

ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ГУМШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ: МОРФОЛОГИЯ, СОСТАВ, ЗОНАЛЬНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Александр Александрович Малюгин¹,
malyugin.54@mail.ru
Алина Фанильевна Халилова¹,
Оксана Борисовна Азовскова^{1,2},
jazovskova@yandex.ru
Михаил Юрьевич Ровнушкин²

¹Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург
²Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург

Актуальность исследований определяется необходимостью детального изучения состава и изменений самородного золота в условиях гипогенно-гипергенных процессов в пределах Гумшевского месторождения. Методами исследования являются рентгеноспектральный микроанализ, растровая электронная микроскопия.

Цель исследования – получение данных по гранулометрическому, морфологическому и химическому составу самородного золота для выявления вертикальной зональности в его распределении в пределах верхней части месторождения.

Результаты исследований. Проведено изучение самородного золота из рыхлых образований рудоносного карста (Cu, Au) и аргиллизитов Гумшевского медноскарнового месторождения (Средний Урал). Рассматриваются вариации гранулометрического, морфологического и химического состава золота на разных уровнях глубинности опробованного разреза продуктивной рудной зоны. Выявлены признаки вертикальной зональности в распределении золота по гранулометрическому и химическому составам, а также в соотношении основных его морфотипов. Показано, что при общем преобладании на всех уровнях мелкого и тонкого золота (< 0,15 мм) с глубиной возрастает средняя крупность частиц золота. Наблюдается существенный разброс пробыности – от 591 ‰ до ≥ 980 ‰, при этом большая часть золота относится к высокопробному, а низкопробное золото и электрумы встречены только в верхней части разреза (до 35 м). По соотношению указанных примесей в составе минерала выделяются три геохимических типа самородного золота: золото-серебряный, золото-серебро-медный и золото-медный. Наибольшей частотой встречаемости на месторождении характеризуется Au–Ag–Cu тип, составляющий от 47 % в верхней части рудной зоны до 70 % на глубинах более 50 м. Чистые Au–Cu природные сплавы встречаются существенно реже, составляя не более 5 % . От 25 до 51 % приходится на Au–Ag сплавы.

Выводы: выделены морфологические и геохимические типы золота, получен данные по их распределению в разрезе месторождения.

Ключевые слова: Средний Урал, Гумшевское месторождение, кора выветривания, аргиллизиты, золото, гранулометрический состав, морфология, проба, элементы-примеси, вертикальная зональность.

Введение
Гумшевское меднорудное месторождение, изучение и разработка которого насчитывает более двух тысяч лет, является геологическим и историческим символом Урала, своеобразным памятником горного дела в нашем регионе. Менялись представления о генезисе и типах руд месторождения, способы добычи медной руды, технологические схемы переработки руд, однако оно до сих привлекает внимание исследователей и промышленников. В настоящее время, несмотря на обилие данных по золотонности так называемых «медистых глин» (окисленные руды) и первичных железо-медных скарных руд, разработка верхней части месторождения, осуществляемая способом подземного выщелачивания, ориентирована исключительно на медь.

Первые сведения о золотонности руд появились достаточно давно [1]. Известно также и то, что вблизи месторождения в радиусе около 10 км в разные годы были выявлены и отчасти разрабатывались мелкие россыпи золота. Золото в них было преимущественно слабо- и среднеокатанное, что свидетельствовало о сравнительно близком расположении коренных источников. Анализ геологической ситуации и особенностей как рудного, так и россыпного золота позволяет утверждать, что руды Гумшевского месторождения также принимали участие в образовании россыпей Полевского района.

Гумшевское месторождение, относимое в настоящее время к скарно-медно-порфировому типу [2–7], локализуется на контакте интрузивных и карбонатных пород девона и приурочено к аллохтонной части сдвига-надвига в зоне крупного разлома, где проявлены метасоматические процессы: скарнирование, пропилизитация, березитизация и аргиллизация [8, 9]. Медистые глины возникли при последующем выветривании первичных скарных руд, их перемещении и накоплении глинистого материала в зоне глубокого мезозойского карста [9]. Медьсодержащие глинистые породы золотоносны.

При изучении керн скважин геологами Уральской ГПП ОАО «УГЭС» (в том числе авторами статьи) в 1990-х гг. была установлена связь благороднометалльной минерализации с пиритизированными аргиллизитами [10, 11], наложенными на «медистые глины», что позволило рассматривать оруденение в ранге самостоятельного гипогенно-гипергенного геолого-промышленного типа [12]. По результатам атомно-абсорбционного и пробирного анализов повышенные содержания золота характеризуют участки наиболее интенсивного развития сульфидной (преимущественно пиритовой) минерализации, причем свободное золото составляет до 10–15 %.

Гранулометрический состав золота

Самородное золото, выделенное при промывке проб медистых глин, отвечает мелким и тонким классам крупности и характеризуется в целом слабой изменчивостью гранулометрического состава (табл. 1, рис. 1).

Во всех интервалах глубин преобладает золото крупностью +0,05–0,1 мм, составляющее от 63,6 до 42,3 % и распределяющееся в вертикальном разрезе внешне незакономерно (табл. 1). Тонкое золото (–0,05 мм) составляет от 3,8 до почти 35 %, причем общее количество его существенно выше в верхней части разреза продуктивной зоны. В противо-

Таблица 1. Гранулометрический состав золота в медистых глинах Гумешевского месторождения, %.
Table 1. Granulometric composition of gold in cupric clays of the Gumeshevskoye deposit, %.

Глубина отбора, м	Количество зерен	Фракции крупности, мм					Среднее, мм
		< 0,05	0,05–0,1	0,1–0,15	0,15–0,25	> 0,25	
4–6	38	26,3	63,3	2,6	7,82	–	0,071
16–27	29	34,5	58,6	6,9	–	–	0,061
28–40	22	27,3	63,6	9,1	–	–	0,066
69–73	26	3,8	42,3	34,6	11,4	–	0,098
122	32	6,3	50,0	25,0	16,7	–	0,072

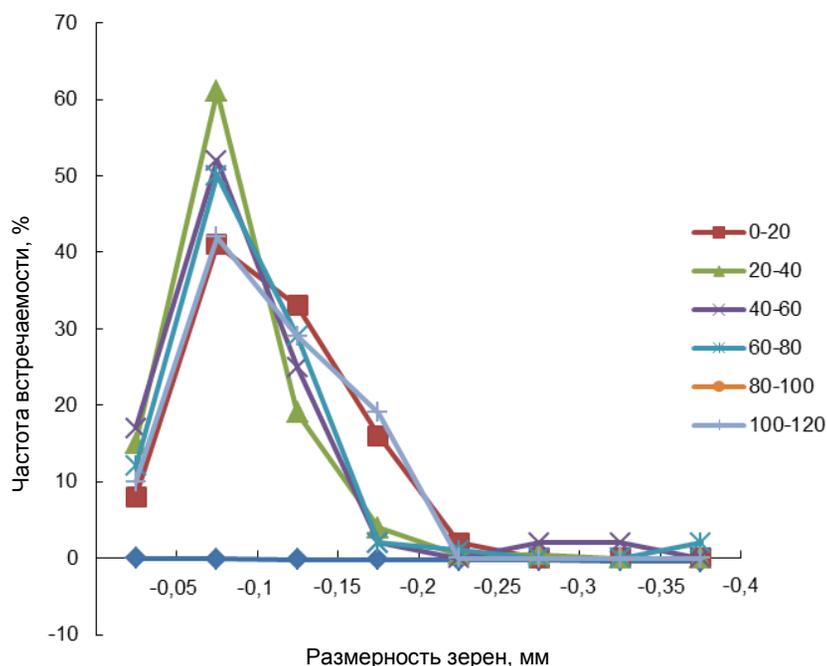


Рисунок 1. Совмещенные графики гранулометрического состава золота на различных глубинах развития гипогенно-гипергенной минерализации Гумешевского месторождения. Справа – интервалы глубины отprobования в метрах.
Figure 1. Combined graphs of the granulometric composition of gold at various depths of development of hypogene-supergene mineralization of the Gumeshevskoye deposit. To the right – intervals of depth of sampling in meters.

Таблица 2. Изменчивость гранулометрического состава золота в вертикальном разрезе аргиллизитов по скважине П-4321.
Table 2. Variability of the granulometric composition of gold in the vertical section of argillizites based on well P-4321.

Глубина, м	Классы размерности частиц, мм					Средний размер, мм
	–0,1	+0,1–0,15	+0,15–0,25	+0,25–0,35	–0,35–0,45	
20–27	93	7,0	0	0	0	0,055
36–44	91	9,0	0	0	0	0,057
46–49	66,7	16,7	0	0	16,7	0,065
69–73	50,0	30,8	7,7	3,8	7,7	0,139

положность ему меняется частота встречаемости золота размерностью 0,1–0,15 мм, доля которого достаточно резко возрастает с глубиной, составляя глубже 60 м более 25 %.

Общий вертикальный размах минерализованной золотоносной толщи и медистых глин составляет не менее 100 м. Однако следует отметить, что эти данные, полученные на ранней стадии изучения, отражают лишь общую картину изменчивости гранулометрического состава золота, поскольку в выборку включен материал из нескольких скважин, пробуренных к тому же на разных, хотя и сближенных (соседних) профилях.

Для получения более корректной модели и лучшего сопоставления вариаций крупности свободного золота с относительной глубиной распространения благороднометалльной минерализации была выбрана одна из наиболее продуктивных представительных скважин (П-4321) в центральной части месторождения, вскрывшая разрез аргиллизированной золотоносной коры выветривания мощностью около 75 м. Представленные в табл. 2 данные отражают характер изменения размерности золота в пределах предполагаемого единичного крутопадающего рудного столба, соединяющегося на глубинах 100 м и более с коренными золотосодержащими сульфидными рудами.

Расчеты показывают направленное (сверху-вниз по вертикали) увеличение средней крупности золота от 0,055 до 0,139 мм, определяемой, с одной стороны, снижением количества зерен тонкой фракции (< 0,1 мм), а с другой – увели-

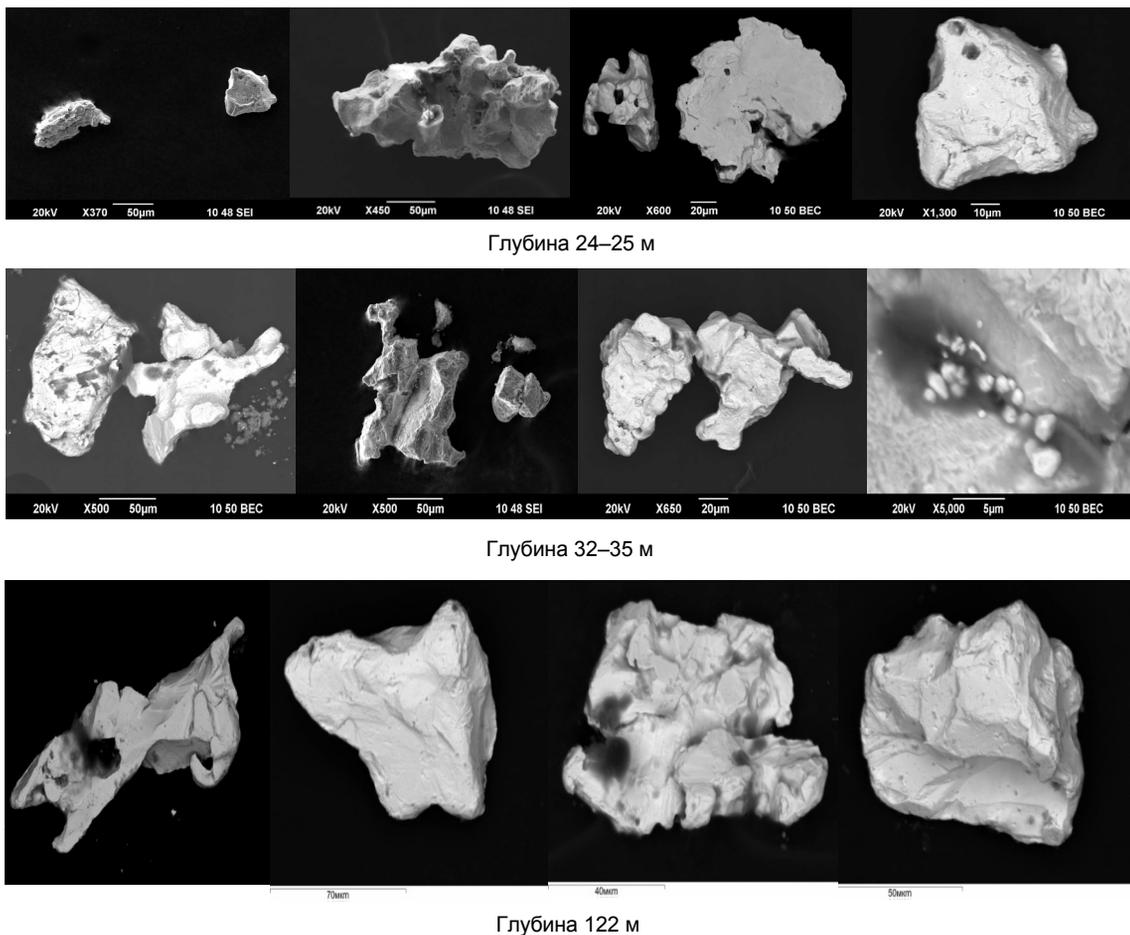


Рисунок 2. Морфологические типы золота из аргиллизитов разных глубинных уровней Гумешевского месторождения (скв. П-4318). Figure 2. Morphological types of gold from argillizite from different depths of the Gumeshevskoye deposit (well П-4318).

чением количества более крупных по размеру золотинок в нижней части разреза аргиллизитов. Аналогичные вариации отмечались и на других месторождениях подобного типа как на Урале [11, 13], так и за рубежом [2, 14–16, 11].

Морфологические особенности золота

Морфологически самородное золото достаточно разнообразно при примерно равном соотношении четырех главных морфотипов (табл. 3, рис. 2): 1) хорошо ограниченные (кристалломорфные) выделения (14,7–44,8 %); 2) комковидные простые и сложные (отростковые) формы (9–21 %); 3) уплотненные (таблитчатые, пластинчатые и чешуйчатые) частицы (26–45 %); 4) удлиненные (проволоко-, бруско-, крючковидные формы), дендриты и дендритоиды (5,2–25,8 %).

В целом изученное золото характеризуется преимущественной распространенностью хорошо (идиоморфные) и частично ограниченных (гемиидиоморфные) частиц, о чем свидетельствует впервые предлагаемый нами «Коэффициент кристалломорфности», отражающий долю частиц минерала (в нашем случае – золото) с полной или не менее чем 50 %-ной природной огранкой, рассчитываемый по формуле

$$K_{кр} = \frac{\Sigma(\text{кристалломорфное} + \text{гемиидиоморфное})}{100}.$$

Частота встречаемости выделяемых морфотипов золотинок с глубиной изменяется волнообразно (табл. 3, рис. 3), исключая комковидные зерна, доля которых по вертикали довольно равномерно снижается с 21 % у поверхности до 9 % на глубине более 100 м.

Такой характер распределения золотинок различного облика в разрезе, очевидно, связан с изменением размеров и морфологии микротрещин (включая трещины спайности в минерале-хозяине), пор и межзернового пространства в породах в момент кристаллизации в них самородного золота. Последнее, на наш взгляд, наглядно демонстрирует кривая изменения отношения уплотненных Пл и изометрично-комковатых Км золотинок по мере увеличения глубины залегания золотой минерализации: на глубинах более 80 м, оно возрастает более чем вдвое – в пользу уплотненных частиц, тяготеющих к тонкому трещинному пространству и межзерновым границам (рис. 3).

Следует отметить, что некоторым золотинок свойственна округленность очертаний, связанная, возможно, с растворением в зоне гипергенеза. На их поверхности часто отмечаются губчатые, пленочные и каплевидные нарастания «нового» золота, традиционно считающегося признаком гипергенного преобразования первичной минерализации [4, 10, 13].

Химический состав самородного золота

Химический состав золота изучался нами и другими исследователями [5, 6, 17] с использованием различных методов анализа, но полученные результаты оказались сходными. Преобладает высокопробное золото [4, 11, 13, 14], хотя в целом вариации пробности весьма значительные – от 591 до 997. Основными примесными компонентами во всех

Таблица 3. Морфологические типы золотин и их распространенность в вертикальном разрезе коры выветривания.
Table 3. Morphological types of gold grains and their prevalence in the vertical section of the weathering crust.

Интервал глубины, м	Морфотипы золотин и их количество, отн. %						
	Идиоморфные	Комковидные	Пластинчатые и чешуйчатые	Прочие формы	ГИ	$K_{кр}$	Пл/Км
0–20	25,4	21,0	45,6	23,6	54,4	0,80	2,17
20–40	36,7	13,5	25,8	23,90	38,7	0,76	1,91
40–60	44,8	17,2	32,8	5,2	39,7	0,84	1,91
60–80	19,4	16,1	38,8	25,8	58,1	0,77	2,26
80–100	Нет данных						
100–120	14,7	8,8	44,1	32,4	55,9	0,7	5,01
140–150	29,0	9,0	32,0	29,0	26,0	0,55	3,60

Примечания: ГИ – гемидиоморфные частицы, $K_{кр}$ – коэффициент кристалломорфности золотин, Пл/Км – соотношение уплощенных и комковидных (условно изометричных) зерен.

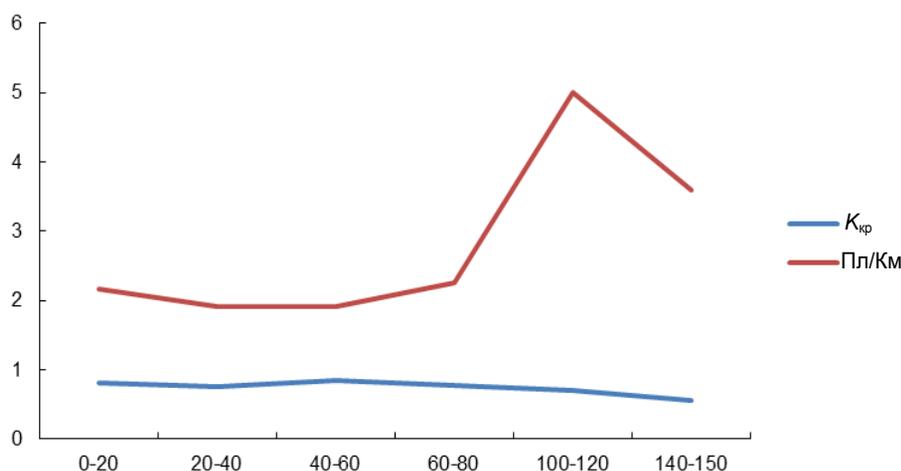


Рисунок 3. Кривые изменения с глубиной коэффициента кристалломорфности $K_{кр}$ и отношения пластинчатых и комковидных форм золотин Пл/Км.

Figure 3. Curves of variation with depth of the crystallomorphism coefficient K_{cr} and the ratio of the plate and clumpy forms of gold, plate/clumpy.

изученных золотилах являются серебро (3,4–17,1 вес. %) и медь (0,1–3 вес. %). Реже отмечается примесь ртути (0,03–6,9 вес. %), мышьяк (до 0,1 вес. %), а в единичных зернах в малых количествах были установлены Te, Pd, Pt. Примечательно, что низкопробное золото и электрумы выявлены только в верхних горизонтах коры выветривания (5–35 м), где они даже преобладают. Установлено также, что примесь меди в самородном золоте (особенно высокие ее содержания) характерна исключительно для участков развития богатых «медистых глин» [12].

Первые данные о составе золота (табл. 4) были получены нами в 1999 г. методом рентгеноспектрального микроанализа (Самеса; аналитик В. Н. Ослоповских) для пяти золотин из скв. П-4321 (интервал глубин 36–40 м).

Частицы золота имели размер 0,15–0,25 мм, форму пластинчатых гексагональных кристаллов (зерна 1, 2, 4; табл. 4) и комковидно-угловатую (зерна 3 и 5). Кроме золота в минерале определялось содержание примесей Ag, Cu, Hg, Pd, As, Te. Изученное золото характеризуется умеренно высокой пробой, определяемой в основном содержанием серебра. Постоянными примесями в минерале являются также медь и мышьяк, что стало неожиданным с учетом того, что изучались внутренние части золотин. В комковидных частицах установлена примесь теллура.

Исследование изменчивости состава по разрезу позже было продолжено с привлечением сканирующего электронного микроскопа с микрозондовой приставкой. Замеры производились на поверхности золотин, и устойчиво высокая пробность золота, вероятнее всего, связана с образованием на золотилах высокопробной каймы, так как зондирование поверхности частиц не выявило гипергенных нарастаний «нового золота», обычно весьма чистого по составу.

Таблица 4. Химический состав самородного золота из скв. П-4321 (глубина 36–40 м).
Table 4. The chemical composition of free gold from the well П-4321 (depth 36–40 m).

Номер зерна	Содержание элементов, мас. %							Проба
	Au	Ag	Cu	Hg	Pd	As	Te	
1	90,94	8,65	0,07	0	0	0,33	0	909
2	96,26	2,90	0,19	0,08	0,09	0,48	0	963
3	87,36	12,19	0,04*	0	0,02*	0,23	0,16	874
4	97,42	2,10	0,07	0	0,05*	0,35	0	974
5	96,64	2,63	0,08	0	0	0,53	0,12	966

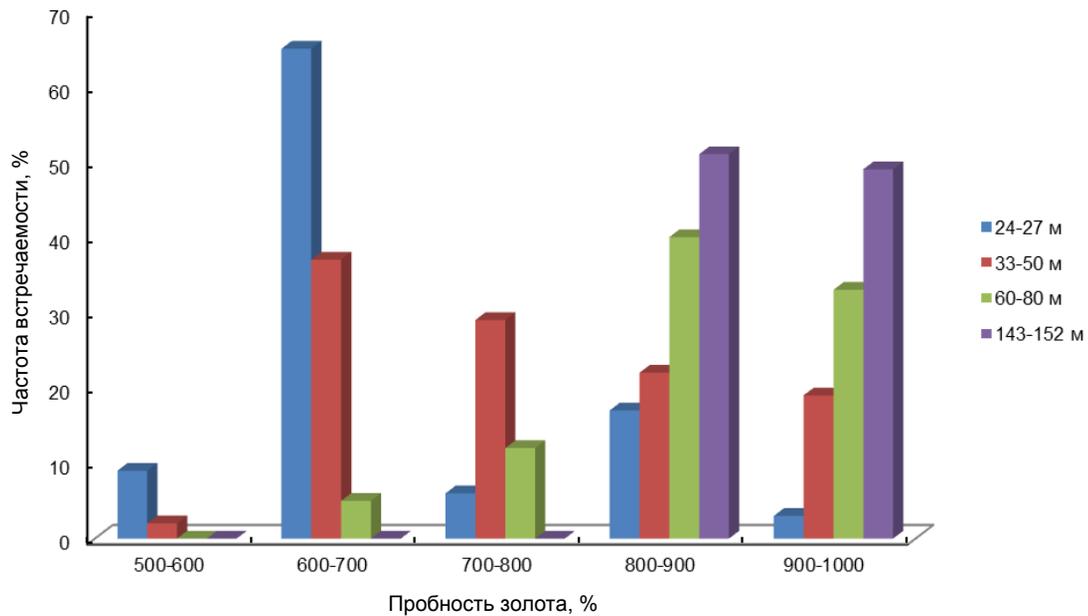


Рисунок 4. Изменение пробности золота из гипогенно-гипергенных руд месторождения с глубиной.
 Figure 4. Change in the fineness of the gold from the hypogene-supergene ores of the deposit with depth.

Таблица 5. Частота встречаемости типов золота по пробности в вертикальном разрезе месторождения.
 Table 5. The frequency of occurrence of gold types by fineness in the vertical section of the deposit.

Проба золота	Частота встречаемости, по уровням глубины опробования, %			
	24–27 м	33–50 м	60–80 м	143–152 м
500–600	9	2	0	0
600–700	65	37	5	0
700–800	6	29	22	0
800–900	17	22	40	51
900–1000	3	19	33	49
Среднее	690	836,5	850,5	899,1

По химическому составу преобладает высокопробное золото, хотя в целом вариации пробности весьма значительные – от 591 до ≥ 980. Основным примесным компонентом (кроме серебра) является медь (от $n \cdot 0,1$ до $n \cdot 1,0$ вес. %); иногда отмечалась примесь ртути (от $n \cdot 0,1$ до 6,9 %), мышьяка ($n \cdot 0,1$ %), изредка отмечалось присутствие в небольших количествах Te, Pd, Pt. Встречены также единичные зерна, представленные сростаниями Au–Ag-теллуридов и золота [5, 6, 17].

Результаты исследования самородного золота (микронзонд САМЕСА SX-100 электронный микроскоп JSM-6390 LV, ИГГ УрО РАН) из скважин прошлых лет и ведущейся эксплуатационной разведки показывают определенные закономерности в распределении золота различной пробности (рис. 4, табл. 5). Верхние части рудоносной толщи (на глубинах до 27–30 м) характеризуются преобладанием золота пониженной пробности (510–700), составляющего более 70 %, в то время как золото пробностью более 800 отмечается существенно ниже, составляя суммарно около 20–25 %. Средняя пробность золота на этом уровне разреза составила 690.

В интервале глубин 30–50 м соотношение типов золота по пробности более равномерное: электрумы составляют здесь лишь первые проценты, низкопробное золото составляет около 40 % в то время как встречаемость золота средней (700–800) и высокой (800–1000) пробности варьирует от 29 до 19 % при средней пробности 836,5. На более глубоких уровнях пробность золота постепенно возрастает: в интервале глубин 60–80 м средняя пробность составляет 851, а на глубинах 140–150 м – 899, 1 [5, 17]. Таким образом, рудную зону месторождения можно вполне четко разделить на две части – верхнюю (до 50 м) с широким развитием в ее пределах низкопробного золота и нижнюю – с золотом средней и высокой пробности.

Результаты исследований показали, что в рудах гипогенно-гипергенного типа Гумешевского месторождения выделяется как минимум две генерации золота: ранняя – средне- и высокопробная, ассоциированная с кварцем, пиритом и галенитом в нижних частях зоны гипергенеза [12], и поздняя – преимущественно низкой пробы, связанная с медно-бромисто-ртутной минерализацией [5, 11, 14, 17].

Основными минералообразующими примесями в самородном золоте месторождения являются серебро и медь, содержания которых в минерале варьирует достаточно широко – от полного отсутствия до первых процентов (медь) и десятков процентов (серебро). По соотношению указанных примесей в составе минерала можно выделить три геохимических типа самородного золота: золото-серебряный, золото-серебро-медный и золото-медный. Наибольшей частотой

**Таблица 6. Геохимические типы золота Гумешевского месторождения.
Table 6. Geochemical types of gold of the Gumeshevskoye deposit.**

Геохимические типы золота	Интервалы глубин		
	До 30 м	До 50 м	Глубже 120 м
	Частота встречаемости, %		
Au–Ag	51	31	25
Au–Cu	2	0	5
Au–Ag–Cu	47	69	70

встречаемости на месторождении характеризуется Au–Ag–Cu тип, составляющий от 47 % в верхней части рудной зоны до 70 % на глубинах более 50 м. Чистые Au–Cu природные сплавы встречаются существенно реже, составляя не более 5 % . От 25 до 51 % приходится на Au–Ag сплавы. **Табл. 6** демонстрирует количественные соотношения выделяемых геохимических типов золота на разных интервалах глубин опробованного разреза и изменения доли каждого из выделенных геохимических типов минерала в вертикальном разрезе рудной зоны.

К примеру, количество золото-серебряных минеральных фаз, максимальное в верхней зоне, снижается вдвое на глубинах ниже 30 м, где одновременно существенно возрастает количество тройных Au–Ag–Cu природных сплавов. При этом к основанию разреза с приближением к первичным медно-скарновым рудам возрастает также и доля золото-медного геохимического типа.

Исследования самородного золота и закономерностей формирования золотоносности в зоне рудного карста Гумешевского месторождения будут продолжены, однако уже сейчас отчетливо просматривается вертикальная зональность в распределении золота по гранолуметрическому и химическому составу, а также в соотношении основных его морфологических и геохимических типов.

Работа выполнена частично в рамках Программы Президиума УрО РАН № 15-11-5-17

ЛИТЕРАТУРА

1. Азовскова О. Б., Ровнушкин М. Б., Малугин А. А. Гумешевское месторождение – от древних времен до наших дней // Уральская минералогическая школа-2013. Екатеринбург: Изд-во Ин-та геологии и геохимии УрО РАН, 2013. С. 12–18.
2. Грабежев А. И., Сотников В. И., Боровиков А. А., Азовскова О. Б. Генетическая типизация Гумешевского медно-скарнового месторождения (Средний Урал) // ДАН. 2001. Т. 380, № 2. С. 41–53.
3. Grabezhev A. I. The Gumeshevo skarn-porphry copper deposits in the Central Urals, Russia: Evolution of the ore-magmatic system as deduced from isotope geochemistry (Sr, Nd, C, O, H) // Geology of Ore Deposits. 2010. Vol. 52, Issue 2. P. 138–153.
4. Hammarstrom J. M., Mihalasky M. J., Ludington S., Phillips J. D., Bergerd B.R., Denning P. D., Dicken C. L., Mars J. C., Zientek M. L., Herington R.J., Seltmann R. Undiscovered porphyry copper resources in the Urals – A probabilistic mineral resource assessment // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 181–203.
5. Plotinskaya O. Yu., Grabezhev A. I., Tossalina S., Seltmann R., Groznova E. O., Abramov S. S. Porphyry deposits of the Urals: Geological framework and metallogeny // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 153–173.
6. Баранников А. Г., Савельева К. П. Состав и строение медистых глин Гумешевского медно-скарнового месторождения // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. Вып. 3 (12). С. 60–68.
7. Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Савельева К. П. Нетрадиционные типы золото-аргиллизитового оруденения в мезозойских структурах Урала // Изв. УГГУ. 2007. Вып. 22. С. 41–53.
8. Баранников А. Г., Савельева К. П., Амирзанова Л. М. О природе формирования медистых глин Гумешевского медно-скарнового месторождения // Изв. УГГУ. 2011. Вып. 25–26. С. 14–22.
9. Савельева К. П., Кокорин Н. П., Костромин Д. А., Малугин А. А., Азовскова О. Б. Проявление полигенного золоторудного метасоматоза в районе Гумешевского медно-скарнового месторождения // Метасоматизм и рудообразование: материалы Всерос. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1997. С. 66–67.
10. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н. Типоморфизм самородного золота // Методические рекомендации для геологоразведочных работ / под ред. А. А. Кривцова, С. С. Вартаняна. М.: ЦНИГРИ, 2003. 70 с.
11. Халилова А. Ф., Азовскова О. Б., Малугин А. А. Низкопробное золото из рудоносного карста Гумешевского и Воронцовского месторождений // Материалы Всерос. Молодеж. школы-конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2016. С. 366–368.
12. Hedenquist J. W., Reid W. F. Epithermal gold: Short course notes. Sydney, NSW, Australia: University of Sydney, Earth Resources Foundation, 1985. 311 p.
13. Sillitoe R. H., Bonham Jr. Sediment-hosted gold deposits: distal products of magmatic-hydrothermal system // Geology. 1990. Vol. 18, № 2. P. 157–161.
14. Петровская Н. В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 345 с.
15. Азовскова О. Б., Малугин А. А., Ровнушкин М. Б. Самородное золото из рудоносного карста Гумешевского месторождения (Средний Урал) / Металлогения древних и современных океанов-2016. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2016. Т. 22. С. 172–176.
16. Азовскова О. Б., Ровнушкин М. Б., Халилова А. Ф. Типоморфные особенности самородного золота в корах выветривания Гумешевского месторождения // Вестник Пермского ун-та. Чтения памяти П. Н. Чирвинского-2017. Пермь, 2017. С. 3–7.
17. Azovskova O. B., Malyugin A. A., Nekrasova A. A., Yanchenko J. Pyrite from zones of MZ-KZ reactivation of large faults on the Eastern slope of the Urals Mountains. Russia // International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering. 2013. Vol. 7, № 7. P. 463–467.

Статья поступила в редакцию 5 марта 2018 г.

Peculiarities of free gold of the Gumeshevskoye deposit: morphology, composition, zonal distribution

Aleksandr Aleksandrovich Malyugin¹,
malyugin.54@mail.ru
Alina Fanil'evna Khalilova¹
Oksana Borisovna Azovskova^{1,2},
jazovskova@yandex.ru
Mikhail Yur'evich Rovnushkin²

¹Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia
²Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

The relevance of research is determined by the need for a detailed study of the composition and changes of free gold in conditions of hypogene-supergene processes within the Gumeshevskoye deposit. The methods of investigation are X-ray spectral microanalysis, scanning electron microscopy. **Purpose of the study** was to obtain data on the granulometric, morphological and chemical composition of free gold to identify vertical zoning in its distribution within the upper part of the deposit.

Results of the research. The study of free gold from regolite of ore-bearing karst (Cu, Au) and argillized rocks of the Gumeshevskoye copper-skarn deposit (Middle Urals) was carried out. Variations in the granulometric, morphological and chemical composition of gold at different depth levels of the tested section of the productive ore zone are considered. The signs of vertical zonation in the distribution of gold by granulometric and chemical compositions, as well as in the ratio of its main morphotypes, are revealed. It is shown that with the general predominance of fine gold (< 0.15 mm) at all levels, the average grain size of gold increases with depth. There is a significant variation in gold fineness from 591 ‰ to ≥ 980 ‰; most of gold is high-grade. Low-grade gold and electrum are found only in the upper part of the section (up to 35 m). By the ratio of these impurities there are three geochemical types of free gold: gold-silver, gold-silver-copper, and gold-copper. The most frequent in the deposit is Au-Ag-Cu type, which is 47% in the upper part of the ore zone to 70% at depths of more than 50 m. Pure Au-Cu natural alloys are much less common, amounting to no more than 5%. From 25 to 51% is accounted for Au-Ag alloys.

Conclusions. The morphological and geochemical types of gold were identified, and data were obtained on their distribution in the deposit section.

Keywords: Middle Urals, Gumeshevskoye deposit, weathering crust, argillizites, gold, granulometric composition, morphology, sample, impurity elements, vertical zoning.

The work was partially implemented within the framework of the Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Ural Branch, no. 15-11-5-17.

REFERENCES

- Azovskova O. B., Rovnushkin M. B., Malyugin A. A. 2013, *Gumeshevskoye mestorozhdeniye – ot drevnikh vremen do nashikh dney* [Gumeshevskoye deposit – from ancient times to the present days]. *Ural'skaya Mineralogicheskaya shkola-2013* [Ural Mineralogical School-2013]. Ekaterinburg, pp. 12–18.
- Grabezhev A. I., Sotnikov V. I., Borovikov A. A., Azovskova O. B. 2001, *Geneticheskaya tipizatsiya Gumeshevskogo medno-skarnovogo mestorozhdeniya* [Genetic typification of the Gumeshevsky copper-skarn deposit] (Middle Urals). *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 380, no. 2, pp. 41–53.
- Grabezhev A. I. 2010, The Gumeshevo skarn-porphyry copper deposits in the Central Urals, Russia: Evolution of the ore-magmatic system as deduced from isotope geochemistry (Sr, Nd, C, O, H). *Geology of Ore Deposits*, vol. 52, issue 2, pp. 138–153.
- Hammarstrom J. M., Mihalasky M. J., Ludington S., Phillips J. D., Bergerd B. R., Denning P. D., Dicken C. L., Mars J. C., Zientek M. L., Herrington R. J., Seltmann R. 2017, Undiscovered porphyry copper resources in the Urals – A probabilistic mineral resource assessment. *Ore Geology Reviews*, vol. 85. P. 181–203.
- Plotinskaya O. Yu., Grabezhev A. I., Tessalina S., Seltmann R., Groznova E. O., Abramov S. S. 2017, Porphyry deposits of the Urals: Geological framework and metallogeny. *Ore Geology Reviews*, vol. 85, pp. 153–173.
- Barannikov A. G., Savelyeva K. P. 2011, *Sostav i stroyeniye medistykh glin Gumeshevskogo medno-skarnovogo mestorozhdeniya* [Composition and structure of median clays of the Gumeshevskoye copper-skarn deposit]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of Perm University. Geology], vol. 3 (12), pp. 60–68.
- Gryaznov O. N., Barannikov A. G., Savelyeva K. P. 2007, *Netraditsionnyye tipy zoloto-argillizitovogo orudneniya v mezozoyskikh strukturakh Urala* [Non-traditional types of gold-argillite mineralization in the Mesozoic structures of the Urals]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], vol. 22, pp. 41–53.
- Barannikov A. G., Savelyeva K. P., Amirzanova L. M. 2011, *O prirode formirovaniya medistykh glin Gumeshevskogo medno-skarnovogo mestorozhdeniya* [On the nature of the formation of median clays of the Gumeshevskoye copper-skarn deposit], *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], vol. 25–26, pp. 14–22.
- Savelyeva K. P., Kokorin N. P., Kostromin D. A., Malyugin A. A., Azovskova O. B. 1997, *Proyavleniye poligenogo zolotorudnogo metasomatoza v rayone Gumeshevskogo medno-skarnovogo mestorozhdeniya* [The manifestation of polygenic gold ore metasomatism in the Gumeshevskoye copper-skarn deposit]. *Metasomatizm i rudoobrazovanie: materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Metasomatism and ore formation: materials of All-Russian conference]. Ekaterinburg, pp. 66–67.
- Nikolaeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N. 2003, Typomorphism of native gold. In: *Methodological recommendations for geological exploration* / Ed. by A. A. Krivtsova, S. S. Vartanyan. Moscow, 70 p.
- Khalilova A. F., Azovskova O. B., Malyugin A. A. 2016, *Nizkoprobnoye zoloto iz rudonosnogo karsta Gumeshevskogo i Vorontsovskogo mestorozhdeniy* [Low-grade gold from ore-bearing karst of Gumeshevskoye and Vorontsovskoye deposits]. *Materials of All-Russian youth school-conference*. Moscow, pp. 366–368.
- Hedenquist J. W., Reid W. F. 1985, Epithermal gold: Short course notes. Sydney, 311 p.
- Sillitoe R. H., Bonham Jr. 1990, Sediment-hosted gold deposits: distal products of magmatic-hydrothermal system. *Geology*, vol. 18, no. 2, pp. 157–161.
- Petrovskaya N. V. 1973, Native gold. Moscow, 345 p.
- Azovskova O. B., Malyugin A. A., Rovnushkin M. B. 2016, *Samorodnoye zoloto iz rudonosnogo karsta Gumeshevskogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Native gold from ore-bearing karst of the Gumeshevskoye deposit (Middle Urals)]. *Metallogeny of ancient and modern oceans-2016*. Miass, vol. 22, pp. 172–176.

16. Azovskova O. B., Ravnushkin M. B., Khalilova A. F. 2017, *Tipomorfnyye osobennosti samorodnogo zolota v korakh vyvetrivaniya Gumeshevskogo mestorozhdeniya* [Typomorphic features of native gold in the weathering crusts of the Gumeshevskoye deposit]. Bulletin of the Perm University. Readings in memory of P. N. Chirvinsky-2017, pp. 3–7.
17. Azovskova O. B., Malyugin A. A., Nekrasova A. A., Yanchenko J. 2013, Pyrite from zones of MZ-KZ reactivation of large faults on the Eastern slope of the Urals Mountains. Russia. *International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering*, vol. 7, no. 7, pp. 463–467.

The article was received on March 5, 2018