



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И ГРАНИЦЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНЯЧКА И ПЕЩЕРНОЕ, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ

Признаками рудной минерализации, относящейся к золото-мало-сульфидно-кварцевой формации в коренных окисленных породах центрального сегмента Восточно-Тагильской структурно-формационной зоны (СФЗ), являются аддитивные ореолы $Ag+Sb+As$. Эти элементы входят в состав вторичных рудных минералов (арсенаты, сурьмяные охры, самородное серебро), заместивших рудные минералы первичных руд (арсенопирит, блёклые руды), находившихся в тесном сростании с золотом. Рудные поля месторождений Горнячка и Пещерное проявлены в виде участков скопления аддитивных ореолов $Ag+Sb+As$ площадью первые квадратные километры. Золоторудные поля ограничиваются блоками повышенной плотности, признаками которых являются содержание магния в вулканогенно-осадочных толщах на уровне $\geq 1\%$ и положительные гравиметрические аномалии.

Ключевые слова: золотокварцевые месторождения, признаки и границы золоторудных полей, геохимические ореолы, блоки повышенной плотности, Восточно-Тагильская структурно-формационная зона.

В настоящей статье приведены результаты поисковых и разведочных работ, проведённых в 2016–2018 гг. Уральским филиалом АО «Полиметалл УК» в центральном сегменте Восточно-Тагильской СФЗ площадью 30 км². В геологическом отношении эта территория представлена выходами вулканогенно-осадочных толщ красноуральской (O_3-S_1kr), турьинской (S_2-D_1tr) и краснотурьинской (D_1kt) свит, прорванных гранитоидами левинского ($\gamma-\gamma\delta-l$) и ауэрбахского ($\gamma-\gamma\delta-\delta\delta D_{1-2}a$) комплексов (рис. 1). Поисковые работы базировались на сети литохимического опробования 20 x 200 м со сгущением на отдельных участках до 20 x 100 м. Пробы отбирались с помощью станка ударно-забивного снаряда «Кобра», проходящего покровно-почвенный и элювиальные слои до коренных пород. Литохимической пробой служила проба коренных пород, захваченная наконечником ударно-канатного проходческого снаряда. Отобранные пробы представляли собой образцы окисленных коренных пород. Средняя глубина отбора пробы 4,5 м. В лаборатории АО «Золото Северного Урала» в пробах спектральным анализом определялись содержания 26 элементов: Au, Ag, Mg, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Nb, Cu, Pb, Zn, Sb, Bi, As, Zn, Sn, Y, Yb, P, Sr, Ba, Fe.

В качестве прямого поискового признака взаимодействия золотоносных гидротермальных растворов с вмещающими породами рассматривается аддитивный ореол, составленный химическими элементами-спутниками золота. Как показал наш собственный практический опыт, изучение геохимических особенностей уральских золотокварцевых малосульфидных месторождений Шиловское и Анна [7], использование аддитивного ореола при поисковой оценке территории среднего масштаба позволяют

**Несис
Виталий Натанович**
генеральный директор¹
info@polymetal.ru

**Мотов
Андрей Павлович**
кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист дирекции
развития бизнеса¹
motovAP@polymetal.ru

**Бутняков
Андрей Васильевич**
заместитель директора
по минерально-сырьевой базе²
ural_po_grr@polymetal.ru

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

² УФ «Полиметалл УК»,
г. Екатеринбург

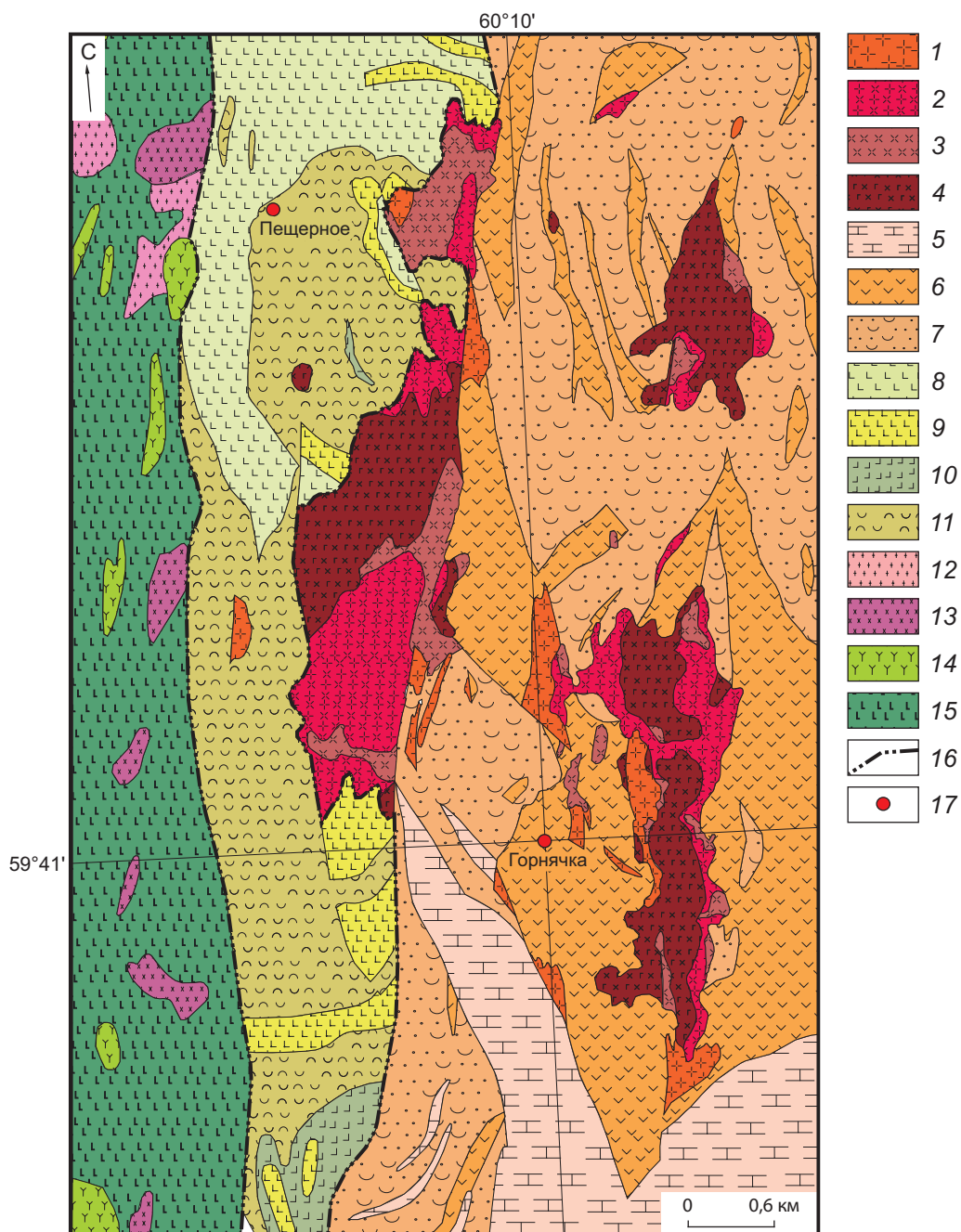


Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РАЙОНА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНЯЧКА И ПЕЩЕРНОЕ:

породы Красноуральской подзоны Восточно-Тагильской СФЗ: гранитоиды ауэрбахского комплекса: 1 – граниты ($\gamma D_{1-2,a}$), 2 – гранодиориты ($\gamma \delta D_{1-2,a}$), 3 – диориты ($\delta D_{1-2,a}$), 4 – габбродиориты, габбро ($u \delta D_{1,a}$); вулканогенно-осадочные породы краснотурьинской свиты (D_1,kt): 5 – известняки, 6 – андезиты и их туфы, 7 – туфопесчаники, туфоалевролиты, туфоконгломераты; вулканические и вулканогенно-осадочные породы турьинской свиты (S_2-D_1,tr): 8 – базальты и их туфы, 9 – трахибазальты и их туфы, 10 – андезиты и их туфы; 11 – вулканические породы краснотурьинской свиты (D_1,kt); гранитоиды левинского комплекса ($\rho\gamma-\gamma\sigma S_1,l$): 12 – плагиограниты ($\rho\gamma S_1,l$), 13 – гранодиориты ($\gamma\sigma S_1,l$); вулканические породы красноуральской свиты (O_3-S_1,kr): 14 – дациты, 15 – базальты и их туфы с прослоями яшмоидов, андезибазальтов, андезитов и их туфов; 16 – границы вулканогенно-осадочных толщ; 17 – золоторудное месторождение

сглаживать пространственную разобщённость мнгоэлементных литохимических ореолов. Для района локализации золото кварцевых малосульфидных месторождений Пещерное и Горнячка таким ореолом выбран аддитивный ореол, объединяющий содержания $Ag+As+Sb$. Перечисленные элементы входят в состав рудных минералов, образующих тесные парагенезисы с золотом. Этими минералами являются арсенопирит, на 42–45 % состоящий из As , и блёклая руда, содержащая 9–22 % Sb и 4,6–15,3 % As . Серебро входит в состав самородного золота (9,3–17,6 %) и блёклой руды (0,37–1,03 %). По данным технологических испытаний руд месторождения Горнячка, проведённых в 2018 г. специалистами ООО «ЛИМС» по заказу УФ «Полиметалл УК», до 82 % золота находится в тесных сростаниях с сульфидами. На долю свободного золота приходится только 18 %. При окислении сульфидов As , Sb и Ag полностью не рассеиваются, а фиксируются во вторичных минералах. Арсенопирит замещают арсенаты, сурьма блёклых руд переходит в сурьмяные охры, состоящие из сервантита, стибиоконита, валентита, серебро блёклых руд приобретает самородную форму [2, 3]. Вероятнее всего, в пробах, отобранных с глубины в первые метры, As , Sb и Ag содержатся именно в этих вторичных рудно-минеральных формах. Для приведения аддитивного показателя содержаний As , Ag и Sb к целым значениям были использованы коэффициенты нормирования их содержаний: для Ag – коэффициент 100, для As и Sb – 1000.

Положение концентрически-зонального аддитивного ореола $Ag+As+Sb$ проиллюстрировано на примере месторождения Горнячка, которое находится в центре поисковой площади. Месторождение приурочено к восточной части Восточно-Тагильской СФЗ. Последняя сложена вулканогенно-осадочными толщами краснотурьинской свиты, осложнёнными прорывающими их гранитоидами ауэрбахского комплекса (рис. 2). По данному месторождению нами рассмотрены результаты изучения состава рудно-минеральных парагенезисов, проанализированы корреляционные связи химических элементов, входящих в состав рудных минералов, описан характер их распределения в вертикальном профиле. На ассоциативность Au , As , Sb и Ag указывают сходство распределения содержания в вертикальном профиле руд месторождения (табл. 1, рис. 3) и значимый уровень парных коэффициентов корреляции в рудах из различных частей профиля (табл. 2).

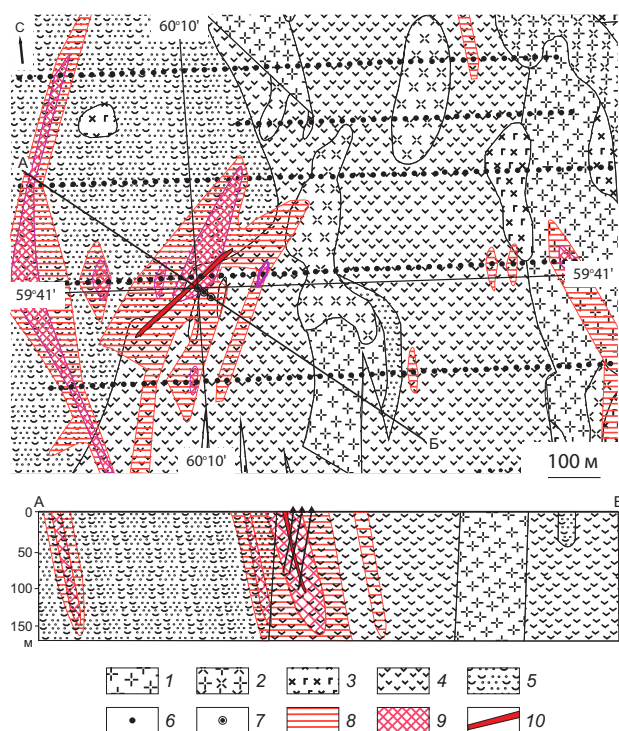


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗОЛОТОРУДНОГО УЧАСТКА ГОРНЯЧКА С АДДИТИВНЫМИ ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ОРЕОЛАМИ:

гранитоиды ауэрбахского комплекса: 1 – граниты ($\gamma D_{1-2}a$), 2 – гранодиориты ($\gamma\delta D_{1-2}a$), 3 – габбродиориты, габбро ($u\delta D_1a$); вулканогенно-осадочные породы краснотурьинской свиты (D_1kt): 4 – андезиты, 5 – туфы; 6 – точка отбора геохимических проб, полученных ударно-канатным бурением; 7 – местоположение устья скважины на геологическом плане по линии разреза; аддитивные ореолы $Ag+Sb+As$: 8 – умеренного уровня ($15 \leq$ аддитивный показатель < 20), 9 – значительного уровня (аддитивный показатель ≥ 20); 10 – золоторудное тело

Формирование золото кварцевых месторождений рассматриваемого района связывают [4, 6] с коллизионной эпохой развития Урала (380–240 млн лет), характеризующейся становлением гранитоидов ауэрбахского комплекса. Близкое пространственное расположение гранитоидов ауэрбахского комплекса и аддитивных ореолов $Ag+Sb+As$ проиллюстрировано на рис. 4.

Вулканогенно-осадочные породы, вмещающие месторождение Пещерное, принадлежат к турьинской свите (S_2-D_1tr), вмещающие месторождение Горнячка – к краснотурьинской (D_1kt). В целом однородные по внешним признакам вулканогенно-осадочные толщи этих свит, представленные андезитами и их туфами, по содержанию магния заметно различаются. Золотая минерализация и

1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНЯЧКА

Типы руд (глубина, м)	Число проб	Параметры	Золото и его элементы-спутники			
			Au	Ag	Sb	As
			г/т		%	
Окисленная (19–33)	15	\bar{x}	3,29	3,72	0,0010	0,12
		<i>kk</i>	0,85	0,78	0,83	0,52
Первичная верхней зоны (17–40)	32	\bar{x}	6,97	5,39	0,0020	0,24
		<i>kk</i>	1,80	1,13	1,67	1,04
Первичная средней зоны (41–51)	43	\bar{x}	5,26	4,91	0,0019	0,37
		<i>kk</i>	1,36	1,03	1,58	1,61
Первичная нижней зоны (52–111)	32	\bar{x}	3,86	4,77	0,0012	0,23
		<i>kk</i>	1,00	1,00	1,00	1,00

Примечание. *kk* – коэффициент концентрации элемента относительно содержания этого элемента в первичной руде нижней зоны.

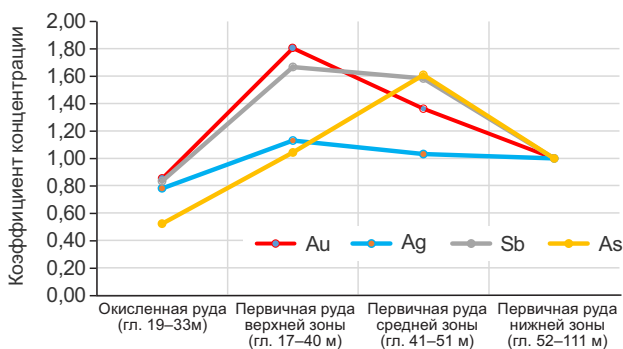


Рис. 3. ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛОТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНЯЧКА ОТНОСИТЕЛЬНО СОДЕРЖАНИЙ В РУДАХ НИЖНЕЙ ЗОНЫ

2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПАРНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ЗОЛОТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ В ВЫБОРКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОБ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНЯЧКА

Типы руд (глубина, м)	Золото и его элементы-спутники	Коэффициент парной корреляции	
		Au	Ag
Окисленная (19–33)	Au	1,00	0,79
	Ag	0,79	1,00
	Sb	0,75	0,98
	As	0,80	< 0,50
Первичная верхней зоны (17–40)	Au	1,00	0,56
	Ag	0,56	1,00
	Sb	< 0,50	0,61
	As	0,72	< 0,50
Первичная средней зоны (41–51)	Au	1,00	< 0,50
	Ag	< 0,50	1,00
	Sb	< 0,50	0,88
	As	0,55	< 0,50
Первичная нижней зоны (52–111)	Au	1,00	< 0,50
	Ag	< 0,50	1,00
	Sb	< 0,50	0,81
	As	0,59	< 0,50

аддитивные ореолы Ag+Sb+As, как правило, локализируются в вулканитах, содержащих Mg в количестве десятых и сотых долей процента. Участки скопления аддитивных ореолов Ag+Sb+As ограничиваются контурами развития вулканогенно-осадочных и других пород с повышенным содержанием магния ($Mg \geq 1\%$). Нередко участки выхода вулканогенно-осадочных толщ с повышенным содержанием Mg соответствуют положительным гравиметрическим аномалиям (рис. 4). Таким образом, участки пород с повышенным содержанием магния фиксируют выходы пород повышенной плотности. Согласно теории влияния блоковой тектоники на формирование гидротермальных месторождений, развиваемой А. Ю. Кисиним и В. А. Коротеевым [5], породы, расположенные между ограничивающими их блоками, обладают большей

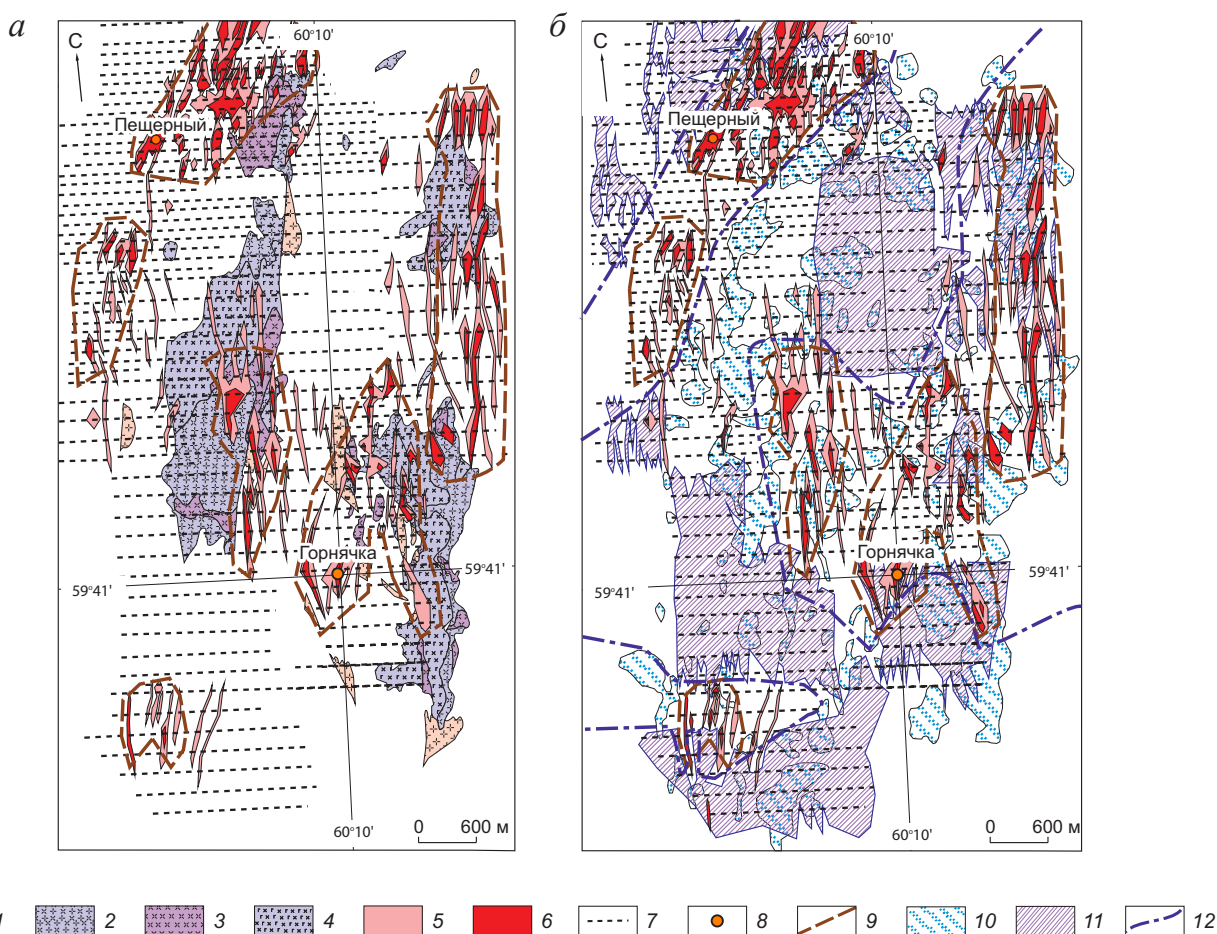


Рис. 4. СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИТОИДОВ АУЭРБАХСКОГО КОМПЛЕКСА И АДДИТИВНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ Ag+Sb+As (а), ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И БЛОКОВ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ Mg (б) В РАЙОНЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНЯЧКА И ПЕЩЕРНОЕ:

гранитоиды ауэрбахского комплекса: 1 – граниты ($\gamma D_{1-2}a$), 2 – гранодиориты ($\gamma \delta D_{1-2}a$), 3 – диориты ($\delta D_{1-2}a$), 4 – габбродиориты, габбро ($u \delta D_{1-2}a$); аддитивные ореолы содержаний Ag+Sb+As: 5 – $15 < \text{аддитивный показатель} < 20$, 6 – аддитивный показатель > 20 ; 7 – профиль литохимического опробования; 8 – золоторудное месторождение; 9 – граница золоторудного поля; 10 – положительная гравиметрическая аномалия $\Delta g \geq 0,20$ мГал (Н. В. Гильманов, 1991 г.); 11 – участок выхода пород с повышенным содержанием Mg ($> 1\%$); 12 – граница блоков повышенной плотности

хрупкостью. За счёт большей устойчивости к проникновению разломов, которые могут быть проводниками золотоносных растворов, более плотные блоки могут служить экранами тектонических проводников гидротермальных растворов. При этом границы между плотными и разуплонёнными блоками оказываются наиболее интересными с точки зрения возможного обнаружения наиболее богатой золоторудной минерализации, пример – месторождение Пещерное. Влияние экранирующих структур с пониженной проницаемостью на локализацию золотых руд подчёркивается в рабо-

тах Н. С. Остапенко [8], В. В. Аристова [1] и др. Образование локализирующих золоторудных структур на изучаемой территории относят [4, 6] к коллизионному этапу развития Урала, для которого характерно развитие в структурах Урала пологих разрывных нарушений [9].

В заключение отметим, что на изученной территории площадью 30 км² наряду с золоторудными полями месторождений Горнячка и Пещерное проявлены ещё четыре потенциальных золоторудных поля, заслуживающих дальнейшей оценки (крупномасштабные поиски и разведка).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристов В. В. Закономерности размещения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – С. 1–18.
2. Белозуб Е. В. Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук. – СПб., 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 учён. степ. канд. геол.-минерал. наук. – СПб., 2016. – 23 с.
4. Викентьев И. В., Тюкова Е. Э., Мурзин В. В. Викентьева О. В., Павлов, Л. Г. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. – Екатеринбург : Форт Диалог-Исеть, 2016. – 204 с.
5. Кисин А. Ю., Коротеев В. А. Блоковая складчатость и рудогенез. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 2017. – 439 с.
6. Коротеев В. А., Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А. Шовные зоны Урала как интегральные перспективные рудоносные тектонические структуры // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51, № 2. – С. 107–124.
7. Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В. Вертикальная геохимическая зональность окисленных руд золоторудных месторождений Анна и Шиловское (Центральный Урал) // Руды и металлы. – 2019. – № 4. – С. 67–78.
8. Остапенко Н. С. Открытые и закрытые гидротермальные системы и их рудный потенциал (сравнительный анализ) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии (Благовещенск, ИГИП ДВО РАН, 15–16 октября, 2012 г.) : сборник докладов Второй Всероссийской научной конференции. – Благовещенск. – 2012. – С. 122–127.
9. Juhlin C., Friberg M., Echler H. P. [at al.] Crustal structure of the Middle Urals: Results from the (ESRU) Europrobe seismic reflection profiling in Urals experiments // Tectonics. – 1998. – V. 17, № 5. – pp. 710–725.

REFERENCES

1. Aristov V. V. Zakonomernosti razmeshcheniya zolotorudnykh ob'ektov Yano-Kolymskoi provintsii [Patterns of placement of gold ore objects of the Yano-Kolyma province], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2019, V. 60, pp. 1–18. (In Russ.).
2. Belogub E. V. Gipergenez sul'fidnykh mestorozhdenii Yuzhnogo Urala : spetsial'nost' 25.00.05 "Mineralogiya, kristallografiya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. d-ra geol.-mineral. nauk [Hypergenesis of sulfide deposits in the South Urals. Extended abstract of Doctor's thesis], St. Petersburg, SPbGU Publ., 2009, 40 p.
3. Blinov I. A. Gipergennye mineraly tsinka na sul'fidnykh mestorozhdeniyakh Yuzhnogo Urala : spetsial'nost' 25.00.05 "Mineralogiya, kristallografiya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. kand. geol.-mineral. nauk [Hypergenic Zinc Minerals in Sulphide Deposits of the Southern Urals. Extended abstract of candidate's thesis], St. Petersburg, SPbGU Publ., 2016, 23 p.
4. Vikent'ev I. V., Tyukova E. E., Murzin V. V., Vikent'eva O. V., Pavlov L. G. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie. Geologiya, formy zolota, genesis [Vorontsov gold deposit. Geology, forms of gold, genesis], Ekaterinburg, Fort Dialog-Iset' Publ., 2016, 204 p.
5. Kisin A. Yu., Koroteev V. A. Blokovaya skladchatost' i rudogenez [Block folding and ore genesis], Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 2017, 439 p.
6. Koroteev V. A., Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A. Shovnye zony Urala kak integral'nye perspektivnye rudonosnye tektonicheskie struktury [Suture zones of the Urals as integral promising orebearing tectonic structures], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 2009, V. 51, No 2, pp. 107–124. (In Russ.).
7. Nesis V. N., Motov A. P., Butnyakov A. V. Vertikal'naya geokhimicheskaya zonal'nost' okislennykh rud zolotorudnykh mestorozhdenii Anna i Shilovskoe (Tsentral'nyi Ural) [Vertical geochemical zoning of oxidized ores of gold ore deposits Anna and Shilovskoye (Central Urals)], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2019, No 4, pp. 67–78. (In Russ.).
8. Ostapenko N. S. Otkrytye i zakrytye gidrotermal'nye sistemy i ikh rudnyi potentsial (sравnitel'nyi analiz) [Open and closed hydrothermal systems and their ore potential (comparative analysis)], *Voprosy geologii i kompleksnogo osvoeniya prirodnykh resursov Vostochnoi Azii (Blagoveshchensk, IGIP DVO RAN, 15–16 oktyabrya, 2012 g.)* :

sbornik докладov Vtoroi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii [Problems of geology and integrated development of natural resources of East Asia (Blagoveshchensk, IGIP FEB RAS, October 15–16, 2012): a collection of reports of the Second All-Russian Scientific Conference], Blagoveshchensk, 2012, pp. 122–12.

9. Juhlin C., Friberg M., Echler H. P., Hismatulin T., Rybalka A., Green A. G., Ansorge J. Crustal structure of the Middle Urals: Results from the (ESRU) Europrobe seismic reflection profiling in Urals experiments, *Tectonics*, 1998, V. 17, No 5, pp. 710–725.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND BOUNDARIES OF GOLD ORE FIELDS OF THE REGION INCLUDING GORNYACHKA AND PESCHERNOE DEPOSITS, NORTHERN URALS

Nesis V. N. (general director ¹)

Motov A. P. (PhD in geology and mineralogy, chief specialist of business development directorate ¹)

Butnyakov A. V. (deputy general director for the mineral resources base ²)

¹ JSC «Polymetal Management Company», St. Petersburg

² Ural Branch of JSC «Polymetal Management Company», Yekaterinburg

The signs of ore mineralization related to the gold-low-sulfide-quartz formation in the primary oxidized rocks of the central segment of the East Tagil structural-formation zone (SFZ) are the multiplicative halos Ag+Sb+As. These elements are part of secondary ore minerals (arsenates, antimony ochre, native silver), which replaced ore minerals of primary ores (arsenopyrite, faded ores), which were in close intergrowth with gold. The ore fields of the Gornychka and Peshchernoye deposits are shown as plots of clusters of multiplicative aureoles Ag+Sb+As with an area of the first square kilometers. Gold ore fields are limited by blocks of increased density, characterized by the magnesium content in the volcanic-sedimentary strata at a level of $\geq 1\%$ and positive gravity anomalies.

Keywords: gold-quartz deposits, characteristics and boundaries of gold ore fields, geochemical halos, blocks of increased density, East Tagil structural-formation zone.

