

Научная статья

УДК 553.41: 552.11

DOI: 10.31084/2619-0087/2021-3-3

РУДОНОСНЫЕ ИНТРУЗИВНЫЕ ДИОРИТЫ ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЛЬШОЙ КАРАН: ПЕТРОГРАФИЯ, ГЕОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ

А. М. Косарев¹, Г. Т. Шафигуллина¹, С. Е. Знаменский¹, С. А. Светов², С. Ю. Чаженгина²

¹ *Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, amkosarev@mail.ru*

² *Институт геологии Карельского научного центра РАН, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, ssvetov@krc.karelia.ru*

Приведены новые данные по составу породообразующих минералов рудоносных даек, а также золото-порфировой минерализации и околорудных метасоматитов месторождения Большой Каран, расположенного в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале.

Изучение химического состава минералов проведено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments).

На месторождении выделены несколько генетических групп минералов, соответствующих разным стадиям формирования золото-порфирового оруденения и гидротермально-метасоматических изменений: 1) первично магматические, 2) гидротермально-метасоматические, 3) рудные. Первая группа включает породообразующие минералы (пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, кварц, акцессорные апатит и циркон, титаномагнетит и ильменит, возможно, ортоклаз), образовавшиеся в процессе кристаллизации магмы диоритового состава. Ко второй группе относятся минералы околорудного метасоматического ореола, представленные пренитом, альбитом, карбонатом, хлоритом, серицитом, мусковитом, кварцем и эпидотом. Третья группа представлена сульфидами рудного этапа (пирит, галенит и халькопирит). Таким образом, изучение включений рудных минералов в пиритах показывает наличие полиметаллического уклона в составе вкрапленных сульфидных руд.

Ключевые слова: Южный Урал, зона Главного Уральского разлома, Au-порфировое оруденение, включения рудных минералов в пирите

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН №0246-2019-0078.

Для цитирования: А. М. Косарев, Г. Т. Шафигуллина, С. Е. Знаменский, С. А. Светов, С. Ю. Чаженгина Рудоносные интрузивные диориты золото-порфирового месторождения Большой Каран: петрография, геохимия, минералогия // Геологический вестник. 2021. № 3. С. 19–27. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-3-3

For citation: A. M. Kosarev, G. T. Shafigullina, S. E. Znamensky, S. A. Svetov, S. Yu. Chazhengina. (2021) Ore-bearing intrusive diorites of The Bolshoy Karan gold-porphury deposit: petrography, geochemistry, mineralogy. *Geologicheskii vestnik*. 2021. No. 3. P. 19–27. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-3-3

© А. М. Косарев, Г. Т. Шафигуллина, С. Е. Знаменский, С. А. Светов, С. Ю. Чаженгина, 2021

Original article

ORE-BEARING INTRUSIVE DIORITES OF THE BOLSHOY KARAN GOLD-PORPHYRY DEPOSIT: PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY, MINERALOGY**A. M. Kosarev¹, G. T. Shafigullina¹, S. E. Znamensky¹, S. A. Svetov², S. Yu. Chazhengina²**¹ *Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, amkosarev@mail.ru*² *Institute of Geology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 11, Pushkinskaya St., Petrozavodsk, 185910, Russia, ssvetov@krc.karelia.ru*

New data on the composition of rock-forming minerals of ore-bearing dikes, as well as gold-porphyry mineralization and near-ore metasomatites of the Bolshoy Karan deposit located in the zone of the Main Ural Fault in the Southern Urals are presented.

The study of the chemical composition of minerals was carried out on a VEGA II LSH Scanning Electron Microscope (Tescan) with an energy-dispersive microanalyzer INCA Energy 350 (Oxford instruments).

Several genetic groups of minerals have been identified at the deposit, corresponding to different stages of the formation of gold-porphyry mineralization and hydrothermal-metasomatic changes: 1) primary magmatic, 2) hydrothermal-metasomatic, 3) ore. The first group includes rock-forming minerals (pyroxene, plagioclase, hornblende, quartz, accessory apatite and zircon, titanomagnetite and ilmenite, possibly orthoclase) formed during the crystallization of magma of diorite composition. The second group includes minerals of the near-ore metasomatic halo, represented by prenite, albite, carbonate, chlorite, sericite, muscovite, quartz and, apparently, epidote.

It is established that the gold-bearing sulfide mineralization is accompanied by the development of early potash feldspar-biotite and later albite-carbonate-chlorite-quartz metasomatites with an admixture of epidote and prenite. The third group is represented by sulfides of the ore stage (pyrite, chalcopyrite and galena). Thus, the study of inclusions of ore minerals in pyrites shows the presence of a polymetallic bias in the composition of interspersed sulfide ores.

Keywords: Southern Urals, zone of the Main Ural Fault, Au-porphyry deposit, inclusions of ore minerals in pyrites

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the State Assignment of IG UFIC RAS No. No. 0246-2019-0078

Введение

Месторождение Большой Каран расположено в северной части Вознесенско-Присакмарской зоны (рис. 1), представляющей полиформационный, полихронный комплекс аккреции и серпентинитового меланжа, отождествляемый с Главным Уральским разломом (ГУР). В составе аккреционного комплекса присутствуют мантийные ультрабазиты преимущественно гарцбургитового, реже лерцолитового и дунитового состава, клинопироксениты, верлиты, вебстериты, габбро, диориты, субвулканические, эффузивные и вулканогенно-осадочные породы от основного до кремнекислого состава, возникшие в ордовикско-каменноугольное время на океанической, островодужной и коллизионной стадиях развития Урала. Зона ГУР выражена интенсивной гравитационной ступенью и линейными магнитными аномалиями [Огарин, 1973;

Берлянд, 2007], к западу от которых располагаются комплексы континентального типа, а к востоку — океанического и островодужного типов.

Месторождение Большой Каран приурочено к южному флангу Вознесенского интрузивного массива роговообманковых габбро-диоритов, диоритов, кварцевых диоритов (рис. 2). На северном окончании массива располагается одноименное медно-порфировое месторождение. Массив залегает среди серпентинитов массивного и обломочного строения, содержащих блоки нижнедевонских известняков, базальтов, диабазов, не датированных кремнистых пород и пироксенитов. Обломочные серпентиниты в большинстве своем относятся к эдафогенным брекчиям и конглобрекчиям, входящим в состав олистостромовой толщи [Косарев и др., 2018], вмещающей в пределах Вознесенско-Присакмарской зоны Со-Си-колчеданные месторождения (Ишкининское, Ивановское и др.).

В окрестностях Вознесенского массива известно отработанное Co-Cu-колчеданное рудопроявление Кизникеевское [Бучковский, 1960]. Абсолютный возраст рудовмещающих диоритов Вознесенского интрузивного массива составляет 412–418 млн лет по результатам изучения цирконов [Грабежев, 2009] и по Sm-Nd данным [Косарев и др., 2014].

Месторождение Большой Каран золото-порфинового типа [Знаменский и др., 2020] связано с дайками габбро-диоритов, диоритов, кварцевых диоритов и плагиигранитов, для которых обычны фенокристы плагноклаза, кварца, псевдоморфозы хлорита по роговой обманке и эпидота по пироксену. Микроструктура полнокристаллическая микропризматически зернистая. Роговообманковые габбро и диориты распространены широко в северной части Вознесенско-Присакмарской зоны и выделяются в Нуралинско-Миндякский комплекс. Роговообманковые габбро и диориты охарактеризованы на Нуралинском, Миндякском и Кракинском участках [Gaggero et al., 1997; Pertsev et al., 1997; Spadea et al., 2002; Ферштатер и др., 2010; Ферштатер, 2013]. По соотношениям MgO–Y [Pertsev et al., 1997] габброиды принадлежат к ман-

тийным выплавкам [Ферштатер, 2013, рис. 1.16]. Они обогащены подвижными (КИР) элементами и в целом имеют состав, характерный для надсубдукционных образований.

Цель настоящей статьи — рассмотреть состав породообразующих минералов рудоносных даек, а также минералов золото-порфировой минерализации и околорудных метасоматитов.

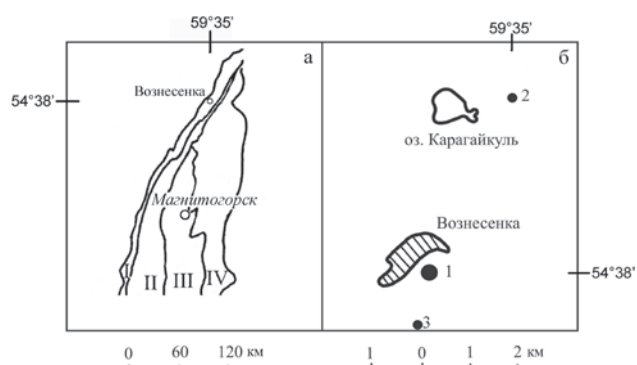


Рис. 1. а. Структурно-формационные зоны первого порядка северной части Магнитогорского мегасинклинория

I — Вознесенско-Присакмарская (ГУР), II — Западно-Магнитогорская, III — Центрально-Магнитогорская, IV — Восточно-Магнитогорская. б. Расположение Вознесенского медно-порфинового месторождения (большой залитый кружок 1) и Карагайкульского рудопроявления и мелкого Au-порфинового месторождения Большой Каран (2, 3). Поле с косой штриховкой — деревня Вознесенка.

Fig. 1. a. Structural and formation zones of the first order of the northern part of the Magnitogorsk megasinclinorium I — Voznesensko-Prisakmara (MUF), II — West Magnitogorsk, III — Central Magnitogorsk, IV — East Magnitogorsk. б. Location of the Voznesensky copper-porphyry deposit (large filled circle 1), Karagaykul ore occurrence and small Au-porphyry deposit Bolshoy Karan (2, 3). Field with oblique shading — the village of Voznesenka.

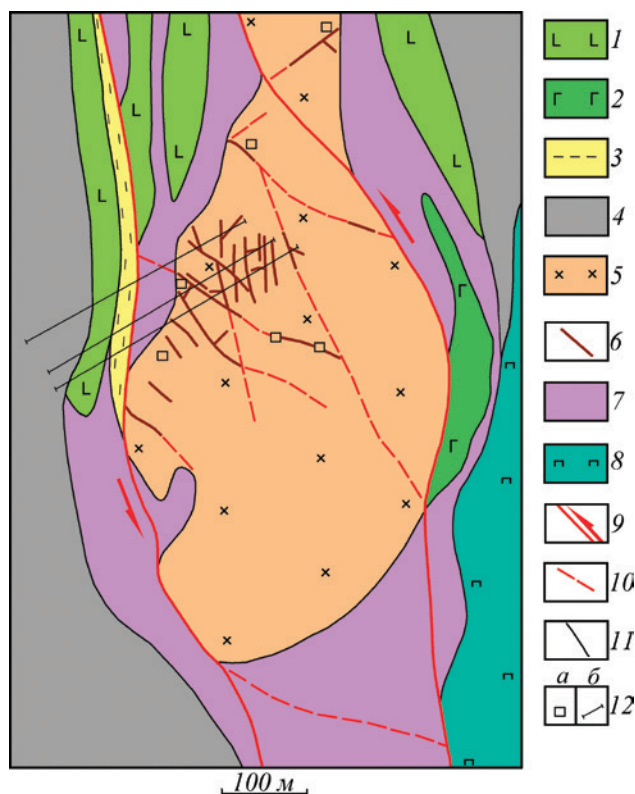


Рис. 2. Геологическая схема золото-порфинового месторождения Большой Каран [Знаменский и др., 2017]

Условные обозначения: 1 — базальты; 2 — диабазы; 3 — кремнистые сланцы; 4 — нижнедевонские известняки; 5 — роговообманковые габбро-диориты и диориты Вознесенского массива; 6 — дайки гранитоидов; 7 — серпентиниты; 8 — пироксениты; 9 — главные разломы, ограничивающие рудоконтролирующую сдвиговую зону, и направление смещений по ним; 10 — вторичные разрывы сдвиговой зоны; 11 — геологические границы; 12 — эксплуатационные шахты (а) и разведочные траншеи (б).

Fig. 2. Geological scheme of the Bolshoy Karan gold-porphyry deposit [Znamensky et al., 2017]

Legend: 1 — basalts; 2 — dolerites; 3 — siliceous shales; 4 — Lower Devonian limestones; 5 — hornblende gabbro-diorites and diorites of the Voznesensky massif; 6 — granitoid dikes; 7 — serpentinites; 8 — pyroxenites; 9 — main faults limiting the ore-controlling shear zone and the direction of displacements along them; 10 — secondary faults of the shear zone; 11 — geological boundaries; 12 — operational mines (a) and exploration trenches (b).

Методика исследования

Изучение морфологии и химического состава минералов проведено на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments) в Институте геологии КарНЦ РАН (аналитик С. Ю. Чаженгина). Параметры сканирования: W-катод, напряжение 20 кВ, время сканирования в стандартном режиме съемки 90 сек. Компьютерная обработка микрозондовых анализов минералов осуществлялась с помощью программы «MINAL» (автор Д. В. Доливо-Добровольский).

Петрографическая характеристика и химический состав минералов роговообманковых диоритов месторождения Большой Каран

В составе комплекса Большекаранского месторождения [Знаменский и др., 2017] преобладают диориты и кварцевые диориты с содержаниями SiO_2 56–61 мас. %. Главные породообразующие минералы — пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, кварц, калишпат. Реликты пироксенов в диоритах Большого Карана редки, чаще встречается роговая обманка.

Петрографическое изучение шлифов диоритов Большекаранского рудного поля показало возможность выделения нескольких ассоциаций минералов, представляющих собой генетические группы: первично магматические, гидротермально-метасоматические и рудные.

Первая группа — первично магматические минералы: пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, кварц, ортоклаз, акцессорные апатит и циркон, титаномагнетит и ильменит. Эта группа включает породообразующие минералы, образовавшиеся в процессе кристаллизации магмы диоритового состава. *Пироксен* редок, встречается в виде реликтов вкрапленников клинопироксена, незамещенных вторичными минералами, или псевдоморфоз, выполненных агрегатом эпидот-хлорит-кварцевого состава. *Плагиоклаз* таблитчатой, удлинненно-призматической формы, в срезах, поперечных удлинению кристаллов, видна реликтовая концентрическая зональность. В призматических кристаллах плагиоклаза четко видна зональность, выраженная в концентрации в центре зерен агрегата мелкочешуйчатого бесцветного серицита, а по периферии выдержанной полосы — относительно чистого плагиоклаза-альбита.

По данным микрозондового анализа плагиоклаз представлен альбитом, который имеет следующий состав (мас. %): SiO_2 63.9–66.05; Al_2O_3 19.55–22.86; CaO 1.5–4.31; Na_2O 10.22–11.25. Формула альбита следующая: $\text{Na}_{0.96}\text{Al}_{1.01}\text{Si}_{3.03}\text{O}_8$.

Кристаллизация плагиоклаза из магмы происходила вслед за клинопироксеном, а альбитизация и серицитизация его связаны с гидротермально-метасоматическим процессом и фазой рудообразования.

По результатам микрозондового анализа калиевый полевой шпат соответствует *ортоклазу*, имеющему следующий состав (мас. %): SiO_2 63.90–66.41, Al_2O_3 16.35–18.45, K_2O 17.07–17.66. Время кристаллизации ортоклаза неизвестно. Диагностика его проведена при микрозондовых исследованиях. Образование ортоклаза могло происходить в конце процесса кристаллизации интрузивных пород или на гидротермальной стадии в период становления метасоматической зоны, содержащей ортоклаз и биотит в рамках Au-Cu-порфировой рудно-магматической системы [Кривцов, 1983].

Роговая обманка сохраняется редко. Иногда намечается ромбовидный характер кристаллов. Замещается хлоритом, местами — в ассоциации с гидробиотитом. Редко встречаются чешуйки биотита с включениями выделений роговой обманки, одновременно угасающих при скрещенных николях. Подобная ситуация, скорее всего, могла возникнуть на позднемагматической стадии, в период замещения роговой обманки биотитом. Гидратация биотита, по всей вероятности, происходила в период образования Au-Cu-порфировой минерализации и сопряженных гидротермально-метасоматического и динамометаморфического процессов.

Вторая группа минералов гидротермально-метасоматической стадии представлена эпидотом, хлоритом, пренитом, мусковит-алюмоселадонитом, кальцитом и кварцем.

Эпидот развивается по плагиоклазу и пироксену, возможно, принадлежит внешней пропилитовой зоне и характеризуется следующим составом (мас. %): SiO_2 —38.61–48.05; Al_2O_3 —25.14–29.91; CaO — 19.59–25.33; Fe_2O_3 —2.98–11.52. Химический состав эпидота отвечает формуле $\text{Ca}_{2.08-2.24}(\text{Al}_{2.16-2.48}\text{Fe}_{0.54-0.70})(\text{Si}_{3.11-3.26}\text{O}_{12})(\text{OH})$.

Пренит в диоритах Большого Карана встречается постоянно в небольших объемах. Химический состав пренита (мас. %): SiO_2 —45.36, Al_2O_3 —25.49; CaO — 29.15. Пренит отвечает формуле: $\text{Ca}_{2.24}\text{Al}_{2.16}(\text{Si}_{3.26}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$.

Хлорит является одним из самых распространенных вторичных минералов, присутствующих в диоритах. Хлорит развивается по роговой обманке и пироксену. В связи с заметным развитием динамометаморфических процессов псевдоморфозы по роговой обманке деформированы, раздавлены и утрачивают форму кристаллов роговой обманки. Нередко в псевдоморфозах по роговой обманке присутствуют серии струйчатых выделений гидробиотита. Кроме того, присутствуют карбонат и выделения пирита. По данным микроразночного

анализа определены три разновидности хлорита: рипидолит, пикнохлорит, диабантит, образовавшиеся в интервале температур 346–185 °С. Детальная характеристика хлоритов содержится в работе [Шафигуллина и др., 2020]. Состав хлоритов околорудных метасоматитов иллюстрируется кристаллохимической формулой: $(Mg_{2.61}Fe_{2.13}Mn_{0.04}Al_{1.22})_6(Si_{2.83}Al_{1.17})_4O_{10}OH_8$.

Мусковит, серицит замещают полевые шпаты, в частности, плагиоклаз. Преобладают мелкошуйчатые разновидности, диагностируемые как сери-

Таблица 1. Состав минеральных включений в пирите (мас. %) (проба 23–16/2)
Table 1. Composition of mineral inclusions in pyrite (wt. %) (sample 23–16/2)

	S	Fe	Pb	Cu	Zn	Sn	O	Al	Si	Mg	Te	Hg	Ag	Bi
Галенит (PbS)														
4–1	14.73	5.55	79.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4–2	20.78	9.95	69.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4–3	25.47	13.1	61.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6–1	15.84	4.89	79.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18–1	39.90	29.50	30.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
53–1	14.73	—	85.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Халькопирит (CuFeS ₂)														
2–22–1	37.08	34.07	—	28.86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25–1	35.15	31.67	—	33.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26–1	35.01	31.69	—	33.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2–8–1	32.52	28.35	—	31.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сфалерит (ZnS)														
16–1	33.99	7.60	—	—	58.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16–2	34.54	6.74	—	—	58.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16–3	35.07	5.55	—	—	59.38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Касситерит (SnO ₂)														
2–1	2.18	3.86	—	—	—	36.19	57.77	—	—	—	—	—	—	—
12–1	3.83	5.97	—	—	—	39.76	39.69	3.19	5.83	1.74	—	—	—	—
21–1	—	—	—	—	—	37.90	47.28	6.82	8.00	—	—	—	—	—
53–3	5.03	—	34.59	—	—	38.3	22.08	—	—	—	—	—	—	—
Колорадоит (HgTe)														
2–6–1	0.90	3.19	—	—	—	—	—	—	—	—	37.86	58.04	—	—
2–28–1	—	3.87	—	—	—	—	—	—	—	—	37.35	58.78	—	—
2–34–1	2.22	3.89	—	—	—	—	—	—	—	—	37.51	56.38	—	—
2–34–2	—	9.17	—	—	—	—	—	—	—	—	35.43	55.4	—	—
Тетрадимит (Bi ₂ TeS ₂)														
2–31–1	20.84	17.83	13.66	—	—	—	—	—	—	—	27.88	—	1.13	18.64
2–32–2	14.14	12.15	17.65	—	—	—	—	—	—	—	33.11	—	—	22.94

Примечание: 53–3 — касситерит в галените 53–1.
Note: 53–3 — cassiterite in galena 53–1.

цит, и средне-крупночешуйчатые разновидности (мусковит), изученные на микрозонде. Согласно номенклатуре [Rieder et al., 1999], крупночешуйчатая слюда относится к диоктаэдрическим слюдам ряда мусковит — алюмоселадонит с низким содержанием Al в тетраэдрической позиции. Большинство слюд концентрируется в центральной части зерен полевых шпатов. Возможно, этот факт свидетельствует о более высоких первичных концентрациях калия в центральных частях кристаллов плагиоклаза.

Минералы гидротермально-метасоматической группы, включающие хлорит, мусковит, серицит, алюмоселадонит, кварц, альбит, карбонат и пренит, развиваются неравномерно, фиксируя ореолы рудной сульфидной минерализации.

Рудные минералы представлены *пиритом, халькопиритом и галенитом*. Состав пирита по данным микрозондового анализа (мас. %): Fe — 37.77–46.82; S — 52.54–54.66.

При микрозондовых исследованиях пиритов из диоритов были обнаружены и изучены микровключения разного состава. В пирите (обр. 23–16/2) обнаружены сульфиды (сфалерит, галенит, халькопирит, тетрадимит), касситерит, колорадоит и самородное серебро (табл.). Размер зерен сульфидов не превышает 10 мкм: халькопирит образует выделения размером 5–10 мкм, сфалерит — 3–5 мкм, галенит — 3–7 мкм. Скопления пирита иногда (шлиф 24–16/2) приурочены к трещинкам отрыва в пределах микросдвиговых структур, где эти скопления располагаются кулисно и сопровождаются проявлениями динамометаморфизма. Эти данные подтверждают вывод С. Е. Знаменского с соавторами [2017] о контроле даек месторождения и рудной минерализации сдвиговыми нарушениями.

Галенит (PbS) — доминирующий минерал в пирите. Его состав (мас. %): Pb 30.60–85.27; S 14.73–39.90. В галените отмечаются мельчайшие включения касситерита размером 1–2 мкм. Незначительные количества микроскопических кристаллов *касситерита* (SnO₂), обнаруженные в пирите, содержат примеси S (2.18–3.83 мас. %), Al (3.19–6.82 мас. %), Si (5.83–8.00 мас. %), Fe (3.86–5.97 мас. %) и Mg (1.74 мас. %). Таким образом, касситерит в виде включений наблюдается как в пирите, так и в галените.

Тетрадимит (Bi₂TeS₂) отмечается довольно редко. По данным микрозондового анализа тетрадимит характеризуется наличием микропримесей Ag и Pb.

Пирит из гранодиоритов (обр. 24–16/2) характеризуется минимальным количеством микровключе-

ний, среди которых установлены галенит (размером 3–5 мкм) и касситерит (размером около 1 мкм).

Обсуждение материалов и основные выводы

По данным петрографических исследований и микрозондового анализа рудоносные дайки габбро-диорит-плагиогранитного ряда месторождения Большой Каран состоят из плагиоклаза (альбита), клинопироксена, роговой обманки, резе кварца. Золотоносная сульфидная минерализация локализована в зонах развития пренит-альбит-карбонат-хлорит-серицит-селадонит-кварцевых метасоматитов с примесью эпидота. Генетическая природа ортоклаза достоверно не установлена. Его образование могло происходить в конце кристаллизации интрузивных пород или на начальных стадиях гидротермального процесса во внутренних частях метасоматического ореола. Пирит руд содержит многочисленные включения галенита, сфалерита, халькопирита, тетрадимита, касситерита, колорадоита и самородного серебра. Эти включения можно рассматривать как проявление полиметаллического уклона во вкрапленных пиритовых рудах.

В последние десятилетия на Урале открыты и разрабатываются новые рудные промышленные объекты медно-золото-порфинового типа (Березняковское, Томинское, Михеевское месторождения на Южном Урале, Петропавловское — на Полярном Урале). В обобщающих работах [Викентьев и др., 2016, 2017] показано наличие четких геохимических трендов, проявляющихся во времени: обогащение ранних генераций пирита Co, As, Ni, Ag, Zn, поздних — Au, Ag, Te, Sn, Bi.

В пределах Вознесенского массива Cu (Вознесенское месторождение) и Au-порфиновые (Большой Каран) объекты пространственно разобщены. Наличие в Большекаранских пиритовых рудах большого количества включений халькопирита, сфалерита, галенита, тетрадимита, касситерита, колорадоита и самородного серебра указывает на полиметаллический уклон рудной минерализации. В целом же Au-Cu-порфиновые системы Петропавловского и Вознесенско-Большекаранского типов можно рассматривать в рамках единой Cu-Au-порфировой системы с совмещенным Cu-Au-порфиновым и разобленным Cu-порфиновым и Au-порфиновым типами оруденения.

Список литературы:

- Берлянд Н. Г. Глубинное строение и эволюция литосферы Урала. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. 256 с.
- Бучковский Э. С. Основные черты сульфидной рудоносности ультраосновных массивов восточного склона Южного Урала // *Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала*. М.: Госгеолтехиздат, 1960. Вып. 2. С. 94–105.
- Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Ковальчук Е. В., Бортников Н. С. Микропримеси в пирите золото-порфирирового месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS // *Доклады Академии наук*, 2016. Т. 470, №3. С. 326–330. Цитировано 12 раз. DOI: 10.7868/S0869565216270220.
- Викентьев И. В., Мансуров Р. Х., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Соболев И. Д., Абрамова В. Д., Выхристенко Р. И., Хубанов В. Б., Трофимов А. П., Грознова Е. О., Двуреченская С. С., Кряжев С. Г. Золото-порфирировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // *Геология рудных месторождений*. 2017. Т. 59, №6. С. 501–541. DOI: 10.7868/S001677701706003X.
- Грабежнев А. И. Sr-Nd-C-O-H-S изотопная характеристика медно-порфирировых флюидно-магматических систем Южного Урала: вероятные источники вещества // *Литосфера*. 2009. №6. С. 66–89.
- Знаменский С. Е., Анкушева Н. Н., Артемьев Д. А. Условия образования, состав и источники рудообразующих флюидов золото-порфирирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // *Литосфера*. 2020. Т. 20, №3. С. 397–410. Цитировано 1 раз. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-3-397-410.
- Знаменский С. Е., Косарев А. М., Знаменская Н. М., Тимофеев С. П., Шафигуллина Г. Т. Структурный контроль и геохимия рудоносных даек золото-порфирирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // *Геология. Известия Отделения о Земле и природных ресурсов АН РБ*. 2017. №24. С. 39–46.
- Косарев А. М., Пучков В. Н., Ронкин Ю. Л., Серавкин И. Б., Холоднов В. В., Грабежнев А. И. Новые данные о возрасте и геодинамической позиции медно-порфирировых проявлений Главного Уральского разлома на Южном Урале // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 459, №1. С. 62–66. Цитировано 16 раз. DOI: 10.7868/s0869565214310193.
- Косарев А. М., Знаменский С. Е., Серавкин И. Б. Эдафогенный литогенез в Вознесенско-Присакмарской зоне палеоостроводужной Магнитогорской мегазоны на Южном Урале // VII Чтения памяти член-корр. РАН С. Н. Иванова: *Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию основания Уральского отделения Российского минералогического общества*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 106–108.
- Криццов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфирировых месторождений. М.: Недра, 1983. 255 с.
- Огаринов И. С. Строение и районирование земной коры Южного Урала. М.: Наука, 1973. 86 с.
- Ферштатер Г. Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 365 с.
- Ферштатер Г. Б., Холоднов В. В., Кременецкий А. А., Краснобаев А. А., Бородин Н. С., Зинькова Е. А., Прибавкин С. В. Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции // *Геология рудных месторождений*. 2010. Т. 52, №1. С. 65–84.
- Шафигуллина Г. Т., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Условия образования золото-порфирирового оруденения месторождения Большой Каран (Южный Урал) по данным хлоритовой геотермометрии // *Геологический вестник*. 2020. №2. С. 45–53. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-2-4.
- Gaggero L., Spadea P., Cortesogno L., Savelieva G. N., Pertsev A. N. Geochemical investigation of the igneous rocks from the Nurali ophiolite mélange zone, Southern Urals // *Tectonophysics*. 1997. Vol. 276. P. 139–161. Cited 20 times. DOI: 10.1016/s0040-1951(97)00054-1.
- Pertsev A. N., Spadea P., Savelieva G. N., Gaggero L. Nature of the transition in the Nurali ophiolite, Southern Urals // *Tectonophysics*. 1997. Vol. 276. P. 163–180. Cited 15 times. DOI: 10.1016/s0040-1951(97)00056-5.
- Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kamenetskii V. A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval' P. V., Müller G., Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J.-L., Sassi F. P., Takeda H., Weiss Z., Wones D. R. Nomenclature of the micas // *Mineralogical Magazine*. 1999. Vol. 63 (2). P. 267–279. Cited 92 times. DOI: 10.1180/minmag.1999.063.2.13.
- Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Ye., Brown D. Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc-arc Complex // *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present*. Geophysical Monograph. 2002. Vol. 132. P. 101–134. Cited 14 times. DOI: 10.1029/132gm07.

References:

- Berlyand N. G. (2007) *Glubinnoe stroenie i evolyutsiya litosfery Urala* [Deep structure and evolution of the lithosphere of the Urals]. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 256 p. (In Russian).
- Buchkovskiy E. S. (1960) Principal Features of the Sulfide Ore Potential of Ultramafic Masifs on the Eastern Slope of the Southern Urals. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemyim Yuzhnogo Urala* [Materials on geology and minerals of the Southern Urals]. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 94–105. (In Russian).
- Fershtater G. B. (2013) *Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic Intrusive Magmatism of the Middle and South Urals]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., 365 p. (In Russian).
- Fershtater G. B., Kholodnov V. V., Kremenetskii A. A., Krasnobaev A. A., Borodina N. S., Zinkova E. A., Pribavkin S. V. (2010) Au-bearing gabbro-tonalite-granodiorite-granite plutons of the Urals: age, geochemistry, and magmatic and ore evolution. *Geology of Ore Deposits — Geologiya rudnyh mestorozhdenii*, 52 (1), 58–76. (In Russian).

- Gaggero L., Spadea P., Cortesogno L., Savelieva G. N., Pertsev A. N. (1997) Geochemical investigation of the igneous rocks from the Nurali ophiolite mélange zone, Southern Urals. *Tectonophysics*, **276**, 139–161. Cited 20 times. DOI: 10.1016/s0040–1951 (97) 00054–1.
- Grabezhev A. I. (2009) Sr-Nd-C-O-H-S isotope-geochemical description of South Urals porphyry-copper fluid-magmatic systems: Probable sources of matter. *Litosfera*, (6), 66–89. (In Russian).
- Kosarev A. M., Puchkov V. N., Ronkin Yu. L., Seravkin I. B., Kholodnov V. V., Grabezhev A. I. (2014) New data on the age and geodynamic position of copper-porphyry mineralization in the Main Uralian fault zone (South Urals). *Doklady Akademii Nauk*, **459** (1), 62–66. Cited 16 times. DOI: 10.7868/s0869565214310193. (In Russian).
- Kosarev A. M., Znamensky S. E., Seravkin I. B. (2018) Edafogennyi litogenez v Voznesensko-Prisakmarskoi zone paleostrovoduzhnoi Magnitogorskoj megazony na Yuzhnom Urale [Edaphogenic litogenesis in the Voznesensko-Prisakmarsk zone paleoisland Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. VII Chleniya pamyati chlen-korr. RAN S. N. Ivanova. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferencii, posvyashchennoy 70-letiyu osnovaniya Ural'skogo otdeleniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva [VII Readings in memory of correspondent member of RAS S. N. Ivanov]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, P. 106–108. (In Russian).
- Krivtsov A. I. (1983) *Geologicheskie osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdenii* [Geological bases of forecast and prospecting for copper-porphyry deposits]. Moscow, Nedra Publ., 256 p. (In Russian).
- Ogarinov I. S. (1973) *Stroenie i raionirovanie zemnoi kory Yuzhnogo Urala* [Structure and zoning of crust of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 85 p. (In Russian).
- Pertsev A. N., Spadea P., Savelieva G. N., Gaggero L. (1997) Nature of the transition in the Nurali ophiolite, Southern Urals. *Tectonophysics*, **276**, 163–180. Cited 15 times. DOI: 10.1016/s0040–1951 (97) 00056–5.
- Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kamenetskii V. A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval' P. V., Müller G., Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J.-L., Sassi F. P., Takeda H., Weiss Z., Wones D. R. (1999) Nomenclature of the micas. *Mineralogical Magazine*, **63** (2), 267–279. Cited 92 times. DOI: 10.1180/minmag.1999.063.2.13.
- Shafigullina G. T., Znamensky S. E., Kosarev A. M. (2020) Conditions for the formation of gold-porphyry mineralization of the Bolshoi Karan deposit (Southern Urals) according to chlorite geothermometry. *Geologicheskii vestnik — Geological Bulletin*, (2), 45–53. DOI: 10.31084/2619–0087/2020-2-4. (In Russian).
- Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Ye., Brown D. (2002) Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc-arc Complex. *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph*, **132**, 101–134. Cited 14 times. DOI: 10.1029/132gm07.
- Vikentiev I. V., Abramova V. D., Ivanova Yu. N., Tyukova E. E., Kovalchuk E. V., Bortnikov N. S. (2016) Trace elements in pyrite from the Petropavlovsk gold — porphyry deposit (Polar Urals): Results of LA-ICP-MS analysis. *Doklady Earth Sciences*, **470** (1). P. 976–980. Cited 12 times. DOI: 10.1134/S1028334X16090221.
- Vikentyev I. V., Mansurov R. H., Ivanova Y. N., Tyukova E. E., Sobolev I. D., Abramova V. D., Vykhrstenko R. I., Trofimov A. P., Khubanov V. B., Groznova E. O., Dvurechenskaya S. S., Kryazhev S. G. (2017) Porphyry-style petropavlovskoe gold deposit, the polar urals: geological position, mineralogy, and formation conditions. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, **59** (6), 501–541. DOI: 10.7868/S001677701706003X (In Russian).
- Znamensky S. E., Ankusheva N. N., Artemiev D. A. (2020) Formation conditions, composition and sources of ore-forming fluids of the Bolshoi Karan gold-porphyry deposit (South Ural). *Litosfera*, **20** (3), 397–410. Cited 1 times. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-3-397-410. (In Russian).
- Znamensky S. E., Kosarev A. M., Znamenskaya N. M., Timofeev S. P., Shafigullina G. T. (2017) Structural control and geochemistry of ore-bearing dikes of the Bolshoi Karan gold-porphyry deposit (South Urals). *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya o Zemle i prirodnykh resursov AN RB — Geology. Proceedings of the Department of the Earth and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, (24), 39–46. (In Russian).

Сведения об авторах:

Косарев Александр Михайлович, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. amkosarev@mail.ru

Шафигуллина Гульнара Турдибаевна, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. shafigullina_g@mail.ru

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

Светов Сергей Анатольевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального

исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИГ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск. ssvetov@krc.karelia.ru

Чаженгина Светлана Юрьевна, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИГ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск. chzhengina@mail.ru

About the authors:

Kosarev Alexandr Michailovich, candidate 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, Russia, amkosarev@mail.ru

Shafigullina Gulnara Turdibaevna, candidate 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, Russia, shafigullina_g@mail.ru

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, Russia, Znamensky_Sergey@mail.ru

Svetov Sergei Anatolevich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — subdivision of the Federal Research Center “Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” (IG KarRC RAS), Petrozavodsk, Russia, ssvetov@krc.karelia.ru

Chzhengina Svetlana Yurevna, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — subdivision of the Federal Research Center “Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” (IG KarRC RAS), Petrozavodsk, Russia, chzhengina@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.07.2021; одобрена после рецензирования 21.08.2021; принята к публикации 15.11.2021

The article was submitted 26.07.2021; approved after reviewing 21.08.2021; accepted for publication 15.11.2021