



ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОКИСЛЕННЫХ РУД ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АННА И ШИЛОВСКОЕ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УРАЛ

По материалам, полученным в ходе геологоразведочных работ на золото – малосульфидно-кварцевых месторождениях Анна и Шиловское, построены схемы вертикальной геохимической зональности окисленных руд. Верхние, наиболее окисленные части золоторудных тел этих месторождений обеднены Au относительно первичных руд, но обогащены Pb, Sb, Ag, Cu, Zn на месторождении Анна и Pb, Sb, As на месторождении Шиловское. Эти элементы связываются в гипергенных минералах (пироморфит, церуссит, англезит, арсениаты железа, самородная медь, халькозин и др.). При проведении геохимических поисков новых золоторудных объектов на территориях с интенсивно проявленными процессами окисления руд рекомендуется использовать аддитивные ореолы элементов, накапливающихся вверху окисленных золоторудных тел.

Ключевые слова: вертикальная рудно-геохимическая зональность, окисленные руды, поиски золоторудных месторождений, гипергенные рудные минералы.

Золоторудные месторождения Анна и Шиловское расположены в Медведско-Свердловском синклинии восточного фланга Среднего Урала. Их руды принадлежат к золото-кварцевой и золото-малосульфидно-кварцевой формациям. Согласно материалам государственной геологической съёмки, в пределах листов О-41, О-41-ХІХ, О-41-ХХV [5–7] к аналогичным рудным формациям относятся руды ещё 13 месторождений региона (рис. 1). Для золотых руд подобного типа характерны низкое содержание сульфидов (до 1–3 %), карбонатно-кварцево-прожилково- жильная форма локализации рудной минерализации, свободное легко извлекаемое с помощью гравитации и цианирования золото. Руды затронуты процессом окисления, распространившимся на значительную глубину. Так, на месторождениях Берёзовый Лог, Шиловское и Анна окисленные руды достигают глубины соответственно 200 [1], 42 и 122 м.

Установление влияния окислительных процессов на состав и геохимические характеристики руд золото-малосульфидно-кварцевых месторождений региона имеет поисково-прогнозное значение при оценке результатов геохимических поисков подобной минерализации, так как определяет выбор состава геохимических ореолов, наиболее чётко проецирующих местоположение золоторудной минерализации. Информация по месторождениям Анна и Шиловское, полученная при оценочных работах на этих объектах в 2006–2007 гг. (геохимические поиски в районе месторождения Анна) и 2015–2016 гг. (геологоразведочные работы на

Несис Виталий Натанович

генеральный директор ¹
info@polymetal.ru

Мотов Андрей Павлович

кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист дирекции ¹
развития бизнеса
motovAP@polymetal.ru

Бутняков Андрей Васильевич

заместитель директора
по минерально-сырьевой базе УФ ²
ural_po_grr@polymetal.ru

¹ АО «Полиметалл УК»,
г. Санкт-Петербург

² УФ «Полиметалл УК»,
г. Екатеринбург

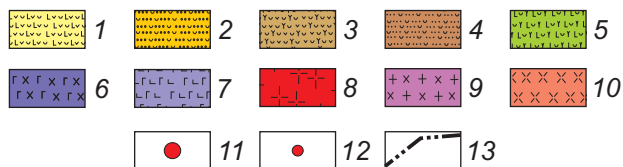
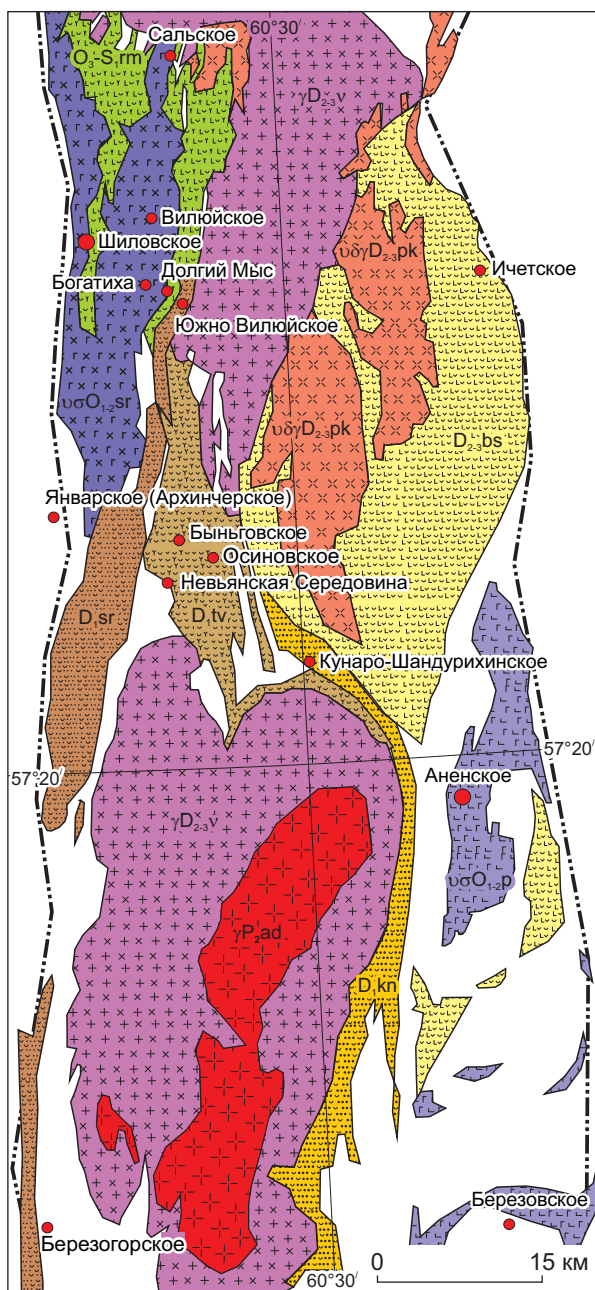


Рис. 1. ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И АССОЦИИРОВАННЫЕ С НИМИ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ СВИТЫ И ИНТРУЗИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МЕДВЕДСКО-СВЕРДЛОВСКОГО СИНКЛИНОРИЯ:

рудовмещающие вулканогенно-осадочные толщи: 1 – башкарской (D_{2-3bs}), 2 – кунгурковской (D_{1kn}), 3 – таволжанской (D_{1tv}), 4 – шуралинской (D_{1sr}), 5 – ромахинской (O_3-S_{1rm}) свит; рудовмещающие дунит-гарцбургитовые комплексы: 6 – серовский (uO_{1-2sr}), 7 – первомайский (uO_{1-2p}); гранитоиды, со становлением которых принято связывать формирование золото-малосульфидно-кварцевой минерализации: 8 – граниты адуйского комплекса (γP_{2ad}), 9 – верхисетский (γC_{1-2v}) гранитоидный комплекс, 10 – петрокаменский габбро-диорит-гранодиоритовый комплекс ($u\delta\gamma D_{2-3pk}$); золото-малосульфидно-кварцевые месторождения: 11 – изученные по собственным материалам, 12 – рассматриваемые по опубликованным данным; 13 – граница Медведско-Свердловского синклинория

неральный состав руд и околорудных пород изучен с помощью оптического микроскопа и в отражённом, и в проходящем свете, а также на электронном микроскопе. Исследования руд месторождения Анна осуществлялись специалистами Института минералогии УРО РАН (г. Миасс), Шиловского – специалистами НИЦ «Гидрометаллургия».

Около 75 % объёма просмотренного керна скважин представлено окисленными разностями пород. Последовательность замещения первичных минералов минералами зоны окисления наиболее полно разобрана в классическом труде С. С. Смирнова [9], а также рассматривается в современных работах по окисленным рудам месторождений Урала [2–4, 8] и мира [10, 11]. Для месторождений Анна и Шиловское характерны следующие минеральные преобразования (замещения при окислении руд): галенит замещается пироморфитом, церусситом, англезитом; арсенопирит – арсенатами в сростании с гётитом; пирит – гётитом; магнетит и гематит – лимонитом; халькопирит – самородной медью, халькозином, борнитом, ковеллином, азуритом, теноритом, хризоколлой, малахитом; аргентит – самородным серебром; сфалерит – смитсонитом.

месторождения Анна и Шиловское), позволила построить рудно-геохимические модели вертикальной зональности окисленных руд. В выборки проб, отобранных для характеристики каждой из выделенных вертикальных зон окисления руд, были включены пробы с содержанием $Au \geq 1$ г/т.

Содержания химических элементов в пробах определены в центральной лаборатории АО «Золото Северного Урала» пробирным (Au) и спектральным ($Ag, Mg, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Nb, Cu, Pb, Bi, As, Zn, Sn, Ge, Ga, Be, Y, Yb, P$) методами анализа. Ми-

том, каламином; породообразующие алюмосиликаты первичных вмещающих пород – каолинитом.

На всём вертикальном срезе окисленных золоторудных пород месторождений Анна и Шиловское первичный состав пород чаще всего определить невозможно из-за значительной степени замещения первичных минералов гипергенными. Для более корректного выстраивания схемы вертикальной геохимической зональности руд выборки проб с окисленными рудами разделены по содержанию Mg на две группы. В первую группу вошли окисленные породы основного состава с содержанием Mg на уровне первых процентов, во вторую – гипергенно-изменённые кислого состава с содержанием Mg на уровне сотых долей процента и ниже. Оказалось, что разрез вертикальной зональности окисленных руд месторождения Анна лучше всего характеризуют пробы с золотой минерализацией в породах основного состава (дуниты, гарцбургиты, клинопироксениты первомайского комплекса, $\sigma O_{1-2}p$), тогда как представительный вертикальный разрез окисленных руд Шиловского месторождения составляют выборки золотоносных пород кислого состава (дациты, туфопесчаники и туфоалевролиты дацитового состава ромашинской свиты, O_3-S_{1rm}). Для обоих месторождений вертикальный разрез окисленных руд подразделяется на три зоны: нижняя зона умеренно-слабого окисления, средняя зона умеренно-значительного окисления, верхняя зона интенсивного окисления.

Месторождение Анна находится на территории административного округа Верхняя Пышма Свердловской области. Золотые руды приурочены к линейной зоне жильно-прожилковой минерализации, локализованной вдоль тектонического нарушения северо-северо-западного простирания с крутым ($70-80^\circ$) падением на северо-восток. Протяжённость главного рудного тела 40 м по простиранию и 80–90 м по падению. Средняя истинная мощность рудных тел 8,69 м при её вариации 0,81–17,79 м. Основная доля рудной минерализации локализована среди пород первомайского дунит-гарцбургитового комплекса ($\sigma O_{1-2}p$), включающего [7]: серпентиниты, тальк-карбонатные породы, дуниты, гарцбургиты, клинопироксениты (рис. 2). Максимальная глубина разведочных скважин, пройденных на месторождении, 145 м при средней протяжённости скважин 90 м. Общая протяжённость изученного нами керна составила 2461 м.

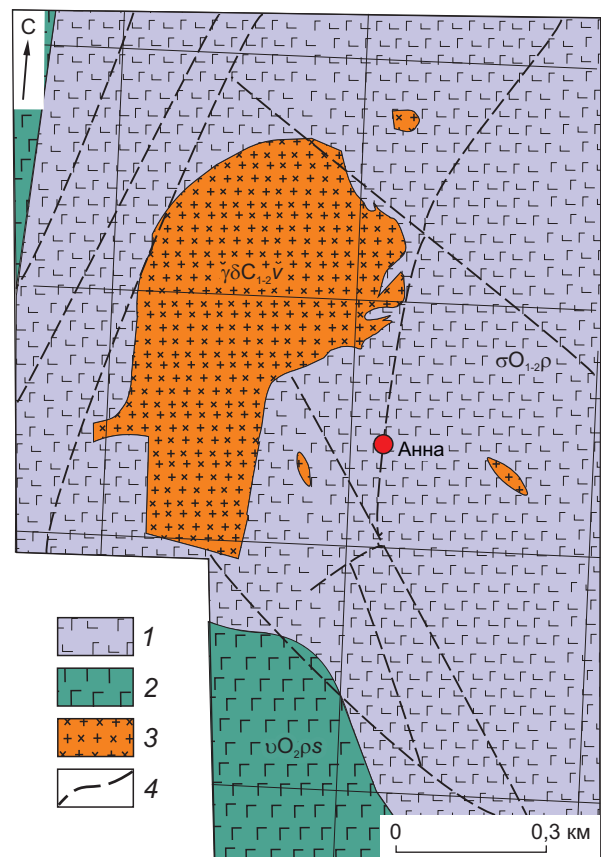


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АННА:

1 – породы первомайского дунит-гарцбургитового комплекса ($\sigma O_{1-2}p$); 2 – породы пышимского габбрового комплекса (υO_{2ps}); 3 – породы верхотурского гранит-гранодиоритового комплекса ($\gamma\delta C_{1-2}V$); 4 – разломы

Первичные породы встречаются в керне, поднятом с глубин 63–93 м при средней глубине 80 м. Не затронутые окислением породы первомайского дунит-гарцбургитового комплекса представлены тёмно-серыми с фиолетовым оттенком массивными мелкозернистыми породами, часто подвергнутыми процессам серпентинизации и последующей лиственизации. Лиственизация выражена в развитии хлорита, фуксита, кварца, талька, магнезита, альбита, пирита в сопровождении густой сети, как правило, тонких кварц-карбонатных прожилков. В результате лиственизации породы осветляются до зеленовато-голубовато-серого цвета. В керне разведочных скважин первичные породы наблюдаются в качестве реликтов среди окисленных пород. Золоторудная минерализация в пер-

вичных породах приурочена к разностям пород, пронизанных сетью кварц-карбонатных прожилков среди лиственитизированных и сульфидизированных ультрабазитов. Сульфидизация проявлена в виде рассеянной вкрапленности пирита и тонкоигльчатого арсенопирита и в виде лучистых агрегатов среди скоплений карбонатных минералов и талька. Из рудных минералов помимо пирита и арсенопирита присутствуют скородит, арсениосидерит, колфанит, халькопирит, галенит, аргентит, блеклая руда, золото пробы 80–99 %. Корреляционная матрица химических элементов по выборке проб с первичной золотой минерализацией характеризует ассоциации элементов, связанные с акцессорными минералами вмещающих пород (Cr–V, Cr–Fe, Fe–Ni – хромит, магнетит, гематит, титаномагнетит, сфен, рутил, ильменит, шеелит, касситерит) и минералами золотоносных лиственитов (Au–Fe, Au–As, Au–Cu – сростание золота с пиритом, арсенопиритом, халькопиритом) (табл. 1).

Нижняя зона окисления. Породы данной зоны отмечаются в керне, поднятом с глубин 34–122 м при средней глубине 71 м. Средняя мощность зоны составляет 11 м. Породы представлены бежево-коричневыми монолитными разностями, перемежающимися с менее плотными дресвяно-рыхлыми коричневыми породами. При этом в интервалах монолитных окисленных пород нередко проявлена губково-ячеистая текстура, образованная, в частности, в результате выщелачивания карбонатных минералов из участков распространения в первичных породах кварц-карбонатных прожилков. Золотоносные породы нижней зоны окисления отличаются от золотоносных неокисленных более высокими содержаниями Au (см. табл. 1), что характерно, согласно С. С. Смирнову [9], для зоны перехода от окисленных пород к первичным породам (зона цементации или вторичного обогащения). Помимо Au в выборке проб из нижней зоны отмечается повышение содержания элементов-спутников золотой минерализации – Ag, Cu, Pb, Sb и элементов, унаследованных от первичных породообразующих минералов вмещающих пород и минералов, сопровождающих неокисленную золоторудную минерализацию – Mn, Mg, Ni, Fe, Cr, V, Sc, Ba, W, Mo. Для Au фиксируются корреляционные связи с Cu, Fe, Sc, Mn.

Средняя зона окисления. Породы данной зоны встречаются в керне, поднятом с глубин 41–91 м при средней глубине 61 м. Средняя мощность зоны 40 м. Для пород характерно чередование разностей

с дресвяной и мелкокомковатой текстурами. Окраска пород изменяется от желтовато-коричневой до серой и от светло- до тёмно-серой. Мощность чередующихся полос различной окраски и текстуры – от первых дециметров до первых метров. Наблюдается двукратное снижение среднего содержания Au по сравнению с первичной рудой. Помимо содержания Au в зоне в четыре раза снижены количества As и в 2,5 раза – Bi (табл. 2). Для Au фиксируются корреляционные связи с As и Cu. Содержание элементов-спутников рудного Au – Ag, Pb, Zn – в рассматриваемой зоне повышено. Кроме того, в окисленных рудах средней зоны повышены содержания Mn, Mg, Ni, Co, Fe, Cr, V, P, Sc, Ba, W, Mo.

Верхняя зона окисления представлена рыхлыми, максимально окисленными породами рыжевато-коричневой окраски и мелкокомковатой текстуры. Средняя мощность зоны ~ 20 м. Золотоносные породы зоны имеют невысокие содержания Au (~ 3,34 г/т), что примерно на порядок меньше среднего содержания Au в руде, не затронутой процессом окисления. Причём Au в зоне не обнаруживает корреляционных связей с другими элементами. Наряду с Au золотоносные породы верхней зоны окисления обеднены As, содержание которого примерно в 30 раз ниже по сравнению с первичными породами. Вместе с тем традиционные элементы-спутники Au, такие как Ag, Cu, Zn, Sb, Ge, характеризуются во много раз большими содержаниями по сравнению с содержаниями этих элементов в первичной руде (см. табл. 1, 2).

Шиловское месторождение размещается на территории Горноуральского городского округа Свердловской области в 15 км к юго-востоку от г. Нижний Тагил. Золоторудная кварцево-жильная минерализация приурочена к двум меридиональным крутопадающим (80–90°) зонам разрывных нарушений, трассированным дайками диоритового состава, ореолами лиственитизации и березитизации. Протяжённость западной зоны составляет не менее 500 м при мощности до 75 м. По падению золото-кварцевая минерализация прослежена до глубины 150 м. Вмещающие породы месторождения в стратиграфическом отношении принадлежат к ромахинской свите (O_3-S_{1rm}), состоящей из метаморфизованных в хлорит-эпидотовой фации базальтов, дацитов, их туфов, туфопесчаников, туфалевролитов (рис. 3). Породы ромахинской свиты мы наблюдали в керне, общая протяжённость которого составляла 1850 м.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АННА

Вертикальные зоны золото-малосульфидных руд	Число проб в выборке	Глубина отбора проб, м			Содержание Au, г/т		Коэффициент концентрации золота и его элементов-спутников					Корреляционные пары с сопутствующими элементами химическими элементами		
		верхняя	нижняя	средняя	минимальное	максимальное	среднее	Au	Ag	Cu	Zn		Pb	Sb
Верхняя	14	2	45	22	1,06	9,6	3,34	0,10	2,16	2,47	2,67	37,67	2,23	Корреляционные пары с сопутствующими элементами химическими элементами Гипергенные минералы меди, цинка, свинца, сурьмы и др.: Sb-Cr 0,89; Cu-Mo 0,83; Sb-V 0,83; Ag-Pb 0,78; Ag-Mn 0,78; Cu-P 0,77; Pb-Co 0,77; Sb-Bi 0,76; Pb-Mo 0,74; Pb-Mn 0,72; Sb-Ge 0,71; Cu-Be 0,69; Cu-Pb 0,68; Zn-P 0,67; Pb-Fe 0,66; Ag-Mo 0,65; Ag-Co 0,62; Zn-Cr 0,59; Pb-P 0,57; Cu-V 0,56
Средняя	15	41	91	61	1,67	70,5	16,07	0,50	1,4	0,97	1,35	3,80	1,75	Золото с оксидами и гидроксидами марганца: Au-Mn 0,65 Реликты золото-сульфидной минерализации, вмещающих пород и гипергенные минералы: Au-As 0,68; Au-Cu 0,66; Au-Sb 0,59
Нижняя	74	34	122	71	1,67	432,2	38,93	1,21	1,55	1,3	0,95	3,95	1,76	Сульфиды, сульфаты и оксиды: Cu-Sb 0,72; Zn-Mo 0,68; Zn-Be 0,65; Zn-Sc 0,64; Zn-P 0,63; Cu-As 0,61; Sb-Y 0,58; Cu-Ni 0,57; Zn-Ni 0,66; Zn-Ge 0,64; Ag-V 0,62; Ag-Cr 0,61 Сростки золота с сульфидами и оксидами: Cu-Sc 0,91; Sb-Cr 0,7; Sb-V 0,65; Cu-Fe 0,63; Sb-Ba 0,58; Sb-Ti 0,56; Zn-V 0,54; Cu-Sb 0,54; Cu-Ba 0,53; Cu-Co 0,52; Cu-Ni 0,51
Первичной руды	30	65	93	80	1,14	88,4	32,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Сульфиды: Cu-Fe 0,76; Cu-As 0,75; Cu-Sc 0,66; Cu-Sn 0,61; Zn-Bi 0,55; Sb-Mo 0,55

Примечание. Коэффициент концентрации k_k химического элемента – отношение среднего содержания химического элемента в окисленных рудах, нормированное на среднее содержание в первичных рудах

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АННА

Элементы		Зоны вертикального профиля окисления руды						
		верхняя		средняя		нижняя		первичной руды
		Глубина отбора проб, м						
		2–45 (n = 14)		41–91 (n = 15)		34–122 (n = 71)		65–93 (n = 30)
		Параметры						
		μ	kk	μ	kk	μ	kk	μ
<i>Золото и его элементы-спутники</i>								
Au	г/т	3,34	0,10	16,07	0,50	38,93	1,21	32,20
Ag		8,45	2,16	5,46	1,40	6,05	1,55	3,91
Cu	%	0,02	5,47	0,00	0,97	0,00	1,30	0,003
Zn		0,09	2,67	0,05	1,35	0,03	0,95	0,04
Pb		0,03	37,67	0,00	3,80	0,00	3,98	0,001
Sb		0,0021	2,23	0,0017	1,75	0,0017	1,76	0,0010
<i>Халькофильные</i>								
Bi	%	0,0002	1,10	0,0001	0,40	0,0001	0,75	0,0002
As		0,01	0,03	0,11	0,26	0,29	0,68	0,42
Ge		0,0003	1,48	0,0002	1,29	0,0002	1,07	0,0002
Ga		0,0007	1,46	0,0005	1,00	0,0005	1,00	0,0005
<i>Сидерофильные</i>								
Fe	%	4,23	1,35	5,53	1,77	3,76	1,20	3,13
P		0,025	2,72	0,015	1,57	0,008	0,85	0,009
Ni		0,50	2,81	0,53	2,94	0,22	1,24	0,18
Co		0,020	4,78	0,008	1,83	0,005	1,11	0,004
Mo		0,00045	2,35	0,00037	1,96	0,00024	1,24	0,00019
Sn		0,00017	1,27	0,00010	0,73	0,00012	0,90	0,00013
<i>Литофильные</i>								
Mg	%	2,31	4,20	1,57	2,85	0,71	1,29	0,55
Mn		0,14	5,29	0,041	1,54	0,030	1,13	0,26
Ti		0,17	3,31	0,05	1,00	0,05	1,05	0,05
Cr		0,18	1,79	0,14	1,46	0,12	1,20	0,10
W		0,0013	2,07	0,0010	1,59	0,0010	1,47	0,0007
Nb		0,0005	1,00	0,0005	1,00	0,0005	1,00	0,0005
Be		0,0005	1,04	0,0005	1,09	0,0005	1,01	0,0005
Y		0,0018	1,17	0,0017	1,09	0,0014	0,91	0,0016
Yb		0,0005	1,00	0,0005	1,00	0,0005	1,00	0,0005
Ba		0,055	2,16	0,035	1,39	0,034	1,33	0,025
Sc		0,0005	1,01	0,0010	1,88	0,0006	1,18	0,0005
V		0,0093	3,41	0,0047	1,73	0,0038	1,40	0,0027

Примечание. n – число проб, μ – среднее арифметическое, kk – коэффициент концентрации.

Первичные породы выявлены в керне, поднятом с глубины 39–53 м при средней глубине 41 м. Не затронутые окислением вмещающие золоторудную минерализацию породы ромахинской свиты (дациты, туфопесчаники и туфоалевролиты дацитового состава) имеют светло-серый цвет, массивную текстуру. Нередко эти породы обладают тонкой полосчатостью, обусловленной чередованием тёмных и

светлых оттенков серых полос, что, вероятнее всего, отражает реликтовую слоистость туфопесчаников, туфоалевролитов. Как правило, первичные породы пронизаны сетью тонких (мощность – первые сантиметры) кварцевых, кварц-карбонатных, альбит-кварцевых, серицит-полевошпат-кварц-карбонатных прожилков. Также в керне наблюдаются кварцевые жилы видимой мощностью до 50–60 см.

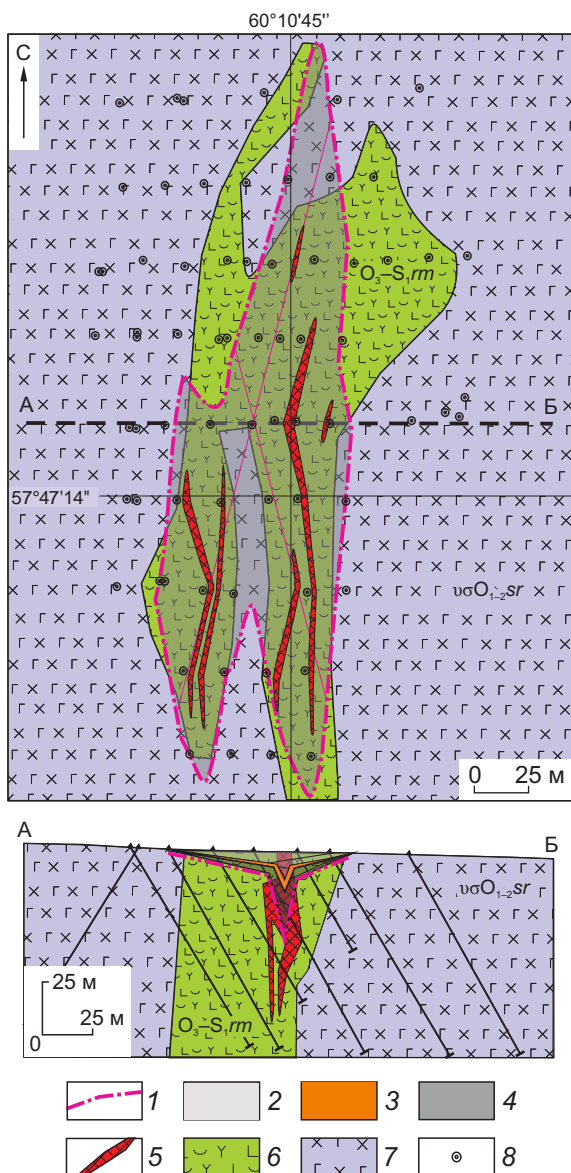


Рис. 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА-СХЕМА И РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А–Б ШИЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – внешняя граница зоны окисления золоторудной минерализации; вертикальные уровни зоны окисления золоторудной минерализации: 2 – верхний, 3 – средний, 4 – нижний; 5 – рудное тело; вмещающие породы: 6 – ромашинской свиты (O_3-S_1rm), 7 – серовского дунит-гарцбургитового комплекса ($u\sigma O_{1-2}sr$); 8 – устья разведочных скважин

Карбонатные минералы представлены сидеритом, доломитом, кальцитом, магнезитом, манганокальцитом. Вмещающие породы ромашинской свиты кислого состава замещены березитовой ассоциацией гидротермально-метасоматических минералов:

серицитом, гидросерицитом, карбонатом, кварцем, хлоритом, альбитом, пиритом, рутилом. Рудные минералы, встречающиеся в боковых породах и прожилках обычно в знаковых количествах, представлены пиритом, рутилом, молибденитом, халькопиритом, галенитом, теннантитом, золотом, бравитом, петцитом, гесситом, монацитом, шеелитом, арсенопиритом, баритом. В результате исследования руд Шиловского месторождения с помощью оптического и электронного микроскопов в первичных рудах помимо мономинеральных форм установлены агрегаты тесно сросшихся минералов, чаще всего в виде тонких включений в наиболее широко распространённом рудном минерале – пирите. Это включения халькопирита, серицита, рутила, золота, галенита, монацита, теннантита, апатита, барита. Матрица парной корреляции химических элементов по выборке проб, характеризующих первичные руды, демонстрирует, что Au имеет корреляционную связь только с Ag. Фиксируются корреляционные связи между элементами-спутниками золота – Pb, Zn, Cu, Sb, Bi, Fe, входящими в состав сульфидов; Fe, Mg, Mn, входящими в состав жильных минералов (сидерит, магнезит, доломит, манганокальцит); Cr, Fe, Mg, Mn, Sn, Yb, Nb в составе аксессуарных и породообразующих минералов вмещающих пород. Корреляция V с Ti может объясняться изоморфизмом этих элементов в аксессуарных (титаномагнетит, сфен, рутил, ильменит) и породообразующих минералах (слюды, пироксены, гранаты) рудовмещающих магматических пород.

Породы нижней зоны окисления встречаются в керне, поднятом с глубины 20–41 м при средней глубине 27 м (табл. 3). Средняя мощность зоны 11 м. Породы, вмещающие золоторудную жильно-прожилковую минерализацию, представлены светло-бежево-коричневыми плотными монолитными разностями, перемежающимися с менее плотными дресвяно-рыхлыми коричневыми породами. Как и для выборки проб руды из нижней зоны окисления месторождения Анна, в рудах нижней зоны окисления Шиловского месторождения фиксируется более высокое содержание Au (табл. 4). При этом Au не имеет корреляционных связей с другими химическими элементами. Помимо Au в пробах рассматриваемой зоны окисления по сравнению с первичными рудами установлены повышенные содержания Sb, As, Bi, Cr. Содержания подавляющего числа других химических элементов, характеризующих выборку проб из нижней зоны окисления руд

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИЛОВСКОЕ

Вертикальные зоны золото-малосульфидных руд	Число проб в выборке	Глубина отбора проб, м			Содержание Au, г/т			Коэффициент концентрации золота и его элементов-спутников				Корреляционные пары золота и его элементов с коэффициентом корреляции $\geq 0,50$	
		верхняя	нижняя	средняя	минимальное	максимальное	среднее	Au	Pb	Sb	As	Корреляционные пары с золотом	Корреляционные пары с сопутствующими золоту химическими элементами
Верхняя	116	1	28	11	0,95	13,82	2,18	0,82	1,89	1,79	1,80	Золото с элементами-спутниками: Au-Ag 0,67; Au-Zn 0,51	Гипергенные минералы свинца, сурьмы, мышьяка и др.: Sb-W 0,87; Sb-Nb 0,82; Cu-Ni 0,73; Sb-Ge 0,69; Cu-Cr 0,68; Sb-Bi 0,65; Sb-Ga 0,63; Zn-Co 0,57; Cu-V 0,52
Средняя	53	10	24	16	0,98	7,80	2,45	0,94	1,17	1,86	1,24		Сульфиды, сульфаты и оксиды: Cu-Cr 0,79; Cu-Co 0,67; Zn-Ni 0,60; Pb-V 0,58; Cu-Ge 0,58; Cu-Mo 0,56; As-Nb 0,56; Cu-Ni 0,55; Cu-V 0,55; As-Sn 0,55; As-Ga 0,54; Pb-Ge 0,52; Cu-Mn 0,51; Pb-Mn 0,51; Cu-W 0,50
Нижняя	63	20	41	27	0,95	14,00	3,22	1,23	1,15	1,97	1,24		Сульфиды, сульфаты и оксиды: Cu-Cr 0,83; Cu-Ge 0,76; As-Ga 0,72; Cu-Ni 0,71; Zn-Yb 0,71; Cu-Mn 0,70; Cu-Nb 0,69; Cu-Mg 0,65; Cu-V 0,65; Cu-Ga 0,61; Cu-Co 0,56; Zn-Mg 0,55; Cu-W 0,55; Zn-P 0,55
Первичной и слабо окисленной руды	26	39	53	41	0,97	4,00	2,61	1,00	1,00	1,00	1,00	Au-Ag 0,51	Сульфиды, оксиды: Cu-Cr 0,90; Sn-Sb 0,84; Cu-Mg 0,74; Cu-Mn 0,73; Cu-Co 0,69; Cu-Nb 0,62; Zn-Mn 0,61; Zn-Ge 0,59; Zn-Sr 0,58; Zn-Mg 0,58; Zn-Nb 0,57; Cu-Ge 0,51; Pb-Tl 0,50

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИЛОВСКОЕ

Элементы		Зоны вертикального профиля окисления руды						
		верхняя		средняя		нижняя		первичной руды
		Глубина отбора проб, м						
		1–28 (n = 116)		10–24 (n = 53)		20–41 (n = 63)		28–44 (n = 26)
		Параметры						
		μ	kk	μ	kk	μ	kk	μ
<i>Золото и его элементы-спутники</i>								
Au	г/т	2,14	0,82	2,45	0,94	3,22	1,23	2,61
Pb		0,00043	1,89	0,00026	1,17	0,00026	1,15	0,00023
Sb	%	0,0019	1,79	0,0019	1,86	0,0021	1,97	0,0010
As		0,0008	1,53	0,0007	1,24	0,0007	1,24	0,0005
<i>Халькофильные</i>								
Ag	г/т	0,66	0,87	0,60	0,79	0,58	0,76	0,77
Cu		0,024	1,13	0,021	0,99	0,022	1,04	0,021
Bi		0,0020	1,00	0,0020	1,04	0,0021	1,07	0,0020
Zn	%	0,00062	0,85	0,00058	0,80	0,00058	0,79	0,00073
Ge		0,00024	0,82	0,00022	0,76	0,00024	0,82	0,00029
Ga		0,00024	1,00	0,00022	0,96	0,00019	0,83	0,00023
<i>Сидерофильные</i>								
Sn		0,00148	0,89	0,00095	0,58	0,00097	0,59	0,00165
Ni		0,0014	0,79	0,0010	0,57	0,0010	0,56	0,0018
Co	%	5,38	0,74	4,96	0,69	4,78	0,66	7,23
P		0,00042	0,75	0,00041	0,73	0,00040	0,70	0,00057
Mo		0,0044	0,97	0,0043	0,95	0,0046	1,01	0,0045
<i>Литофильные</i>								
Mg		0,01	0,59	0,01	0,46	0,01	0,50	0,02
Mn		0,011	0,87	0,011	0,84	0,011	0,87	0,013
Ti		0,62	0,28	0,60	0,27	0,62	0,28	2,21
Cr		0,042	1,30	0,039	1,21	0,059	1,85	0,032
W		0,42	0,86	0,42	0,86	0,40	0,82	0,48
Nb	%	0,035	0,76	0,035	0,76	0,029	0,63	0,046
Be		0,0026	1,07	0,0025	1,03	0,0017	0,72	0,0024
Y		0,0010	1,03	0,0013	1,30	0,0007	0,74	0,0010
Yb		0,0017	0,76	0,0018	0,78	0,0015	0,67	0,0023
V		0,12	0,59	0,11	0,56	0,10	0,52	0,19

Шиловского месторождения, более низкие, чем в первичных рудах.

Породы средней зоны окисления выявлены в керне, поднятом с глубины 10–24 м при средней глубине 16 м. Мощность зоны окисления ~ 5 м. Текстура пород дресвяная с переходом в комковатую, окраска рыжевато-коричневая, рыжевато-бежевая, серая с оранжевым оттенком. Среднее содержание Au, как и Pb, Cu, Bi, в выборке проб из зоны окисления такое же, как в первичных рудах. Золото не имеет корреляционных связей с другими химичес-

кими элементами, тогда как Pb слабо коррелирует с Cu, Ge, Ga, Mn, Cr. По сравнению с первичными рудами в рудах из средней зоны окисления фиксируются повышенные содержания As, Sb, Cr, Y. Остальная часть рассматриваемых химических элементов имеет более низкие содержания по сравнению с содержанием этих элементов в первичных рудах.

Породы верхней зоны окисления наблюдались в керне, поднятом с глубин 1–28 м. Средняя мощность зоны 11 м. В ней проявлены максимально окислен-

ные породы жёлто-рыжевато-коричневой окраски и комковатой, участками порошкообразной, текстуры. Содержание Au в золоторудных пробах зоны примерно в два раза ниже, чем в первичных рудах. Однако в пробах из этой зоны фиксируются повышенные содержания таких элементов-спутников Au, как Pb, Sb, As.

Проведённый анализ характера распределения Au и его элементов-спутников в вертикальном срезе окисленных руд месторождений Анна и Шиловское показал следующее. В рудах верхних зон содержания Au значимо ниже по сравнению с его содержанием в первичных рудах, а содержание элементов-спутников Au, наоборот, выше. На месторождении Анна к ним относятся Ag, Pb, Cu, Zn, Sb, на месторождении Шиловское – Pb, Sb, As. Перечисленные элементы могут связываться в вмещающих первичные сульфиды гипергенных минералах: пироморфите, церуссите, англезите, арсениатах железа, самородной меди, халькозине, борните, ковеллине, азурите, тенорите, энкозите, хризоколле, энаргите, малахите, самородном серебре, коломине. При этом более высокие содержания Au для обоих месторождений устанавливаются в нижней зоне окисления, в так называемой зоне цементации или вторичного обогащения [2, 3, 9]. Смещение Au к нижней части разреза окисленных руд малосульфидно-кварцевых месторождений, при фиксации элементов-спутников Au в верхней части разреза окисленных руд в гипергенных минералах Pb, Zn, As, Ag, Cu, Bi, Sb, не может не отражаться на составе геохимических ореолов, трассирующих золоторудные зоны минерализации. При анализе результатов геохимических поисков золото-малосульфидно-кварцевых месторождений в регионах мощного проявления окисления руд и вмещающих пород (например, восточный сектор Центрального Урала) следует обращать внимание не столько на ореолы привноса Au, сколько на ореолы повышенных концентраций Pb, Zn, As, Ag, Cu, Bi, Sb, трассирующих слабо эродированные верхние части окисленных золоторудных зон.

Выявленные закономерности авторы учли при анализе результатов геохимических поисков в районе месторождения Анна. Здесь в 2006 г. компанией ООО «Среднеуральское Поисковое Бюро», управляемой АО «Полиметалл УК», были выполнены геохимические поисковые работы на коренную золотую минерализацию. Опробование поисковой площади осуществлялось с помощью мелкомет-

ражного бурения ручным мотобуром. Всего было пробурено 1749 мелкометражных скважин общим объёмом 6541,6 пог. м, средняя глубина скважин составляла 3,7 м. Расстояние между скважинами в профилях 20 м, между профилями скважин на большей части территории 50–100 м, в пределах месторождения Анна 20 м. Аналитические работы, включавшие пробирный анализ на Au и Ag, а также спектральный на Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Fe, Mg, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Nb, Sb, Bi, As, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Y, Yb, P, Ba, проведены в лаборатории АО «Золото Северного Урала». Рассмотрев различные варианты фиксации распределения Au и его элементов-спутников на поисковой площади, авторы остановились на варианте мультипликативно-аддитивного способа отражения поисковых геохимических данных, который привёл к наиболее контрастной фиксации геохимических признаков золоторудной минерализации. В набор индикаторных химических элементов были включены Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb. Значения содержаний перечисленных элементов приведены к целым значениям путём нормирования за счёт умножения на следующие коэффициенты: 100 для Au и Ag, 1000 для Cu, Zn и Pb, 10000 для Sb. Нормированные содержания перечисленных элементов суммированы для каждой пробы. Полученные значения, отражающие аддитивный показатель содержаний данных элементов, варьируют от 17 до 1684 при среднем 97. За первый, умеренно аномальный уровень принят диапазон 100–200 ($100 < \text{аддитивный показатель} < 200$), второй – значительно аномальный уровень – от значений, превышающих 200. Отражённые на карте геохимические ореолы аномальных значений аддитивного показателя позволяют выделить четыре перспективных в прогнозно-поисковом отношении участка проявления аномальных ореолов значительно уровня (рис. 4).

Первый участок – это компактный ореол, отражающий расположение самого месторождения Анна. Второй участок фиксирует ореол, расположенный в 250–300 м южнее месторождения. Третий участок выделяется ореолом меридионального простирания в 350–400 м севернее месторождения. И, наконец, четвёртый участок зафиксирован серией ореолов северо-северо-восточного простирания, расположенных в 700–850 м к северо-западу от месторождения.

Изучение вертикальной геохимической зональности золоторудных месторождений Анна и Ши-

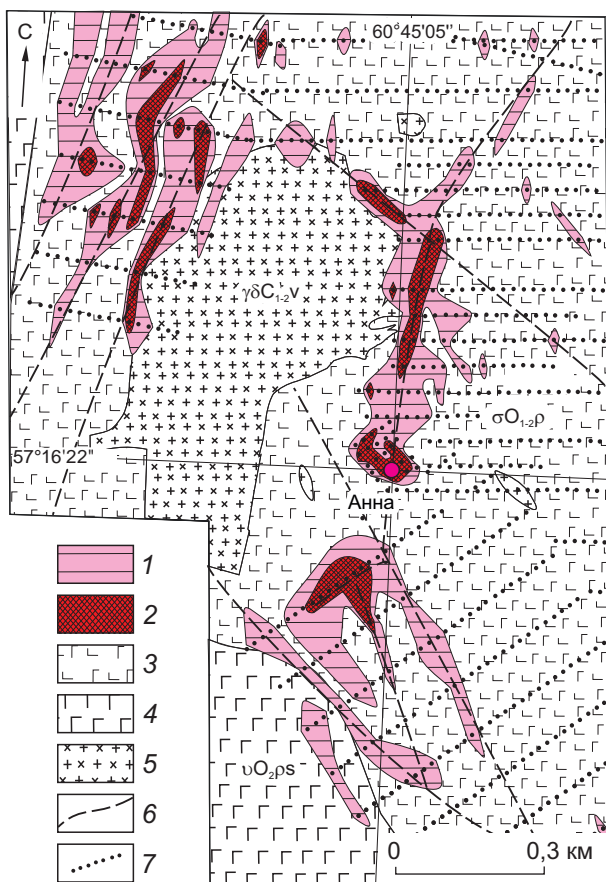


Рис. 4. АДДИТИВНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ Au + Ag + Cu + Pb + Zn + Sb РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ АННА:

ореолы Au + Ag + Cu + Pb + Zn + Sb: 1 – умеренного накопления ($100 < \text{аддитивный показатель} < 200$), 2 – значительного накопления (аддитивный показатель ≥ 200); 3 – первомайский дунит-гарцбургитовый комплекс (σO_{1-2p}); 4 – пышимский габбровый комплекс (uO_{2ps}); 5 – верхотурский гранит-гранодиоритовый комплекс ($\gamma\delta C_{1-2v}$); 6 – разломы; 7 – профиль поисковых скважин

ловское показало относительное обеднение золотом верхних наиболее окисленных частей золоторудных тел по сравнению со средними содержаниями Au в первичных неокисленных рудах. При этом в верхних частях фиксируется накопление Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, иногда Bi, As. Перечисленные элементы связываются в гипергенных минералах, таких как пироморфит, церуссит, англезит, арсениаты железа, самородная медь, халькозин, борнит, ковеллин, азурит, тенорит, энкозит, хризоколла, энаргит, малахит, самородное серебро, церрусит, коломин. На основании этой закономерности в качестве геохимических индикаторов золоторудной минерали-

зации рекомендуется наблюдать ореолы не только повышенной концентрации Au, но и повышенного аддитивного показателя содержания Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, Au (\pm As, Bi), где Au является только одним из компонентов комплекса индикаторных элементов. Такой подход предлагается, например, при проведении поисковых работ на золото-кварцево-малосульфидные руды в пределах территории восточной части Центрального Урала, где интенсивно развиты окислительные процессы руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. В. Особенности околорудных пород и вещественного состава нового потенциального золоторудного месторождения на Среднем Урале / В. В. Александров, П. Г. Кучеревский, Т. Н. Кривко // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 42–51.
2. Белогуб Е. В. Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учё. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Белогуб Елена Витальевна. – СПб. : СПбГУ, 2009. – 40 с.
3. Блинов И. А. Гипергенные минералы цинка на сульфидных месторождениях Южного Урала : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учё. степ. канд. геол.-минерал. наук / Блинов Иван Александрович. – СПб. : СПбГУ, 2016. – 23 с.
4. Блинов И. А. Минералы зоны окисления Кабанского колчеданного месторождения (Средний Урал) / И. А. Блинов, А. В. Бутняков // Металлогения древних и современных океанов. Дифференциация и причина разнообразия рудных месторождений : материалы Двадцать третьей научной молодежной школы. – Миасс : ИМин УрО РАН, 2017. – № 23. – С. 70–74.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия. Лист О-41 (Екатеринбург) : объяснительная записка / Г. А. Петров, А. А. Жиганов, В. В. Стефановский [и др.]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2011. – 492 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV : объяснительная записка / И. Г. Южаков, С. Ю. Останин, В. И. Генералов [и др.] ; Департамент природных ресурсов по Уральскому региону ; ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция». – Издание второе. – М. : ВСЕГЕИ, МФ, 2015. – 345 с.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV : объяснительная записка / Р. Д. Калу-

- гина, В. Ф. Копанев, Е. В. Стороженко [и др.]. – Издание второе. – М. : ВСЕГЕИ, МФ, 2017. – 156 с.
8. Несис В. Н. Золотообогатённые Саумское и Галкинское месторождения, Северный Урал / В. Н. Несис, А. П. Мотов, А. В. Бутняков // Руды и металлы. – 2019. – № 2. – С. 73–83.
 9. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений / С. С. Смирнов. – М. : ОНТИ НКРПТ СССР, 1936. – 292 с.
 10. Craw D. Supergene gold mobility in organic gold deposits, Otago Schist, New Zealand / D. Craw, D. MacKenzie, P. Grief // New Zealand Journal of Geology and Geophysics – 2015. – Vol. 58, № 2. – P. 123–136.
 11. Koski Randolph A. Supergene Ore and Gangue Characteristics / Randolph A. Koski ; US Geological Survey // Scientific Investigation Report. – 2010–5070–C. – USA, Reston, Virginia, 2012. – P. 181–189.

VERTICAL GEOCHEMICAL ZONING OF OXIDE ORES FROM ANNA AND SHILOVSKOYE GOLD DEPOSITS, CENTRAL URALS

V. N. Nesis¹, A. P. Motov¹, A. V. Butnyakov²
(¹ JSC «Polymetal Management Company», St. Petersburg; ² Ural Branch of JSC «Polymetal Management Company», Yekaterinburg)

Based on the materials obtained in gold prospecting at Anna and Shilovskoye low-sulfidation quartz deposits, schemes of oxide ore vertical geochemical zoning were compiled. The most oxidized upper parts of these gold deposits are depleted in Au compared with primary ores but enriched in Pb, Sb, Ag, Cu and Zn at Anna deposit and Pb, Sb and As at Shilovskoye deposit. These elements are bound in hypogene minerals (pyromorphite, cerussite, anglesite, Fe arsenates, native copper, chalcocite, etc.). In geochemical prospecting for new gold deposits within areas of distinct ore oxidation processes, using additive haloes of elements accumulating on top of oxidized orebodies is recommended.

Key words: vertical ore geochemical zoning, oxide ores, prospecting for gold deposits, hypogene ore minerals.

