

Научная статья

УДК 553.08

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-6

## МИНЕРАЛОГИЯ РУД ВОЗНЕСЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,  
450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2, Znamensky\_Sergey@mail.ru*

Изучены минералогические особенности руд Вознесенского месторождения золота, расположенного в зоне Главного Уральского разлома на северном окончании Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Определение химического состава минералов производилось на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments. Выделены и охарактеризованы две стадии рудообразования. На ранней стадии сначала сформировался мышьяковистый пирит (0.38–0.84% As), являющийся главным минералом руд, а позднее сернистый арсенопирит ( $S/As = 1.12–1.19$ ), молибденит, обогащенный Fe (7.25–8.07%), и халькопирит. С использованием арсенопиритового геотермометра установлено, что формирование сульфидов на ранней стадии происходило ориентировочно в интервале температур 318–380°C. На поздней стадии образовалась ассоциация, объединяющая пирит, содержащий Sb (0.28–0.31%), Zn-Fe-тетраэдрит ( $Cu_{9.1–9.4} (Fe_{1.2–1.3} Zn_{1.1–1.4})_{2.4–2.6} (As_{0.2–0.4} Sb_{3.7–4.1})_{4.2–4.3} S_{12.9–13.2}$ ) и самородное высокопробное золото (952–997‰) с примесью Ag и Cu. Минералы этой ассоциации, имеющие незначительное распространение, выявлены в зонах дробления, развитых в мышьяковистом пирите. По химическому составу изученный тетраэдрит близок к блеклым рудам субэпитермальной минерализации Михеевского Cu-порфирирового месторождения. По результатам выполненных исследований сделан предварительный вывод о принадлежности Вознесенского месторождения к субэпитермальному типу золотого оруденения.

*Ключевые слова:* Южный Урал, золоторудное месторождение, пирит, арсенопирит, субэпитермальное оруденение

*Благодарности:* Работа выполнена в рамках программы государственного заказа ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022–0011.

Original article

## MINERALOGY OF ORES OF THE VOSNEENSKOE GOLD DEPOSIT (SOUTHERN URAL)

S. E. Znamensky, N. M. Znamenskaya

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2,  
K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, Znamensky\_Sergey@mail.ru*

The mineralogical features of the ores of the Voznesenskoye gold deposit located in the zone of the Main Ural Fault at the northern end of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals have been studied.

**Для цитирования:** С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская Минералогия руд Вознесенского месторождения золота (Южный Урал) // Геологический вестник. 2023. № 1. С. 70–77. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-6

**For citation:** S. E. Znamensky, N. M. Znamenskaya (2023) Mineralogy of ores of the Vosneenskoe gold deposit (Southern Ural). *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 1. P. 70–77. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-6

© С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская, 2023

The chemical composition of minerals was determined using a Tescan Vega Compact scanning electron microscope with an Oxford Instruments Xplorer 15 energy dispersive analyzer. Two stages of ore formation have been identified and characterized. On the early of them, arsenic pyrite (0.38–0.84% As), which is the main mineral of ores, was first formed, and later sulfurous arsenopyrite ( $S/As = 1.12–1.19$ ), molybdenite enriched in Fe (7.25–8.07%), and chalcopyrite. Using an arsenopyrite geothermometer, it was found that the formation of sulfides at an early stage occurred approximately in the temperature range of 318–380°C. At a late stage, an association was formed that united pyrite containing Sb (0.28–0.31%), Zn-Fe-tetrahedrite ( $Cu_{9.1–9.4} (Fe_{1.2–1.3} Zn_{1.1–1.4})_{2.4–2.6} (As_{0.2–0.4} Sb_{3.7–4.1})_{4.2–4.3} S_{12.9–13.2}$ ) and native high-grade gold (952–997‰) with impurities Ag and Cu. Minerals of this association, which have an insignificant distribution, are found in crushing zones developed in arsenic pyrite. In terms of chemical composition, the studied tetrahedrite is close to the fahlores of the subepithermal mineralization of the Mikheevka porphyry Cu deposit. Based on the results of the studies performed, a preliminary conclusion was made that the Voznesenskoye deposit belongs to the subepithermal type of gold mineralization.

*Keywords:* Southern Urals, gold deposit, pyrite, arsenopyrite, subepithermal mineralization

*Acknowledgments:* The work was carried out within the framework of the state order program of the IG UFITs RAS No. FMRS-2022–0011

## Введение

Вознесенское золоторудное месторождение расположено в зоне Главного Уральского разлома в Учалинском районе Республики Башкортостан. В архивных материалах оно упоминается также как Калканское месторождение (Бородаевский, 1938ф). Месторождение залегает среди меланжированных серпентинитов, слагающих восточную часть Калканского гарцбургитового массива. В серпентинитах восточной части этого массива известно еще несколько слабо изученных мелких месторождений и рудопроявлений золота (Гановское, Белая жила и др.).

По данным геологов ОАО «Башкиргеология» (Латыпов, 2014ф), Вознесенское месторождение обладает небольшими запасами золота. В последнее время мелкие месторождения золота Учалинского района стали активно обрабатываться малыми предприятиями с использованием метода кучного выщелачивания. В этой связи изучение их геологического строения и условий образования представляется актуальной задачей.

Вознесенское месторождение обладает признаками, характерными для объектов, связанных с порфирово-эпитермальными рудно-магматическими системами. Прожилково-вкрапленная золоторудная минерализация здесь ассоциирует с порфировыми дайками, обладающими геохимическими характеристиками надсубдукционных образований [Знаменский, Знаменская, 2022]. Однако из-за слабой изученности минералогии руд и околорудных метасоматитов его генетическая природа и формационная принадлежность остаются не вполне понятными.

Цель настоящей статьи — рассмотреть минералогические особенности руд месторождения.

## Краткая характеристика геологического строения

По нашим данным [Знаменский, Знаменская, 2022], месторождение приурочено к блоку вулканогенных и интрузивных пород, слагающих фрагмент коровой части офиолитового разреза гарцбургитового типа (рис. 1). Блок, залегающий среди серпентинизированных дунитов и гарцбургитов, состоит из нескольких тектонических пластин, которые ограничены «сухими» разломами с глиной трения, крутопадающими на юго-восток. Разрез офиолитов в рудоносном блоке формируют такситовые габброиды и вулканогенные породы преимущественно основного состава, интродуцированные серией субпараллельных даек. В зоне контакта вулканитов и габброидов часто присутствуют линзы серпентинитов. Габброиды, как правило, сильно дислоцированы и амфиболитизированы. Вулканиты и породы дайковой серии деформированы значительно слабее. Амфиболитизация, характерная для габброидов, в них не проявлена.

Габброиды имеют неоднородное шпирово-полосчатое строение, обусловленное чередованием полос и наличием включений, различающихся по содержанию плагиоклаза, ромбического и моноклинного пироксена, а также роговой обманки. В составе полос и шпиров выделяются габбро-нориты, габбро и их роговообманковые разновидности. Преобладают крупнокристаллические типы пород. Установлены также полосы, сложенные плагиооклазовыми клинопироксенитами. Такситовые габброиды изучены во многих гарцбургитовых массивах Урала, где они занимают нижнекоровую часть офиолитового разреза [Савельева, 1987].

Вулканогенные породы представлены афировыми и преобладающими плагиофировыми

и пироксен-плагиофировыми базальтами и андезибазальтами с толеитовой, реже вариолитовой основной массой, долеритами с офитовой структурой, а также гравийно-псаммитовыми литокристаллокластическими туфами основного состава. По данным бурения, мощность толщи эффузивных и пирокластических пород достигает 150 м.

Комплекс субпараллельных даек представлен плагиофировыми и пироксен-плагиофировыми габбро-долеритами, габбро-диоритами и крайне редко диоритами. В диоритах в незначительных количествах присутствует кварц. Мощность отдельных даек достигает 30 м.

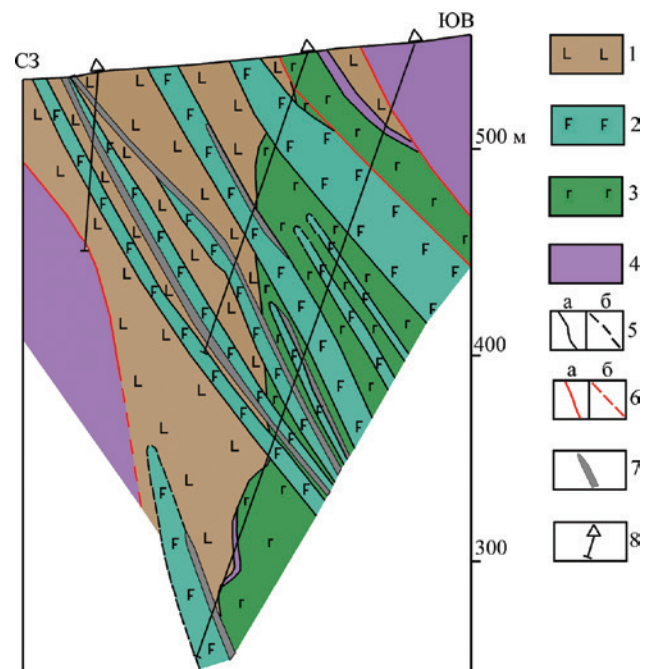
Вулканыты и породы даек, имеющие нормальную щелочность и в основном толеитовый состав, обладают геохимическими характеристиками надсубдукционных образований [Знаменский, Знаменская, 2022]. По химическому составу они сопоставимы с вулканогенными породами баймак-бурибаевской свиты ( $D_{1e}$ ), слагающими основание разреза Магнитогорской палеоостровной дуги [Серавкин и др., 1992]. Предполагается, что золотоносная офиолитовая ассоциация сформировалась в задуговом бассейне фронтальной островной дуги.

Линейные тела прожилково-вкрапленных сульфидных и реже прожилковых кварц-карбонат-сульфидных руд локализованы в дайках и в их экзоконтактовых зонах. По данным геологов ОАО «Башкиргеология» (Сурин, 1989ф; Латыпов, 2014ф) в составе руд присутствуют пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, антимонит и самородное золото. Следует отметить, что изучение химического состава рудных минералов до настоящего времени не проводилось.

Породы месторождения подверглись пропилитизации (ассоциация: амфибол, ортоклаз, альбит и хлорит), имеющей площадное развитие. Золоторудная минерализация сопровождается метасоматитами березит-лиственитового типа (ассоциация: биотит, кварц, альбит, хлорит, белая слюда и карбонат).

### Методы исследований

Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Институте геологии УФИЦ РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (аналитик С. С. Ковалев). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета



**Рис. 1. Геологический разрез Вознесенского месторождения [Знаменский, Знаменская, 2022]**

Условные обозначения: 1 — долериты, базальты, андезибазальты и их туфы; 2 — габбро-долериты, габбро-диориты и диориты; 3 — тахитовые габброиды; 4 — серпентинизированные гарцбургиты и дуниты; 5 — геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 6 — разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 7 — рудные тела; 8 — скважины.

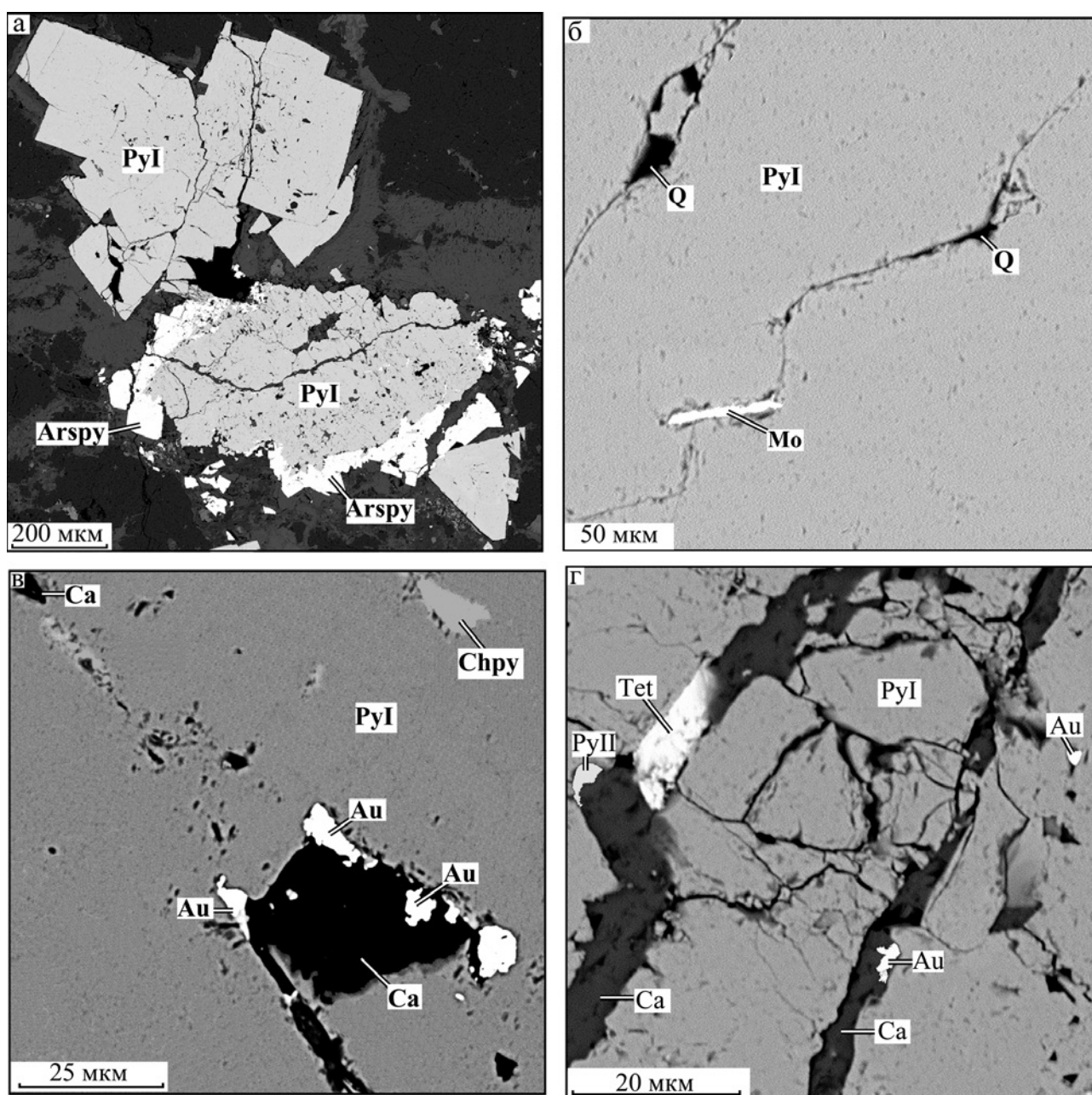
**Fig. 1. Geological section of the Voznesenskoye deposit [Znamensky, Znamenskaya, 2022]**

Legend: 1 — dolerites, basalts, basaltic andesites and their tuffs; 2 — gabbro-dolerites, gabbro-diorites and diorites; 3 — taхite gabbroids; 4 — serpentinized harzburgites and dunites; 5 — geological boundaries identified (a) and assumed (b); 6 — faults identified (a) and assumed (b); 7 — ore bodies; 8 — boreholes.

Az Tec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 4нА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point & I D», диаметр пучка составлял  $\approx$  3 мкм. При анализе использовался встроенный комплект эталонов Oxford Instruments Standards, представленный природными и синтетическими соединениями.

### Результаты исследований

По результатам электронно-микроскопических исследований трех образцов руд, отобранных из двух наиболее крупных золотоносных зон месторождения, установлены следующие рудные минералы: пирит двух генераций, арсенопирит,



**Рис. 2.** Фотографии рудных минералов, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega Compact

Условные обозначения: а — катаклазированные агрегаты пирит PyI с коррозионными каймами арсенопирита; б — трещины с кварцем и молибденитом в пирите PyI; в — прожилок кальцита с самородным золотом и включение халькопирита в пирите PyI; г — прожилки кальцита с включениями пирита PyII, тетраэдрита и самородного золота в пирите PyI. Py — ранней (PyI) и поздней (PyII) рудных ассоциаций, Arspy — арсенопирит, Mo — молибденит, Chpy — халькопирит, Tet — тетраэдрит, Au — самородное золото, Q — кварц, Ca — кальцит.

**Fig. 2.** Photographs of ore minerals obtained with a Tescan Vega Compact scanning electron microscope

Legend: a— cataclased pyrite PyI aggregates with corrosive arsenopyrite rims; б — fracture with quartz and molybdenite in pyrite PyI; в — calcite veinlet with native gold and inclusion of chalcopyrite in pyrite PyI; г — calcite veinlets with inclusions of pyrite PyII, tetrahedrite and native gold in pyrite PyI. Py — early (PyI) and late (PyII) ore associations, Arspy — arsenopyrite, Mo — molybdenite, Chpy — chalcopyrite, Tet — tetrahedrite, Au — native gold, Q — quartz, Ca — calcite.

халькопирит, молибденит, тетраэдрит и самородное золото. Сфалерит, галенит и антимонит, присутствующие по данным геологов ОАО «Башкиргеология» в рудах, нами не обнаружены. Возможно, это связано с тем, что перечисленные сульфиды отсутствовали в изучавшихся образцах, но они могут быть установлены при изучении других образцов.

Главным рудным минералом является пирит ранней генерации PyI. Он представлен отдельными кристаллами обычно кубической формы размером до 2–3 мм, а чаще всего скоплениями зерен, слагающими гнезда и прожилки (рис. 2 а). Как правило, в нем присутствуют мелкие включения сложной формы минералов окolorудного метасоматического ореола: хлорита, альбита, рутила, титанита и других. Геохимической особенностью пирита PyI

являются повышенные содержания As (0.38–0.84%) и Co (0.33–0.35%) (табл. 1).

Арсенопирит второй по распространенности рудный минерал. Обычно он образует коррозионные каймы, замещая пирит PyI (см. рис. 2 а). Иногда арсенопирит присутствует в виде отдельных кристаллов призматической формы размером 100–300 мкм. Он относится к сернистой разновидности ( $S/As = 1.12–1.19$ ) и содержит примесь Sb (0.28–0.42%) (табл. 2). С помощью геотермометра С. Д. Скотта [1984] нами была оценена температура его образования, которая ориентировочно составляет 318–380°C (см. табл. 2).

Молибденит (табл. 3) встречается в рудах крайне редко. Он вместе с кварцем залечивает микротрещины в пирите PyI, образуя пластинча-

Таблица 1. Химический состав (мас. %) пирита  
Table 1. Chemical composition (wt.%) of pyrite

Образец/ компонент	Пирит PyI					Пирит PyII	
	62148	83148	148	2148	4148	5148	8148
Fe	46.54	45.99	46.7	46.5	46.77	47.14	50.1
Co	0.33	—	0.33	0.35	—	—	—
As	0.84	0.41	0.38	0.57	0.72	—	—
Sb	—	—	—	—	Минерал	0.31	0.28
S	52.56	52.96	52.62	53.39	52.49	51.84	49.88
Сумма	100.27	99.36	100.03	100.81	99.98	99.29	100.26

Таблица 2. Химический состав (масс. %) и температура образования арсенопирита  
Table 2. Chemical composition (wt %) and temperature of arsenopyrite formation

Образец	Компонент (вес., %)					Компонент (ат., %)					T, °C
	Fe	As	Sb	S	Сумма	Fe	As	Sb	S	S/As	
7148	34.96	43.11	0.28	20.87	99.22	33.76	31.01	0.11	35.11	1.13	363
80148	35.2	42.73	0.42	21.76	100.11	33.4	30.32	0.16	36.11	1.19	318
9148	34.88	43.97	—	21.2	100.05	33.16	31.36	—	35.12	1.12	380

Таблица 3. Химический состав (масс. %) халькопирита и молибденита  
Table 3. Chemical composition (wt %) of chalcopyrite and molybdenite

Минерал	Халькопирит				Молибденит		
Образец/ компонент	45148	46148	67148	82148	71148	72148	73148
Cu	30.27	32.32	31.95	30.74	—	—	—
Fe	31.37	30.57	30.56	30.74	7.25	8.07	7.57
Co	0.23	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	51.93	51.22	49.19
S	35.46	34.94	34.8	36.07	40.33	40.85	41.77
Сумма	97.33	97.83	97.31	97.56	99.51	100.14	98.53

тые выделения размером до 50 мкм (см. рис. 2 б). Молибденит характеризуется высокими содержаниями Fe (7.25–8.07%).

Халькопирит (см. табл. 3) также относится к редким минералам руд. Он представлен включениями в пирите  $PuI$ , имеющими сложную форму и расплывчатые границы (см. рис. 2 в). Размер включений не превышает первых десятков мкм.

Пирит  $PuI$  и арсенопирит обычно в той или иной степени катаклазированы вплоть до образования брекчий, в которых обломки сульфидов сцементированы кварц-альбит-карбонатным материалом. В зонах дробления, развитых в пирите  $PuI$ , установлены выделения размером в первые десятки мкм пирита  $PuII$ , самородного золота и тетраэдрита (см. рис. 2 в, г). Пирит  $PuII$  по сравнению с пиритом  $PuI$  характеризуется повышенным содержанием Fe и присутствием примеси Sb (0.28–0.31%) (см. табл. 1). В то же время он не содержит As и Co. Самородное золото является высокопробным (952–997‰) и содержит примесь Ag (3.14–4.76%) или Cu (0.26–1.06%) (табл. 4).

Тетраэдрит представлен Zn–Fe разновидностью (табл. 5). Химический состав блеклых руд может быть использован для оценки формационной принадлежности минерализации, связанной с порфирово-эпитептермальными системами [Marushenko et al., 2018; Плотинская Ковальчук, 2022]. Нами проведено сравнение химического состава блеклой руды Вознесенского месторождения и Cu–порфировых месторождений Южного Урала: Талицким, Михеевским и Томинским. Как видно на диаграмме X (Fe)–X (Sb) (рис. 3), фигуративные точки тетраэ-

дрита Вознесенского месторождения попадают в поле блеклых руд из субэпитептермальной минерализации Михеевского месторождения.

Полученные данные позволяют наметить две стадии рудообразования. На ранней стадии сначала сформировался пирит  $PuI$ , а позднее арсенопирит, молибденит и халькопирит. Вторая стадия началась с тектонических деформаций, после которых образовались пирит  $PuII$ , тетраэдрит и самородное золото.

В целом по минеральному составу руд Вознесенское месторождение сходно с (Au±Cu)-сульфидно-кварцевыми месторождениями переходного от порфирового к эпитептермальному типа (субэпитептермального по [Sillitoe, 2010]). Месторождения этого типа были выделены Г.Д. Корбеттом и Т.М. Личем [1998] в островодужных вулканогенных комплексах юго-западной части Тихоокеанского рудного пояса (Ландолам, Кидстон, Билимойя и др.). Отличительной особенностью (Au±Cu)-сульфидно-кварцевых месторождений, относящихся к low sulphidation типу, является преобладание в составе руд сульфидов железа: мышьяковистого пирита, пирротина и арсенопирита [Corbett, 2009]. Золото содержится в основном в пирите. Однако вопрос о формационной принадлежности Вознесенского месторождения требует дальнейшего изучения.

## Заключение

На Вознесенском месторождении выделены и охарактеризованы две стадии рудообразования.

Таблица 4. Химический состав (масс. %) самородного золота  
Table 4. Chemical composition (wt %) of native gold

Образец	55112	57112	58112	59112
Cu	0.26	—	—	1.06
Ag	—	3.14	4.76	—
Au	97.29	96.06	95.24	98.31
Сумма	97.55	99.23	100	99.38
Пробность	997	968	952	989

Таблица 5. Химический состав (масс. %) блеклых руд  
Table 5. Chemical composition (wt.%) of fahlores

Образец	Cu	Fe	Zn	As	Sb	S	Сумма	Формула на 29 к. ф.
79148	35.47	4.45	4.45	0.87	29.39	24.47	99.1	$Cu_{9.4}(Fe_{1.3}Zn_{1.1})_{2.5}(As_{0.2}Sb_{4.1})_{4.3}S_{12.9}$
1222	35.27	4.03	4.73	1.74	28.94	25.53	101.24	$Cu_{9.2}(Fe_{1.2}Zn_{1.2})_{2.4}(As_{0.2}Sb_{4.1})_{4.3}S_{13.1}$
1211	34.69	4.04	5.71	1.81	27.06	25.48	98.79	$Cu_{9.1}(Fe_{1.2}Zn_{1.4})_{2.6}(As_{0.4}Sb_{3.7})_{4.2}S_{13.2}$
78148	35.36	4.55	4.68	0.81	29.37	25.03	99.8	$Cu_{9.3}(Fe_{1.3}Zn_{1.2})_{2.5}(As_{0.2}Sb_{4.0})_{4.2}S_{13.0}$

На ранней стадии сначала сформировался мышьяковистый пирит (0.38–0.84% As), являющийся главным минералом руд, а позднее сернистый арсенопирит ( $S/As = 1.12–1.19$ ), молибденит, обогащенный Fe (7.25–8.07%), и халькопирит. С использованием арсенопиритового геотермометра установлено, что формирование сульфидов на ранней стадии происходило ориентировочно в интервале температур 318–380°C. На поздней стадии образовалась ассоциация, объединяющая пирит, содержащий Sb (0.28–0.31%), Zn-Fe-тетраэдрит (34.69–35.47% Cu; 4.03–4.55% Fe; 4.45–5.7% Zn; 0.81–1.81% As; 27.06–29.39% Sb; 24.47–25.53% S) и самородное высокопробное золото (952–997‰) с примесью Ag и Cu. Минералы этой ассоциации, имеющие незначительное распространение, установлены в зонах дробления, развитых в мышьяковистом пирите. По химическому составу изученный тетраэдрит близок к блеклым рудам субэпитептермальной минерализации Михеевского Cu-порфирирового месторождения. По результатам выполненных исследований сделан предварительный вывод о принадлежности Вознесенского месторождения к субэпитептермальному типу золотого оруденения.

### Список литературы

Знаменский С. Е., Знаменская Н. М. Вознесенское золоторудное месторождение (Южный Урал): геологическое строение, геохимия рудовмещающих пород, геодинамические условия образования // Литосфера. — 2022. — № 3. — С. 391–403. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403>

Плотинская О. Ю., Ковальчук Е. В. Блеклые руды Cu–(Mo)–порфирировых месторождений Урала // Минералогия. — 2022. — № 3. — С. 5–22. DOI: 10.35597/2313-545X — 2022-8-3-1

Савельева Г. Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. — М.: ГИН АН СССР, 1987. — 246 с.

Серавкин И. Б., Косарев А. М., Салихов Д. Н., Знаменский С. Е., Родичева З. И., Рыкус М. В., Сначев В. И. Вулканизм Южного Урала. — М.: Наука, 1992. — 197 с.

Скотт С. Д. Использование сфалерита и арсенопирита для оценки температур и активности серы в гидротермальных месторождениях // Физико — химические модели петрогенеза и рудообразования. — Новосибирск, 1984. — С. 41–49.

Corbett G. J. Anatomy of porphyry — related Au-Cu-Ag-Mo mineralized systems: some exploration implications // *AIG Bulletin*. 2009. V. 49. P. 33–46.

Corbett G. J., Leach T. M. Southwest Pacific Rim Gold — Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization //

*Special Publications of the Society of Economic Geologists*. 1998. V. 6. 214 p. DOI: 10.53.82/sp. 06

Marushchenko L. I., Baksheev I. A., Nagornaya E. V., Chitalin A. F., Nikolaev Yu. N., Vlasov E. A. Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry — epithermal system: A case study of the Baimka Cu — Mo — Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2018. V. 103. P. 21–37. DOI: 10.1016/J. OREGEOREV. 2017.01.018

Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems // *Economic Geology*. 2009. V. 105. P. 3–41. DOI: 10.2113/GSECONGEO. 105.1.3

### References

Corbett G. J. (2009). Anatomy of porphyry — related Au-Cu-Ag-Mo mineralized systems: some exploration implications. *AIG Bulletin*. V. 49. P. 33–46.

Corbett G. J., Leach T. M. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization // *Special Publications of the Society of Economic Geologists*. 1998. V. 6. 214 p. DOI: 10.53.82/sp. 06

Marushchenko L. I., Baksheev I. A., Nagornaya E. V., Chitalin A. F., Nikolaev Yu. N., Vlasov E. A. (2018). Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry-epithermal system: A case study of the Baimka Cu — Mo — Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2018. V. 103. P. 21–37. DOI: 10.1016/J. OREGEOREV. 2017.01.018

Plotinskaya O. Yu., Koval'chuk E. V. (2022). Blekly'e rudy' Cu- (Mo)-porfirovy'x mestorozhdenij Urala [Fahlores ores from porphyry Cu- (Mo) deposits of the Urals] // *Mineralogiya*. № 3. P. 5–22. (in Russian). DOI: 10.35597/2313-545X — 2022-8-3-1

Savel'eva G. N. (1987). Gabbro-ul'trabazitovy'e komplekсы' ofiolitov Urala i ix analogi v sovremennoj okeanicheskoy kore [Gabbro — ultramafic complexes of Urals ophiolites and their analogues in modern oceanic crust]. M.: GIN AN SSSR. 246 p. (in Russian).

Seravkin I. B., Kosarev A. M., Salixov D. N., Znamenskij S. E., Rodicheva Z. I., Ry'kus M. V., Snachev V. I. (1992). Vulkanizm Yuzhnogo Urala [Volcanism of the Southern Urals]. M.: Nauka. 197 p. (in Russian).

Skott S. D. (1984). Ispol'zovanie sfalerita i arsenopirita dlya ocenki temperatur i aktivnosti sery' v gidrotermal'ny'x mestorozhdeniyax // *Fiziko — ximicheskie modeli petrogeneza i rudoobrazovaniya* [The use of sphalerite and arsenopyrite to assess the temperature and activity of sulfur in hydrothermal deposits // *Physical and chemical models of petrogenesis and ore formation*]. Novosibirsk. P. 41–49.

Znamenskij S. E., Znamenskaya N. M. (2022). Voznesenskoe zolotorudnoe mestorozhdenie (Yuzhny'j Ural): geologicheskoe stroenie, geoximiya rudovmeshhayushhix porod, geodinamicheskie usloviya obrazovaniya [Voznesenskoe gold ore deposit (Southern Urals): Geological structure, ore — bearing rock geochemistry, geodynamic formation conditions] // *Litosfera*. № 3. P. 391–40. (in Russian). <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403>

*Сведения об авторах:*

**Знаменский Сергей Евгеньевич**, доктор геол. — мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. Znamensky\_Sergey@mail.ru

**Знаменская Нина Михайловна**, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, ninaznam@mail.ru

*About the authors:*

**Znamensky Sergei Evgenievich**, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. Znamensky\_Sergey@mail.ru

**Znamenskaya Nina Michailovna**, Junior Researcher Associate, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. ninaznam@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.02.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2023; принята к публикации 13.03.2023

The article was submitted 06.02.2023; approved after reviewing 06.02.2023; accepted for publication 13.03.2023