

# ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРТОВО КОРЫТО (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ, ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ) И ВОЗМОЖНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Соколов С.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

*Рассмотрена петрофизика золоторудного месторождения Чертово Корято. Выделено три петрофизических комплекса (ПФК): 1. Метаосадочные отложения с углеродистым веществом (электродный потенциал (ЭП) до  $-400$  мВ) и сульфидами (ЭП до  $-230$  мВ):  $\chi$ , в основном, до  $50 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ,  $\sigma = 2,55-2,85$  г/см<sup>3</sup>,  $U = 8,32$  г/т,  $Th = 26,48$  г/т,  $K = 4,23$  %; 2. Метаосадочные отложения с углеродистым веществом (ЭП =  $0$  мВ), сульфидами, карбонатами и золотом:  $\chi$  до  $1200 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ за счёт пирротина,  $U = 4,4$  г/т,  $Th = 14,19$  г/т,  $K = 3,44$ %,  $\sigma = 2,75-2,85$  г/см<sup>3</sup>; 3. Березиты с сульфидами и золотом:  $\chi$  до  $700 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ;  $U = 3,70$  г/т,  $Th = 9,72$  г/т,  $K = 2,10$  %,  $\sigma = 2,85-2,9$  г/см<sup>3</sup>. Вероятно, первыми по времени сформировались породы ПФК 1. Породы ПФК 3 отвечают заключительному этапу формирования месторождения.*

## Введение

Месторождение Чертово Корято расположено на севере Байкало-Патомской золотоносной провинции в пределах Кевактинского рудного узла Тонодского рудного района.

Открытие во второй половине прошлого столетия в центральной части провинции месторождения золота Сухой Лог, чьи запасы составляют более 1500 т, стало кульминацией работы нескольких поколений геологов, изучавших эту территорию.

Другие золотоносные территории, в частности, Тонодский рудный район продолжают оставаться недостаточно изученными. Выявление нескольких объектов, подобных месторождению Чертово Корято с запасами 100 тонн, в совокупности будет сопоставимо с запасами центральной части провинции.

Характерной чертой месторождения Чертово Корято является сочетание двух разрывных структур: пологой рудовмещающей и крутой, рассматриваемой как рудоподводящий канал. Это свойство придаёт месторождению особый петрофизический облик.

Пологие рудовмещающие структуры, по всей видимости, характерны не только для Тонодского рудного района, но и для других территорий Байкало-Патомской золотоносной провинции в силу условий её геодинамического развития [1].

В настоящей работе дана характеристика и предложена последовательность формирования петрофизических комплексов месторождения Чертово Корято, что позволяет понять природу его геофизических аномалий и способствует выявлению аналогичных рудных объектов в пределах недостаточно изученных площадей.

## Геологическое строение месторождения Чертово Корято

Руды месторождения Чертово Корято развиты в нижнепротерозойских терригенно-осадочных отложениях михайловской свиты с содержанием углеродистого вещества до 2 %. Метапесчаники и метаалевролиты составляют до 90 % объёма вмещающих пород и по степени преобразований отвечают начальным изменениям эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма [2].

Главными рудными минералами являются пирит, пирротин, арсенопирит, в меньших количествах встречаются галенит, сфалерит, халькопирит. Основная масса сульфидов в форме вкрапленников и прожилков сосредоточена в апосланцевых метасоматитах, тыловые зоны которых отвечают березитовой формации. Золото чаще встречается в кварце.

Пологая структура, вмещающая рудную залежь месторождения, приурочена к ядерной части субширотной Михайловской синклинали и на востоке месторождения сочленяется с рудоподводящим крутопадающим разломом. Оба нарушения погружаются на запад-юго-запад под углами 15–20° и 60° соответственно.

### **Методика исследований**

Площадные магнитные ( $\Delta T$ ) и гамма-спектрометрические наблюдения выполнялись в 2006 г. по сети размером 100×10 м и 100×20 м, соответственно. Дополнительно использованы результаты измерения естественного электрического поля (ЕП) по сети 100×20 м 1973–1980 г.г.

На месторождении Чертово Кoryто проведена серия петрофизических исследований: измерение магнитной восприимчивости, измерение электродных потенциалов и плотности, нейтронно-активационный анализ.

Все свойства пород изучались на керне разведочных скважин. Изучен материал 33 скважин по 4 буровым линиям (БЛ). При измерении  $\chi$  на каждом метре керна через равные промежутки делалось минимум 3 измерения. Всего выполнено 14500 измерений. Для измерений применялся прибор ПИМВ.

Электродные потенциалы измерялись на углеродистом веществе и сульфидах по отношению к неполяризуемому медному электроду. Исследовано 369 образцов по БЛ 7, 8а, 19, 30. Для этих же образцов методом гидростатического взвешивания определялась плотность.

Нейтронно-активационный анализ (НАА) проводился в ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета. Всего изучена 181 проба.

### **Петрофизические комплексы месторождения Чертово Кoryто**

Результаты исследований позволяют выделить три петрофизических комплекса. К ПФК 1 относятся метаосадочные отложения с углеродистым веществом и сульфидами. На углеродистом веществе зафиксированы ЭП до –400 мВ (рис. 1).

Из сульфидов наиболее интенсивный ЭП = –230 мВ зафиксирован на пирите. Значения  $\chi$  в породах ПФК 1 в основном до  $50 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В единичных случаях  $\chi$  достигает  $100 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (рис. 1Б).

Породы ПФК 1 отличается максимальной концентрацией радиоактивных элементов на месторождении (таблица).

Плотность пород ПФК 1 варьирует вместе с содержанием в них сульфидов, главным образом, от  $2,55 \text{ г/см}^3$  до  $2,75 \text{ г/см}^3$ . В нескольких образцах отмечались тонкие линзы поляризуемого углеродистого вещества среди карбонатизированных прожилков. Плотность таких образцов  $2,75\text{--}2,85 \text{ г/см}^3$ .

Карбонатизация характерна в большей мере для пород ПФК 2 и особенно ПФК 3. Они же содержат кондиционные концентрации золота. Углеродистое вещество в породах ПФК 2 не поляризуется (ЭП = 0 мВ), при этом  $\chi$  пород достигает  $1200 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ (рис. 1В). Плотность изменяется в диапазоне  $2,75\text{--}2,85 \text{ г/см}^3$  в зависимости от

содержания карбонатов и сульфидов. Средние концентрации радиоактивных элементов  $U = 4,4$  г/т,  $Th = 14,19$  г/т,  $K = 3,44$  %.

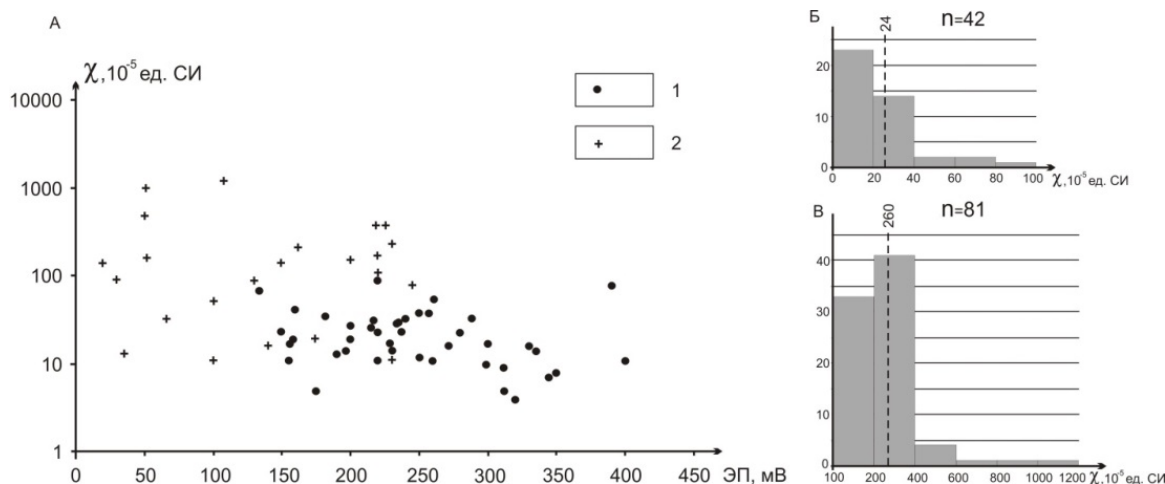


Рис. 1. Поле корреляции ЭП и  $\chi$  (А), распределение  $\chi$  в образцах с поляризующимся (Б) и неполяризующимся (В) углеродистым веществом. 1 – образцы с поляризующимся углеродистым веществом; 2 – сульфиды.  $n$  – мощность выборки, пунктиром показано среднее значение  $\chi$ .

Распределение  $U$ ,  $Th$ ,  $K$  в породах месторождения по данным НАА

	Литология	Содержания элементов*			Коэффициенты корреляции			Кол-во проб
		$U$ , мкг/г	$Th$ , мкг/г	$K$ , %	$U$ , $Th$	$U$ , $K$	$Th$ , $K$	
ПФК 2	Песчаник	4,04	13,22	2,71	0,53	0,30	0,01	50
	–	1,53	3,88	1,32	–	–	–	–
	Алевролит	3,29	12,59	2,70	0,34	0,25	0,19	29
	–	1,29	2,45	1,53	–	–	–	–
	Аргиллит	5,87	16,75	4,91	0,79	0,22	0,24	31
	–	3,09	6,84	2,11	–	–	–	–
ПФК 3	Березит	3,70	9,72	2,10	0,69	0,13	-0,40	16
	–	2,44	4,87	1,21	–	–	–	–
ПФК 1	Породы с поляризующимся УВ	8,32	26,48	4,23	0,8	0,58	0,90	17
	–	5,07	13,04	2,13	–	–	–	–
	Все образцы	4,80	15,41	3,18	0,75	0,44	0,42	181
	–	2,97	8,01	1,86	–	–	–	–

\* в столбцах верхнее число – среднее арифметическое в выборке, нижнее – стандартное отклонение.

Березиты выделены в ПФК 3 и имеют самое низкое содержание  $K$ ,  $U$ ,  $Th$  (см. таблицу) и самую высокую плотность (рис. 2). В них отсутствует УВ. Значения  $\chi$  в березитах варьируют пропорционально содержанию пирротина, достигая  $700 \cdot 10^5$  ед. СИ.

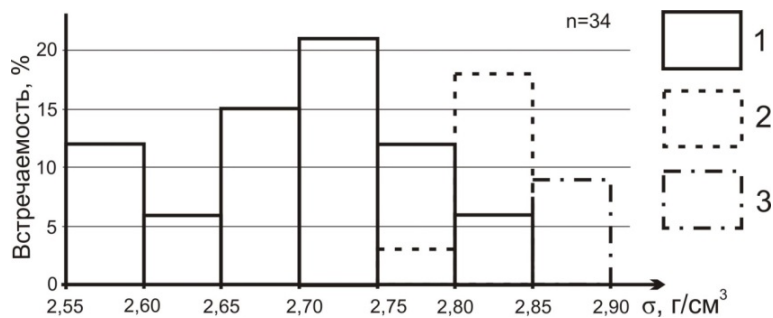


Рис. 2. Плотность пород ПФК 1 (1), ПФК 2 (2), ПФК 3 (3)

### Обсуждение результатов

По всей видимости, на самом раннем этапе формирования месторождения происходило обуглероживание пород. Оно носило зональный характер, потому что было приурочено к дизъюнктивным нарушениям. Обуглероживание привело к появлению интенсивных отрицательных аномалий ЕП. Несколько из них амплитудой до  $-850$  мВ сохранилось на южном и восточном флангах месторождения. Уже к началу обуглероживания породы содержали сульфиды.

Осадочное углеродистое вещество, которым обогащены породы, распространено повсеместно, но оно не создаёт аномалий ЕП.

Последующая циркуляция гидротермальных растворов в зонах разрывных нарушений приводила к изменению пород. Происходила их сульфидизация, результатом которой стало развитие пирротина и, соответственно, резкое увеличение  $\chi$ . Также произошел частичный вынос радиоактивных элементов и карбонатизация пород, на что указывает ассоциация сульфидов с карбонатами.

В результате взаимодействия карбонатизирующих растворов с обуглерожеными породами, последние утратили способность создавать ЭП. Вероятно, это случилось за счёт нарушения целостности углеродных проводников путём внедрения в них диэлектриков в виде тончайших карбонатных прожилков.

В итоге, сформировались породы ПФК 2.

По всей видимости, **на заключительном этапе формирования месторождения**, гидротермальный раствор становился всё более карбонатным, запечатывая кальцитом и анкеритом трещины. Зоны, которые дольше всего оставались проницаемы содержат десятки процентов карбонатов и выполнены березитами. Породы в такие зоны обеднены радиоактивными элементами, имеют самую высокую плотность и относятся к ПФК 3. Характерно, что только в березитах отрицательный коэффициент корреляции между Th и K (см. таблицу) это их отличительная особенность и важный поисковый признак.

### Литература

1. Колмаков Ю.В., Соколов С.В., Гусев Е.В. Геодинамические условия образования месторождений золота в Патомском нагорье, Восточная Сибирь: факторы их проявления в аномалиях магнитного поля // Отечественная геология. – 2010. – № 4. – С. 8–14.
2. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корыто // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.