

Сазонов В.Н., Коротеев В.А., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Великанов А.Я. Золото в «черных сланцах» Урала // Литосфера. 2011. № 4. С. 70–92.

Сначев А.В., Рыкус М.В., Сначев М.В., Романовская М.А. Модель золотообразования в углеродистых сланцах Южного Урала // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2013. № 2. С. 49–57.

Шумилова Т.Г., Шевчук С.С., Исаенко С.И. Металлоносность и углеродное вещество в уральских породах черносланцевого типа // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469. № 1. С. 86–90.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Москва–Берлин: Директ-Медиа, 2015. 272 с.

Gadd M.G., Peter J.M., Jackson S.E., Yang Z., Petts D. Platinum, Pd, Mo, Au and Re deportment in hyper-enriched black shale Ni-Zn-Mo-PGE mineralization, Peel River, Yukon, Canada // Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 107. P. 600–614.

**М.С. Несват**

*Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ), г. Новочеркасск  
misha\_nesvat@mail.ru*

### **Сравнительная характеристика рудных типов Воронцовского золоторудного месторождения (Свердловская область) (научный руководитель – к.г.-м.н. А.А. Бутенков)**

Целью работы является исследование особенностей вещественного состава типов руд Воронцовского месторождения золота (Северный Урал). Основой для работы стали материалы, собранные во время прохождения научно-производственной практики в ЗАО «Золото Северного Урала». Изучены пять сортов руд по данным технологического опробования, проведенного при разведочных работах на месторождении. Используются результаты химических и минералогических анализов, выполненных по 15 технологическим пробам (по три пробы на каждый сорт руды). Методика работ включала составление таблиц со средними значениями показателей вещественного состава для каждого рудного типа, описание минерального и химического состава, выявление характерных особенностей каждого рудного типа, сравнение их между собой, а также установление связей между составом коренных и выветрелых руд. Особое внимание уделено формам нахождения Au и распределению его концентраций между сортами руд.

Воронцовское золоторудное месторождение находится в Краснотурьинском районе Свердловской области на восточном склоне Северного Урала [Баклаев, Усенко, 1989; Азовскова и др., 2013]. Месторождение приурочено к вулканоплутоническому поясу субмеридионального простирания, который образовался в результате коллизии Тагильской островной дуги и Восточно-Уральского микроконтинента. Месторождение находится в зоне одноименного надвига в западном экзоконтакте Ауэрбаховской интрузии габбро-диоритовой формации. Геологический разрез месторождения слагают осадочные и вулканогенно-осадочные породы андезитовой формации краснотурьинской свиты и мезо-кайнозойские карстовые отложения. Рудовмещающими являются породы нижней, фроловско-васильевской толщи краснотурьинской свиты, сложенной мраморизованными известняками. Вдоль надвига известняки брекчированы,

и с этими метасоматически измененными брекчиями связаны основные рудные тела Воронцовского месторождения.

Основные рудные тела месторождения сложены сульфидно-карбонатными и сульфидно-силикатными рудами и их окисленными разностями в корах выветривания. Менее развиты сульфидно-скарновые руды. Пластообразные пологозалегающие рудные тела локализуются на контакте мраморизованных известняков и вышележащих кремнистых вулканогенно-осадочных пород и приурочены к трещинам оперения надвига. Рудные тела сопряжены с зонами кварц-серицитового метасоматоза, низкотемпературной гидротермальной аргиллизации и джаспероидизации. На выходе первичных руд к поверхности в мезокайнозойский период развития месторождения его структура претерпела изменения вследствие результата процессов выветривания и карстообразования, а в корах выветривания сформировались тела рыхлых окисленных руд, приуроченных к карстовым структурам [Бобров и др., 1999].

В таблицах 1 и 2 приведены значения средних содержаний компонентов каждого типа руд. Изучение результатов анализов по технологическим пробам позволило определить характерные особенности вещественного состава каждого рудного типа.

Сульфидно-карбонатные руды – наиболее распространенные среди коренных рудоносных образований – представлены сульфидизированными брекчиями известняка. В их химическом составе преобладают CaO и CO<sub>2</sub> (Σ 67.2 %). Сумма SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO и MgO составляет 17.7 % (табл. 1). Такие соотношения отражаются в минеральном составе руд, где преобладает кальцит (75 %), а также присутствует слюдино-кварц-полевошпатовая ассоциация (Σ 11.5 %). Рудная минерализация представлена сульфидами (общее содержание достигает 12 %, преобладают пирит и марказит

Таблица 1

### Химический состав типов руд

Компоненты	Окисленные смещенных и перетолженных кор выветривания	Окисленные структурных кор выветривания	Сульфидно-скарновые	Сульфидно-силикатные	Сульфидно-карбонатные
	Содержание, %				
SiO <sub>2</sub>	47.0	60.78	22.0	50.0	9.1
TiO <sub>2</sub>	3.74	0.47	0.13	0.7	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.72	17.54	4.13	15.5	3.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.2	21.32	36.0	7.0	2.6
FeO	1.83	0.37	8.6	0.75	0.27
MnO	2.52	0.08	0.51	0.25	-
MgO	0.96	0.78	3.4	2.98	1.93
CaO	3.1	1.11	12.5	7.3	43.7
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.48	0.33	1.7	0.25
K <sub>2</sub> O	1.68	5.13	0.12	3.4	0.82
H <sub>2</sub> O	1.44	1.03	0.2	0.82	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.18	0.45	0.34	0.21
CO <sub>2</sub>	2.63	0.04	2.5	4.1	23.5

Таблица 2

## Фазовый состав золота по типам руд

Фазовый состав	Типы руд				
	Окисленные структурных кор выветривания	Окисленные смещенных и переотложенных кор выветривания	Сульфидно-скарновые	Сульфидно-силикатные	Сульфидно-карбонатные
	Содержание Au, г/т				
Свободное золото с чистой поверхностью, извлекаемое амальгамацией	0.87	2.06	1.70	0.68	1.68
Золото в сростаниях с породой и очень тонкое свободное, извлекаемое цианированием	1.90	2.18	1.51	1.41	5.09
Золото с кислоторастворимыми покрытиями (гидроксиды Fe)	0.025	0.087	0.056	0.07	0.84
Золото, связанное с сульфидами	0.007	0.029	0.12	0.55	1.23
Золото, связанное с минералами вмещающих пород: кварцем и полевыми шпатами	0.1	0.06	0.136	0.13	0.16
Среднее содержание Au	0.58	0.88	0.7	0.57	1.8

– 10.8 %). Эти руды являются наиболее продуктивными на месторождении – среднее содержание Au в них соответствует 1.8 г/т (0.16–5.09 г/т) (табл. 2). Золото в данном рудном типе связано с пирротин-арсенопиритовой и аурипигмент-реальгаровой минеральными ассоциациями.

Сульфидно-силикатные руды залегают среди кварц-серицитовых метасоматитов по вулканогенно-осадочным породам. Они развиты на месторождении в верхних частях рудных тел. Химический состав руд состоит из SiO<sub>2</sub> на 50 %, а также Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO и MgO (Σ 26.2 %) (см. табл. 1). В рудах доминируют полевые шпаты, кварц и слюды (Σ 58.1 %). Сульфиды представлены в количестве 9.6 %, из них 8.7 % приходится на пирит. Также присутствует магнетит (0.1 %). По золотоносности данный рудный тип ощутимо уступает сульфидно-карбонатным рудам – среднее содержание Au составляет 0.57 г/т (0.13–1.41 г/т) (см. табл. 2). Золото связано с сульфидами арсенопирит-пиритовой ассоциации.

Сульфидно-скарновые руды относительно слабо распространены в пределах месторождения и залегают преимущественно на его северном и южном флангах. В химическом составе руд здесь преобладает Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (36 %), сумма SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и

MgO составляет 42 % (см. табл. 1). Минеральная ассоциация представлена пироксеном, гранатом, цоизитом, эпидотом и кальцитом ( $\Sigma$  36.7 %). Среди рудных минералов преобладает магнетит (45.0 %), на долю сульфидов приходится менее 5 %. Золотоносность сульфидно-скарновых руд, в среднем, составляет 0.7 г/т (0.06–1.7 г/т) и связана с рассеянной сульфидной вкрапленностью (см. табл. 2).

Окисленные рыхлые руды структурных кор выветривания расположены на продолжении коренных рудных тел и образуют пласты мощностью до 20 и более метров. В химическом составе руд преобладает  $\text{SiO}_2$  (60.78 %), сумма  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 38.9 % (см. табл. 1). В количестве 5.13 % присутствует  $\text{K}_2\text{O}$ . Минеральный состав нерудной массы представлен кварцем (33.03 %), гидрослюдами (28 %), каолинитом (10.23 %) и монтмориллонитом (7.87 %). Также присутствует лимонит (7.46 %) и в малом количестве – смектит, галлуазит и ярозит. Золото приурочено, в основном, к нижним зонам элювия, примыкающим к первичным сульфидно-силикатным рудам. Среднее содержание Au составляет 0.1 г/т (0.007–1.9 г/т).

Окисленные рыхлые руды смещенных и переотложенных кор выветривания сформировались при смещении по склонам карстовых впадин структурных кор выветривания сульфидно-силикатных и сульфидно-карбонатных руд либо были преобразованы вторичными карстовыми процессами. Рудные тела среди смещенных глинисто-дресвяно-щербнистых кор выветривания обычно имеют линзовидную форму. Химический состав руд включает  $\text{SiO}_2$  (47 %), сумма  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 30.92 % (см. табл. 1). Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  по сравнению с элювиальными рудами ниже (до 1.68 %). Минералы представлены кварцем (22.5 %), монтмориллонитом (17.3 %), каолинитом (16.1 %) и гидрослюдами (10.2 %). Лимонит содержится в количестве 13 %. В реликтах присутствуют эпидот и карбонаты. Содержания Au варьируют от 0.06 до 2.18 г/т, в среднем, составляя 0.88 г/т (т. е. содержание повышено по сравнению с окисленными рудами элювия).

Примечательно то, что для всех исследуемых типов руд 70 % и более золота связано со свободными формами, находящимися в сростаниях с породой. Среди коренных руд наиболее золотоносными являются сульфидно-карбонатные, а среди руд выветривания – смещенные и переотложенные. Просматривается отчетливая связь между коренными сульфидно-карбонатными и сульфидно-силикатными рудами, с одной стороны, и рудами смещенных и переотложенных кор выветривания – с другой. Это проявлено в наличии в последних реликтовых форм эпидота и карбоната.

## Литература

*Азовскова О.Б., Баранников А.Г., Смагин И.В., Ровнушкин М.Ю.* Полигенная природа окисленных руд Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал) // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений. Мат. Всерос. конф. М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 120–123.

*Баклаев Я.П., Усенко А.И.* Ауэрбахо-Турьинское рудное поле. Скарново-магнетитовая формация Урала. Средний и Южный Урал. Свердловск, 1989. С. 25–58.

*Бобров В.Н., Хрыпов В.Н., Кусмауль Э.Г.* Геология и методика разведки Воронцовского золоторудного месторождения // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства. Мат. межд. конф. Екатеринбург: УГГА, 1999. С. 71–73.