривается как сочетание рудных зон с содержаниями золота 2–10 г/т и межзонального пространства (Гаштольд, 2006) с бедными прожилково-вкрапленными рудами (0,4–2 г/т), объединяемыми в рудную залежь (Григоров, 2006). Такое представление о строении месторождения не только имеет экономическое обоснование, но и отражает определенные закономерности формирования месторождения, выявленные в процессе изучения его петрофизических параметров.

По данным глубинных геоэлектрических исследований, Омчакский рудный узел (включающий в себя месторождения Наталкинское, Омчакское и Павлик) приурочен к субвертикальной, мощностью до 4–6 км, зоне аномально низкого кажущегося сопротивления, простирающейся на глубину до 10–15 км (Алевская, Хасанов, 2005). Для изучения геологической природы субвертикальной электропроводной зоны в пределах Наталкинского рудного поля были проведены исследования распределения петрофизических параметров (ПФП) и рудной минерализации. Образцы для исследований отбирались с поверхности по отдельным профилям (протяженностью до 3–4 км), пересекающим все рудное поле, а также по штольням и скважинам до глубины 800 м (абс. отм. 200 м). Таким образом, исследования распределения указанных параметров проводились как в горизонтальной (290 обр.), так и в вертикальной (196 обр.) плоскости Наталкинского рудного поля.

Первичный анализ распределения физических свойств горных пород в горизонтальной плоскости в пределах всего Наталкинского рудного поля и характер их изменения в экзоконтактах рудных тел для различных магнитоэлектрических категорий позволили сделать предварительные выводы о двухэтапной (или двухуровневой) петрофизической зональности месторождения (Шарафутди-

нов, 2005). Первым уровнем зональности является монотонное изменение физических свойств горных пород в определенном направлении (либо с запада на восток для плотности, либо с юго-запада на северо-восток для магнитной восприимчивости); данная зональность может характеризовать геологические процессы, охватывающие всю территорию Наталкинского рудного поля. Вторым уровнем является наличие непосредственно на экзоконтактах рудных тел ряда локальных аномалий и максимальных градиентов изменения петрофизических параметров вмещающих горных пород; данная зональность, возможно, отражает непосредственно сами процессы образования и становления отдельных рудных тел, а также рудной залежи в целом.

Выполненный в дальнейшем комплексный анализ пространственного положения элементов рудного поля и значений ПФП (плотности  $\sigma$ , магнитной восприимчивости  $\alpha$ , остаточной намагниченности  $In$ ) позволил выявить следующие закономерности.

В пределах рудного поля наблюдается возрастание плотности горных пород с запада на восток от 2,48 до 2,76 г/см<sup>3</sup>, при этом рудная залежь месторождения характеризуется дифференцированно повышенными значениями  $\sigma$  (2,60–2,76 г/см<sup>3</sup>) и ограничивается с востока зоной высоких градиентов.

Магнитная восприимчивость  $\alpha$  пород в пределах рудного поля возрастает с юго-запада на северо-восток от 0,9 до  $76,4 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ, характеризуясь в контуре рудной залежи сложным дифференцированным распределением (рис. 1А). В северной и центральной части рудного поля отслеживается ряд локальных аномалий пониженных и повышенных значений  $\alpha$  (при преобладании последних), в юго-восточной части – монотонное петромагнитное поле. Величина  $\alpha$  является главным образом мерой концентрации в породах ферромагнитных минералов ( $C_{\text{фм}}$ ). Для всех видов пород наблюдается линейный рост  $\alpha$  с увеличением  $C_{\text{фм}}$ . Эта зависимость проявляется наиболее ярко тогда, когда уровень значений  $\alpha$  превышает так называемый парамагнитный уровень ( $> 20 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ) (Шолпо, 1977).

Остаточная намагниченность  $In$  горных пород центральной и южной частей рудной залежи характеризуется (преимущественно) повышенными значениями ( $20\text{--}50 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ), северной – нулевыми. Она отражает главным образом испытанные породами и минералами внешние воздействия, оказавшие влияние на магнитное состояние породы, и в меньшей мере вещественный состав ферро-

магнетиков и их концентрации (Шолпо, 1977). В силу этого  $In$  в отражении распределения и концентрации ферромагнитных минералов играет второстепенную косвенную роль.

При интерпретации результатов работ была использована компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «Coscad 3Dt» (Петров и др., 1990), предназначенная для анализа цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода. Данная программа классификации по А. В. Петрову производит разбиение анализируемой площади на однородные области (классы) с равными средними значениями признаков. В качестве входной информации (признаков) были использованы для поверхности распределение в пространстве трех петрофизических параметров, для разреза – совокупность тех же параметров и значений содержания золота (по первичным ореолам рассеяния).

Комплексная обработка по программе COSCAD полученных петрофизических данных показывает, что область рудной залежи и часть прилегающей к ней территории (собственно рудное поле) характеризуются повышенными дифференцированными значениями магнитных и плотностных параметров относительно вмещающих пород (см. рис. 1А; табл. 1). Установлено, что наиболее плотные породы обладают повышенными значениями магнитных параметров (см. табл. 1).

В обобщенном виде график распределения ПФП с минимумами в центральных частях и максимумами на флангах имеет рисунок, близкий к М-образному в границах как самой рудной залежи, так и рудного поля в целом. Такой характер распределения ПФП подтверждается и ранее проведенными лабораторными экспериментами (Шарафутдинов, 1992). Формирования М-образного профиля распределения ПФП в

**Таблица 1. Классификация (COSCAD) петрофизических параметров по поверхности**

**Table 1. The COSCAD classification of petrophysical characteristics on surface**

Номер класса	Плотность, ср. зн., г/см <sup>3</sup>	Магнитная восприимчивость, $\times 10^{-6}$ ед. СГСМ	Остаточная намагниченность, $\times 10^{-6}$ ед. СГСМ
6	2,71	32,31	39,92
7	2,71	37,55	55,96
8	2,71	42,57	77,99
10	2,71	53,58	120,02
3	2,7	26,34	21,55
11	2,7	23,81	35,79
9	2,69	17,85	21,38
5	2,67	12,19	9,93
2	2,66	23,92	5,18
1	2,64	17,58	2,78
12	2,6	6,19	0,89
4	2,59	11,71	1,51

единичной рудной зоне и всей рудной залежи объясняется следующим. В пределах рудных полей, как правило, концентрация сульфидов увеличивается во внешнем ореоле оруденения (Гончаров и др., 2002), что вызывает резкое возрастание петромагнитных ( $I_n$ ,  $\sigma$ ) параметров (ПМП) при экзоконтактовом температурном воздействии (200–350°C) и связано как с созданием парциальной термоостаточной намагниченности, так и с новообразованием ферромагнитных минералов (Шарафутдинов, 1992). Судя по температуре становления жильных тел месторождения 200–390°C (Гончаров и др., 2002. С. 167), наличие аномалий ПМП, видимо, обусловлено узколокальным температурным потоком в интервале 2–4 Н ( $H$  – мощность объекта: отдельного жильного тела или всей залежи), возможно, генетически связанным с циркуляцией гидротермальных растворов в пределах глубинной зоны повышенной проводимости.

В процессе изучения распределения петрофизических параметров и золотого оруденения в вертикальной плоскости (см. рис. 1Б; 2) установлено, что вмещающие породы в экзоконтакте рудной залежи, как и на поверхности, обладают повышенной плотностью (от 2,7 до 2,87 г/см<sup>3</sup>) и магнитной восприимчивостью (22–82 × 10<sup>-6</sup> ед. СГСМ). Сами рудные зоны фиксируются локальными аномалиями пониженных значений этих параметров и зонами их градиентов. Исключение составляет общее снижение с глубиной остаточной намагниченности от 60 до 4 × 10<sup>-6</sup> ед. СГСМ, что, возможно, объясняется процессом терморазмагничивания при повышении температуры (Шолпо, 1977).

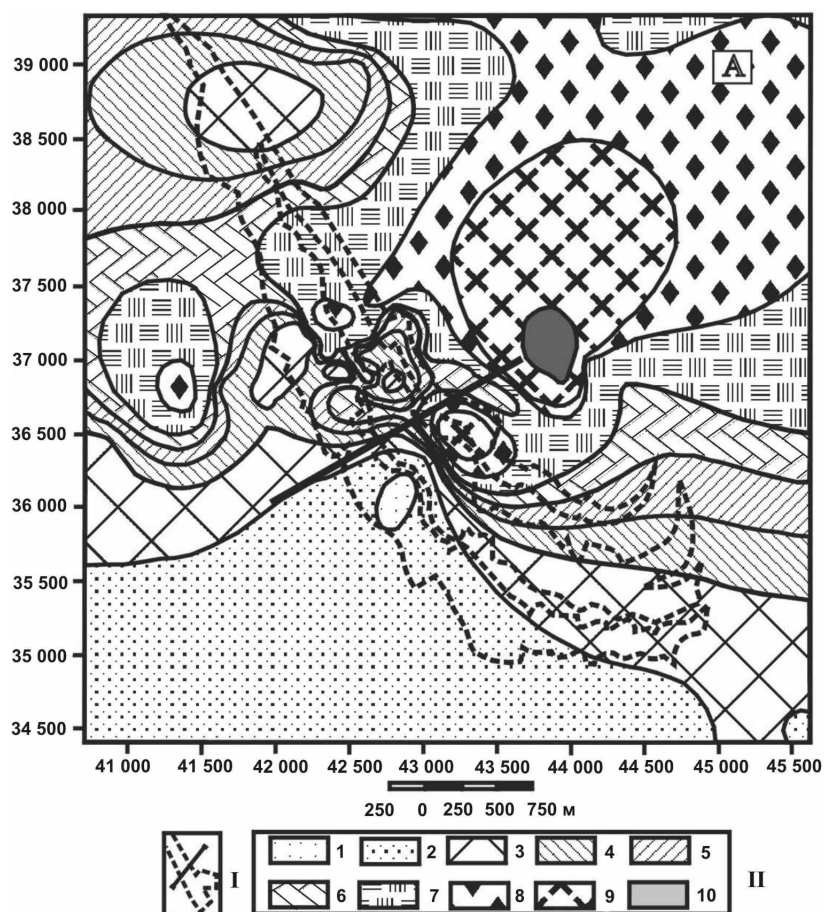
Классификацией ПФП программой COSCAD в блоке горных пород, вмещающей рудную залежь, установлено зональное увеличение  $\alpha$  и  $\sigma$  по падению (классы 2, 3, 4) в северо-восточном направлении, соответственно от 16,24 до 22,46 × 10<sup>-6</sup> ед. СГСМ и от 2,72 до 2,77 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 1Б; табл. 2).

Совместная классификация ПФП и золоторудной минерализации в системе COSCAD показывает (см. рис. 1Б, табл. 2), что «рудные» классы (№ 9, 10, 11, 12; Au более 1,0 г/т) обладают более низкими значениями  $\alpha$  (17,53 × 10<sup>-6</sup> ед. СГСМ) и  $\sigma$  (осредненное значение 2,72 г/см<sup>3</sup>), чем «слаборудные» (№ 6, 8; Au менее 1,0 г/т; ПФП, соответственно, 20,69 × 10<sup>-6</sup> и 2,74) или «безрудные» (№ 1–5; Au менее

0,4 г/т, ПФП, соответственно, 19,56 и 2,74). Класс № 7 не рассматривался из-за его малой представительности (1 точка). Наблюдается отчетливая тенденция: с уменьшением содержания золота происходит увеличение магнитной восприимчивости пород (см. классы № 1–5, табл. 2). «Рудные» классы, определяющие контуры рудной залежи, укладываются в зоны северо-восточного падения и прослеживаются по падению на 1000 м (до абсолютных глубин 200 м), при этом глубинная часть распространения выявленной аномалии ПФП и рудной залежи, по полученным данным, не ограничена.

Отметим, что северо-восточное падение рудо-локализирующих структур, зафиксированное в глубоких (более 800 м) скважинах и отраженное в распределении ПФП (см. рис. 1), совпадает с направлением падения ранее выделенной субвертикальной проводящей зоны (Алевская, Хасанов, 2005), охватывающей все рудное поле и являющейся, по-видимому, фрагментом зоны Тенькинского глубинного разлома. Это, наряду с другими фактами, является одним из наиболее ярких свидетельств, подчеркивающих определяющую роль зоны разлома как рудоподводящего канала (и/или рудогенерирующего очага).

Изучение распределения ПФП в зальбандовых частях, в пределах рудной залежи и во взаимоотношениях с обогащенными интервалами – рудны-



ми зонами показывает, что существуют элементы горизонтальной и вертикальной петрофизической зональности, отражающиеся в следующих закономерностях:

рудные зоны, характеризуются понижением всех ПФП относительно вмещающих их горных пород (до абсолютных средних значений  $In \approx 12-18 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ;  $\alpha \approx 15-20 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ;  $\sigma \approx 2,66-2,68$  г/см<sup>3</sup>) и часто фиксируются М-образными аномалиями ПФП (рис. 3);

межзонное пространство (участки рудной залежи со средней концентрацией Au 0,8 г/т) характеризуется увеличением всех ПФП:  $In$  и резко дифференцированы от 2–3 до 80–100  $\times 10^{-6}$  ед. СГСМ,  $\sigma$  увеличивается до 2,7–2,71 г/см<sup>3</sup>;

внешний ореол прожилково-вкрапленной рудной минерализации или вмещающие рудную залежь гидротермально-метасоматически измененные горные породы характеризуются стабилизацией параметров  $In$  и  $\alpha$  в диапазоне значений 25–40  $\times 10^{-6}$  ед. СГСМ (без резких градиентов) и  $\sigma$  до 2,73–2,75 г/см<sup>3</sup> (рис. 4).

Характер изменения ПФП в вертикальной плоскости позволяет подтвердить выдвинутое ранее по поверхности (Шарафутдинов, 2005) предположение о двухэтапной (или двухуровневой) петрофизической зональности Наталкинского рудного поля. Первым уровнем является повышение значений ПФП и постепенное изменение физических свойств горных пород в определенном направлении (либо с запада на восток, либо с юго-запада на северо-восток) для всего рудного поля, что связано с насыщением халькофильными и сидерофильными группами металлов больших по объему

масс горных пород. Второй уровень находит отражение в локальных аномалиях и градиентных изменениях ПФП в экзоконтактах рудной залежи и рудных зон, что, вероятно, связано пространственно (и, возможно, генетически) с физико-химическими процессами их формирования. Оба уровня выявленной петрофизической зональности прослежены в пределах Наталкинского рудного поля по простиранию на 4 км и по падению на 1000 м.

В наземных геофизических съемках (рис. 5) рудное поле отображается отрицательными аномалиями естественного электрического поля, локальной положительной аномалией магнитного поля, в геохимических полях – аномалиями мышьяка и золота. Объясняется эта комплексная аномальность областью рассеянной сульфидной минерализации, которая ограничивает рудное поле. Значения кажущегося сопротивления пород ( $\rho_k$ ) имеют сложный пилообразный (чередование локальных аномалий сопротивления и проводимости) характер на фоне общего понижения сопротивления. На графиках кажущегося удельного сопротивления достаточно уверенно выделяется интервал, который может быть представлен как предполагаемая проекция на дневную поверхность субвертикальной проводящей зоны.

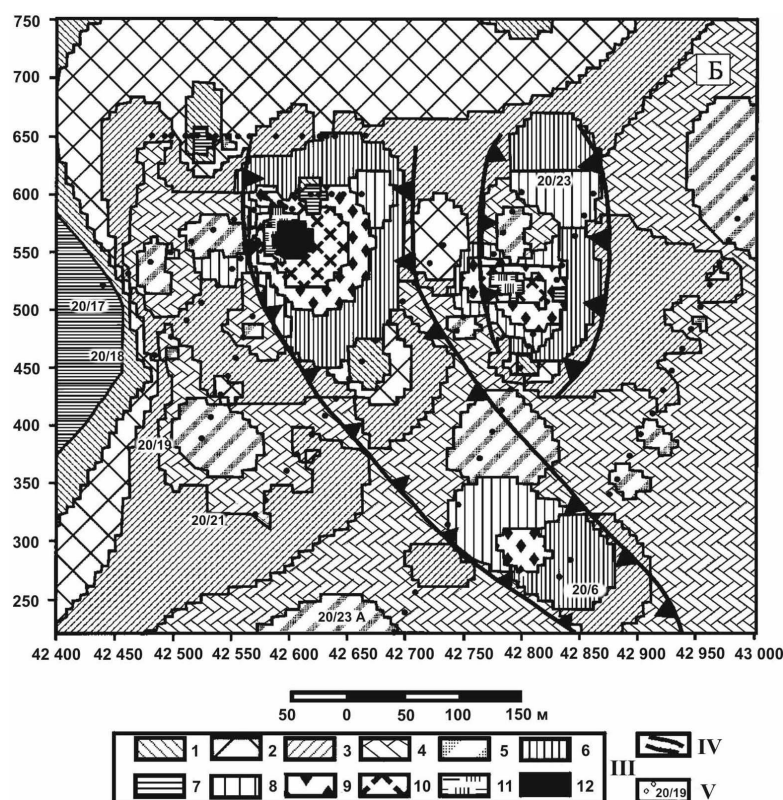


Рис. 1. Распределение петрофизических параметров: А – распределение  $\alpha$  на поверхности Наталкинского рудного поля; Б – фрагмент по буровому профилю № 20; I – рудная залежь с содержанием золота более 0,4 г/т и расположение бурового профиля № 20; II – изолинии  $\alpha$ : 1 – < 4; 2 – 4–10; 3 – 10–14; 4 – 14–16; 5 – 16–18; 6 – 18–20; 7 – 20–24; 8 – 24–28; 9 – 28–40; 10 – > 40  $\times 10^{-6}$  ед. СГСМ; III – номера классов (программа COSCAD) по параметрам  $In$ ,  $\alpha$ ,  $\sigma$ , Au; IV – контур «рудных» классов (программа COSCAD) по профилю № 20; V – точки отбора образцов на петрофизические свойства по скважинам и штольням (с номерами скважин)

Fig. 1. The distribution of petrophysical characteristics: A – the  $\alpha$  characteristics over the Natalka Lode area surface; Б – a fragmentary borehole No. 20; I – an ore occurrence with gold grade more than 0.4 g/t and borehole site No. 20; II –  $\alpha$  isolines: 1 – < 4; 2 – 4–10; 3 – 10–14; 4 – 14–16; 5 – 16–18; 6 – 18–20; 7 – 20–24; 8 – 24–28; 9 – 28–40; 10 – > 40  $\times 10^{-6}$  val. СГСМ; III – the COSCAD class numbers in terms of  $In$ ,  $\alpha$ ,  $\sigma$  and Au characteristics; IV – the limits of ore-grade mineral occurrences (COSCAD Program) for borehole section No. 20; V – petrophysical sampling sites from boreholes (the numbers are shown) and adits

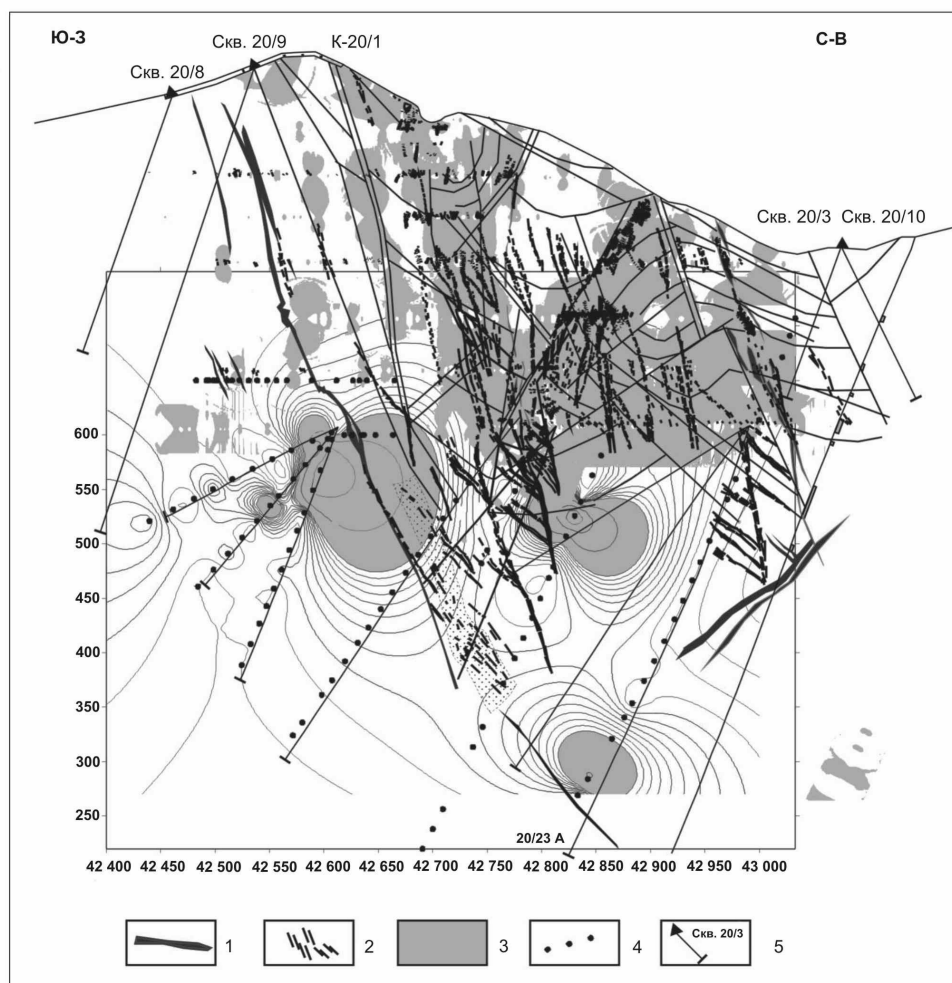


Рис. 2. Схематический геологический разрез по профилю 20: 1 – дайки; 2 – кварцевые жилы; 3 – содержание золота более 1 г/т; 4 – места отбора образцов на петрофизические свойства по скважинам и штольням; 5 – скважины, пробуренные с поверхности и из подземных горных выработок

Fig. 2. A schematized geologic sequence No. 20: 1 – dikes; 2 – quartz veins; 3 – gold grades higher than 1 g/t; 4 – petrophysical sampling sites in boreholes and adits; 5 – boreholes driven from surface and from underground works

**Таблица 2. Классификация (COSCAD) петрофизических параметров по разрезу**

**Table 2. The COSCAD classification of petrophysical characteristics over section**

Номер класса	Средние значения золота, г/т	Магнитная восприимчивость, средние значения, $\times 10^{-6}$ ед. СГСМ	Плотность, средние значения, г/см <sup>3</sup>	Характеристика классов
11	4,98	21,29	2,81	Рудный
12	4,49	11,31	2,66	То же
10	2,88	17,91	2,7	"
9	1,73	20,43	2,72	"
8	0,81	22,57	2,75	Слаборудный
6	0,76	18,81	2,72	То же
1	0,18	13,52	2,71	Безрудный
2	0,15	16,24	2,72	То же
3	0,14	19,67	2,77	"
4	0,08	22,46	2,75	"
5	0,04	25,91	2,73	"

Близкие закономерности в распределении ПФП и характере геофизических полей наблюдаются на наиболее значимых месторождениях юга Яно-Колымской складчатой системы (золото-кварцевая формация – Утиное, Ветренское, Школьное, Светлое; золото-серебряная формация – Дукат, Лунный, Арылах), охваченных наземными геофизическими и петрофизическими исследованиями. Рудные поля обычно фиксируются положительными дифференцированными аномалиями магнитного поля (что связано с присутствием ферромагнитных минералов), локальными повышенными аномалиями гравитационного

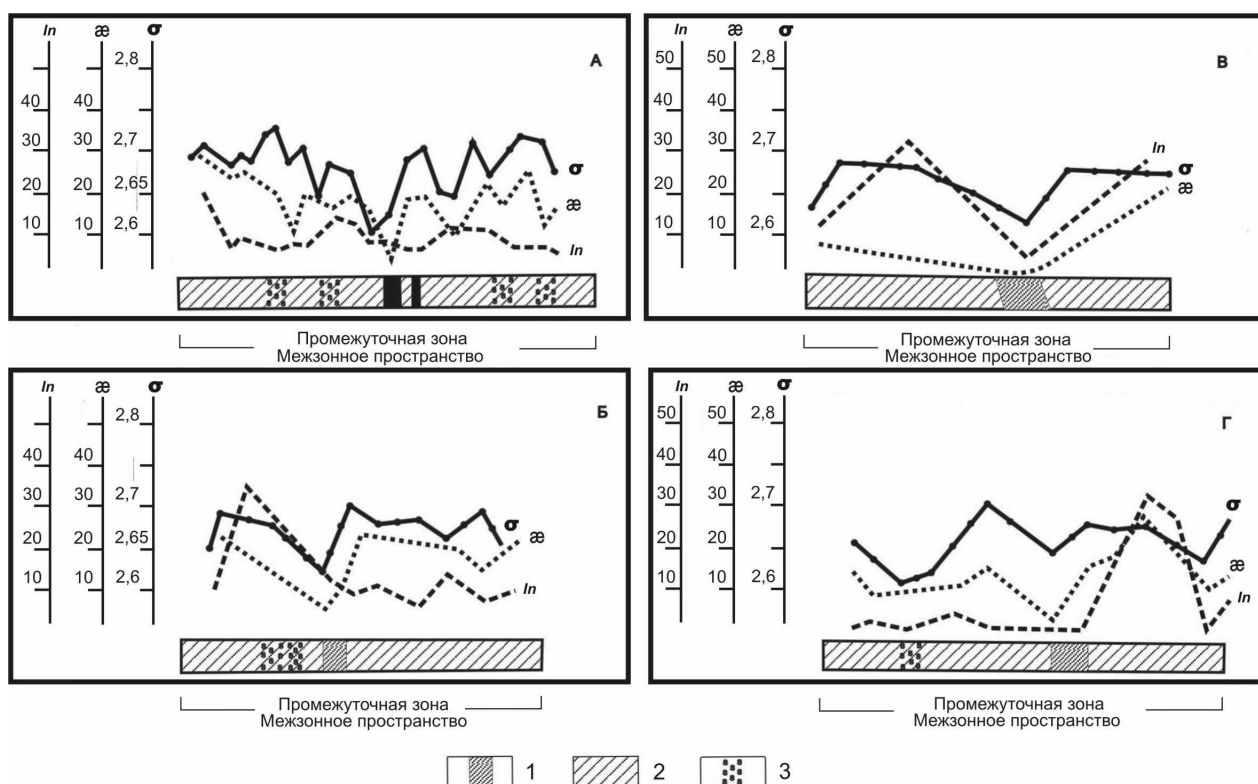


Рис. 3. Распределение петрофизических параметров для рудных зон и вмещающего межзонного пространства: 1 – рудные зоны; 2 – межрудное пространство; 3 – зоны окварцевания; А – рудное тело прожилково-метасоматического типа, гор. 600; Б – рудное тело прожилково-жильного типа, гор. 750; В – рудное тело жильного типа, гор. 650; Г – рудное тело типа минерализованная зона смятия-дробления, гор. 650;  $In$  – остаточная намагниченность,  $CGSM \times 10^{-6}$ ;  $\alpha$  – магнитная восприимчивость,  $CGSM \times 10^{-6}$ ;  $\sigma$  – плотность,  $г/см^3$

Fig. 3. The distribution of petrophysical characteristics in mineralization areas and hosting wall rocks: 1 – mineralization areas; 2 – an inter-ore space; 3 – quartz-altered rocks; А – an ore body of veinlet-metasomatic type, horizon 600; Б – an ore body of veinlet-veined type, horizon 750; В – an ore body of veined type, horizon 650; Г – an ore body of a crushed belt type, horizon 650;  $In$  – residual magnetization,  $CGSM \times 10^{-6}$ ;  $\alpha$  – magnetic susceptibility,  $CGSM \times 10^{-6}$ ;  $\sigma$  – density,  $г/см^3$

поля, аномалиями РАЭ, поляризуемости и проводимости. Все это указывает на тесную взаимосвязь рудных процессов с петрофизическими характеристиками.

Как отмечалось ранее (Шарафутдинов, 2003), образование и становление рудных тел в пределах золоторудных месторождений сопровождается комплексом физико-химических процессов, характерных именно для данного типа геологических явлений. Данные процессы, кроме образования рудных тел, оказывают необратимое воздействие на петрофизические параметры окружающего геологического пространства. Следовательно, рудообразование и изменение петрофизических параметров являются составляющей частью единого многофакторного процесса генезиса месторождения. Полученные результаты петрофизических исследований по рудному полю Наталкинского месторождения в первом приближении подтверждают ранее высказанную гипотезу.

Рассмотрим основные минеральные ассоциации, оказывающие влияние на формирование гео-

физических полей и физические свойства горных пород в пределах Наталкинского рудного поля. Наиболее распространенные минералы рудного поля и их физические свойства приведены в табл. 3 (по Гончарову и др., 2002; Физические ..., 1984).

Минералы условно разбиты на три группы по параметрам плотности ( $\sigma$ ) и сопротивления ( $\rho$ ): 1-я группа:  $\sigma$  от 4,1 до 7,6  $г/см^3$ ,  $\rho_k$  от  $10^{-5}$  до  $1 \text{ Ом} \cdot м$ ; 2-я группа:  $\sigma$  от 3,9 до 7,0  $г/см^3$ ,  $\rho_k$  от  $10^{-3}$  до  $100 \text{ Ом} \cdot м$ ; 3-я группа:  $\sigma$  от 2,5 до 4,3  $г/см^3$ ,  $\rho_k$  от  $10^8$  до  $10^{12} \text{ Ом} \cdot м$ .

Наличие минералов, составляющих две первые группы, обуславливает высокую электропроводность (плотность и петромагнитные свойства) руд и метасоматически измененных пород. Если минералы первой группы образуют электрически связанные полосы или цепочки в породах, они влияют на удельное электрическое сопротивление уже при нескольких процентах содержания. В пределах Наталкинского рудного поля содержания сульфидов (особенно пирита) достигают 5%. В измененных терригенных породах и рудах сульфидов

фиды формируют рассеянную вкрапленность, небольшие гнездовые выделения (до 2–3 см в поперечнике) или мономинеральные прожилки мощностью до 1,5 см. Особое положение занимает графит, он в виде тончайших чешуек или порошковатых выделений пронизывает вмещающие породы, а также слагает маломощные прожилки; местами его концентрация достигает 2,5% (Гончаров и др., 2002). Магнитные свойства руд и вмещающих горных пород зависят от содержания ферромагнитных минералов (магнетита, титаномагнетита и пирротина) и служат индикатором (при превышении «парамагнитного уровня») наличия минералов 1-й группы. Минералы 2-й группы лишь в отдельных случаях вызывают увеличение электропроводности пород и руд. Минералы 3-й группы обуславливают низкую электропроводность пород и их среднюю плотность.

Приведенные параметры физических свойств минералов позволяют объяснить относительно повышенную электропроводность (а также плотность и намагниченность) вмещающих горных пород, метасоматически измененных пород и руд в пределах рудного поля.

Е. Э. Тюковой (Ворошин и др., 1989) в рудном комплексе минералов выделена (основная и наиболее распространенная) минеральная ассоциация: пирит – арсенопирит – пирротин – сульфо-

арсениды кобальта и никеля. Этот минеральный комплекс сформировался, по ее мнению, при замещении метаморфогенного пирита, рассеянного во вмещающих породах, арсенопиритом. Н. А. Горячевым и В. А. Сидоровым (Гончаров и др., 2002) на Наталкинском месторождении выделены: метаморфогенная кварц-хлорит-полевошпатовая и магматогенные кварц-пирит арсенопиритовая, кварц-сульфидно-сульфосольная, кварц-антимонитовая и кварц-кальцитовая минеральные ассоциации. Первые три, являющиеся продуктивными и наиболее широко распространенными минеральными ассоциациями, содержат пирротин. Минеральные комплексы, возможно, представляют собой группы близко одновременных ассоциаций, отложение которых носит телескопированный характер (Горячев и др., 2000). Пирротин, являясь составной частью наиболее распространенных минеральных ассоциаций, может служить признаком общей минерализации, содержащей большое количество плотных, электропроводящих минералов 1-й и 2-й группы.

Приведенный материал свидетельствует о том, что аномальное распределение ПФП является индикатором интенсивности общего процесса рудного минералообразования. Увеличение магнитной восприимчивости, связанное в основном с увеличением количества ферромагнитных ми-

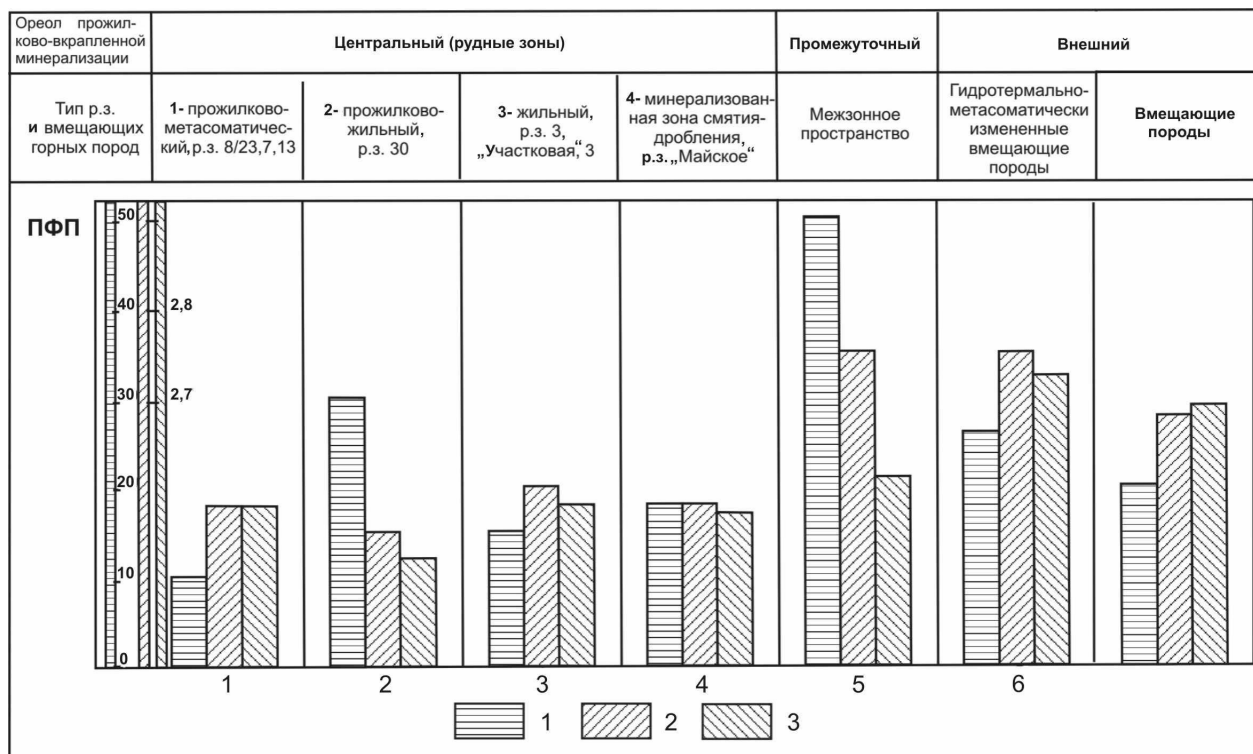


Рис. 4. Средние петрофизические характеристики различных типов рудных зон, межзонного пространства и вмещающих их пород: 1 – остаточная намагниченность,  $\text{CGCM} \times 10^{-6}$ ; 2 – магнитная восприимчивость,  $\text{CGCM} \times 10^{-6}$ ; 3 – плотность,  $\text{г/см}^3$

Fig. 4. Average petrophysical characteristics of different mineralization area types, an inter-ore space and wall rocks: 1 – residual magnetization,  $\text{CGCM} \times 10^{-6}$ ; 2 – magnetic susceptibility,  $\text{CGCM} \times 10^{-6}$ ; 3 – density,  $\text{g/cm}^3$

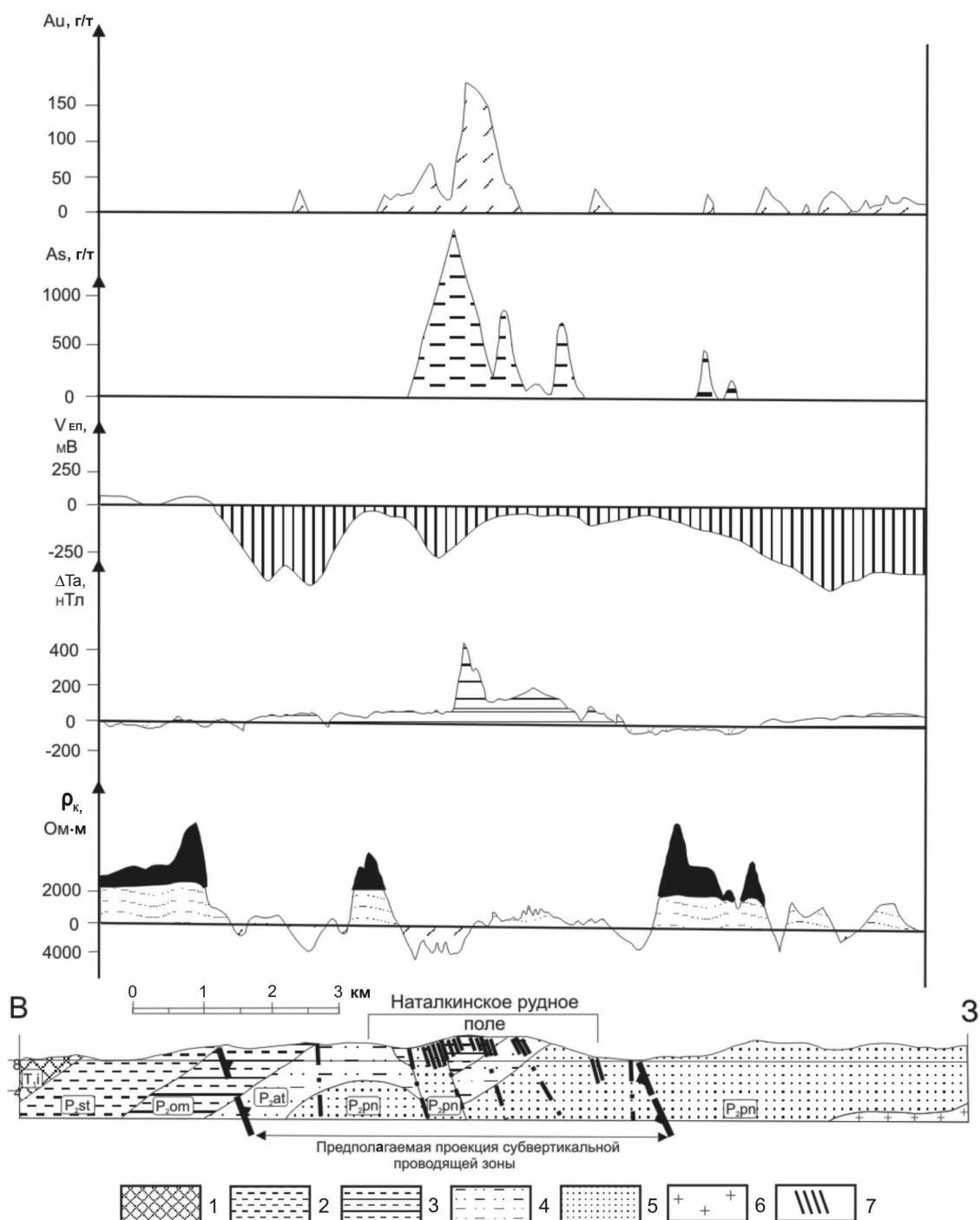


Рис. 5. Распределение Au, Ag (вторичный ореол рассеяния), потенциала ( $V_{\text{еп}}$ ) естественного поля, аномального магнитного поля ( $\Delta T_a$ ) и сопротивления над Наталкинским рудным полем (по Е. Е. Воробьевой, 1986 г.): 1 – тонкослоистые алеврито-глинистые сланцы индского яруса; 2 – полимиктовые песчаники, алеврито-глинистые сланцы, редкие пласты конгломератов старательской свиты; 3 – алевроглинистые сланцы, пласты песчаников и туфогенных сланцев омчакской свиты; 4 – туфогенные сланцы с прослоями и линзами глинистых сланцев, алевролитов, песчаников атканской свиты; 5 – глинистые сланцы с тонкими прослоями песчаников, алевролитовые сланцы пионерской свиты; 6 – гранодиориты; 7 – рудные зоны

Fig. 5. The graphs for Au, Ag (a secondary geochemical aureole), a  $V_{\text{ep}}$  potential of the natural field and anomalous magnetic field ( $\Delta T_a$ ), and resistivity value over the Natalka ore field (according to E. E. Vorobjova, 1986): 1 – thin silty-clay rocks of the Indian Stage; 2 – polymictic sandstones, silty-clay rocks, infrequent conglomerate beds from Staratelskaya Suite; 3 – siltstones and clays; sandstones and tuffaceous shales from Omchak Suite; 4 – tuffaceous shales intercalating with clay rocks, siltstones and sandstones from Atkansкая Suite; 5 – clay rocks with thin intercalations of sandstones, and silstones and clays from Pionerskaya Suite; 6 – granodiorites; 7 – ore areas



Таблица 3. Петрофизические параметры минералов рудного поля  
Table 3. The petrophysical characteristics of minerals from the ore field

Номер группы	Минерал	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>			$\rho$ , Ом·м					$\chi \cdot 10^5$ , ед. СИ		
		3	5	7	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>12</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>
1	Галенит											
	Арсенопирит			—								
	Пирит		—									
	Магнетит		—									—
	Марказит		—									
	Пирротин		—									—
	Графит											
	Сидерит											
	Ильменит		—									
	Халькопирит		—									
	2	Касситерит			—							
Гематит			—									—
Сфалерит			—									—
Шеелит				—								—
Антимонит			—									—
3	Хлорит		—									—
	Мусковит		—									—
	Кварц											—
	Кальцит											—
	Серицит											—

нералов, указывает на увеличение присутствия минералов 1-й и 2-й группы и ведет к значительному уменьшению кажущегося удельного сопротивления среды. Размах (геометрические параметры) распространения минералов 1-й и 2-й группы значителен и, судя по области повышенных значений плотности, магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности, на примере Наталкинского рудного поля, имеет величины, соизмеримые по простиранию с проекцией или выходами субвертикальной зоны проводимости, приуроченной к Омчакскому рудному узлу. Эти процессы носят региональный характер (первый уровень петрофизической зональности) и в основном обеспечивают аномально низкое сопротивление среды. Там, где эти процессы не проявлены или проявлены слабо, ожидать промышленно значимую золотую минерализацию, по-видимому, маловероятно. Процессы, при которых происходит образование минералов 3-й группы, связаны с уменьшением значений ПФП или их дифференциацией, имеют узлокальное (второй уровень зональности) развитие и в силу этого обладают меньшим влиянием на характер распределения параметра кажущегося сопротивления.

### ВЫВОДЫ

1. Субвертикальные зоны повышенной электропроводности фиксируют флюидопроводящие каналы, инициирующие площадные физико-

химические процессы, приводящие к резкому изменению физических свойств горных пород и руд, слагающих месторождения, рудные поля и узлы. Выделенные типы изменений находят свое отражение в установленных закономерных вариациях ПФП горных пород и руд. При этом сульфидизация и графитизация объясняют пониженное сопротивление верхней части зоны. А самая проводящая часть аномалии, расположенная ниже 5–10 км, по-видимому, связана с совокупным эффектом наличия электронных (сульфиды и оксиды металлов, графит) и ионных (циркуляцией минерализованных флюидов в субвертикальных трещинах) типов проводимости.

2. Наталкинское рудное поле характеризуется (в изученных интервалах – в плане до 4–5 км и по падению не менее 1 км) высокими значениями ПФП. При значениях магнитной восприимчивости, превышающих «парамагнитный уровень», существует устойчивая зависимость между значениями этого параметра и концентрацией ферромагнитных минералов. Высокие значения магнитной восприимчивости, плотности и (частично) остаточной намагниченности могут являться индикатором наличия рудных (электропроводящих и высокоплотных) минералов (1-я и 2-я группа), развитие которых отвечает первому уровню петрофизической зональности и является причиной формирования зон высокой проводимости и поляризуемости, положительных дифференцированных магнитных полей.

3. Рудные зоны и залежи Наталкинского месторождения характеризуются М-образным графиком поведения петрофизических параметров на фоне их повышенных значений. Процессы, приводящие к такому поведению ПФП, связаны с формированием рудных минералов 3-й группы и отвечают за второй уровень петрофизической зональности. Аномальный эффект ПФП самих рудных зон и залежей второго уровня петрофизической зональности имеет локальный характер распространения и поэтому обладает незначительным влиянием на характер распределения параметра сопротивления в объеме рудно-поля или узла.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Алевская Н. Л., Хасанов И. М.* Геоэлектрический образ верхней части земной коры рудных узлов Центрально-Колымского региона // Наука Северо-Востока России – начало века. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2005. – С. 238–241.

*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.

*Гаитольд В. В.* Геолого-структурные особенности локализации золотого оруденения наталкинского типа и его геолого-экономическая оценка на примере месторождений Омчакского рудного узла (Магаданская область) : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Магадан, 2006. – 22 с.

*Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А.* 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.* К генезису и динамике формирования Наталкинского золоторудного месторождения // Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей – достижения и перспективы : материалы науч.-практ. конф. 4–6 апр. 2006 г. – М. : ЦНИГРИ, 2006. – С. 55–59.

*Петров А. В., Демура Г. В., Никаноров В. В., Лыхин А. А.* Система программ корреляционно-статистической обработки геофизических данных на ЭВМ // Теория и практика геологической интерпретации гравиметрических и магнитных аномалий : тез. Всесоюз. семинара им. Д. Г. Успенского. – Алма-Ата, 1990. – С. 35.

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

*Шарафутдинов В. М.* Отражение палеотемпературных полей интрузивного массива в петромагнитных параметрах экзоконтактной зоны // Сейсмологические и петрофизические исследования на Северо-Востоке России. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 1992. – С. 177–207.

*Шарафутдинов В. М.* Зональность петрофизических параметров процесса оруденения (на примере золоторудного месторождения Школьное) // Астеносфера и литосфера Северо-Востока России (структура, геокинематика, эволюция). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – С. 121–134.

*Шарафутдинов В. М.* Некоторые вопросы распределения петрофизических параметров и магнитоэлектрических полей золоторудного месторождения Наталка // Наука Северо-Востока России – начало века. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2005. – С. 231–234.

*Шолто Л. Е.* Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. – Л. : Недра, 1977. – 183 с.

*Поступила в редакцию 09.06.2006 г.*

## SPATIAL AND GENETIC RELATIONSHIPS BETWEEN THE AREAS OF ANOMALOUS PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS, ORE MINERALIZATION AND DEEP HIGH-CONDUCTIVE SUBVERTICAL ZONE WITHIN THE NATALKA LODE AREA

*V. M. Sharafutdinov, I. M. Khasanov*

The rocks and minerals from the Natalka Gold Lode were examined, both horizontally and vertically, in terms of their petrophysical characteristics. A two-level petrophysical zonality is established, that has relationships with ore areas, an interzonal area and wall rocks subject to alteration. A subvertical conductivity zone related to the Omchak Mineral Area is shown to have both spatial and genetic relationships with petrophysical changing characteristics, which represent mineralogic composition of metasomatic rocks and ore minerals.

**Key words:** petrophysical characteristics, magnetotelluric sounding, geoelectric section, subvertical conductivity zone, petrophysical zonality, ore deposit.