

УДК 553.2

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-4>

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЛЬШОЙ КАРАН (ЮЖНЫЙ УРАЛ) ПО ДАННЫМ ХЛОРИТОВОЙ ГЕОТЕРМОМЕТРИИ

© 2020 г. Г. Т. Шафигуллина, С. Е. Знаменский, А. М. Косарев

Реферат. Изучен химический состав и определена температура образования хлорита из околорудных метасоматитов золото-порфирового месторождения Большой Каран, расположенного в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале. Состав хлорита исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (Tescan) в ИГ КарНЦ РАН. Установлены три разновидности хлорита: пичнохлорит, рипидолит и диабантит. Показано, что формирование хлорита происходило в мезотермальных условиях в интервале температур 346–185°C.

Ключевые слова: Южный Урал, золото-порфировое месторождение, хлоритовый геотермометр

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF GOLD-PORPHYRY MINERALIZATION OF THE BOLSHOY KARAN DEPOSIT (SOUTHERN URALS) ACCORDING TO CHLORITE GEOTHERMOMETRY

© 2020 G. T. Shafigullina, S. E. Znamensky, A. M. Kosarev

Abstract. The chemical composition and temperature of formation of chlorite from near-ore metasomatites of the Bolshoy Karan gold-porphyry deposit located in the zone of the Main Ural Fault in the Southern Urals were studied. The composition of chlorite was studied using the VEGA II LSH scanning electron microscope (Tescan) at the IG KarRC RAS. There are three types of chlorite: pynochlorite, ripidolite and diabantite. It is shown that the formation of chlorite occurred in mesothermal conditions in the temperature range of 346–185°C.

Key words: Southern Urals, gold-porphyry deposit, chlorite geothermometry

Введение

Месторождение Большой Каран расположено в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале, в 35 км северо-восточнее города Учалы Республики Башкортостан (рис. 1). Оно относится к редкому и слабо изученному на Урале золото-порфировому типу [Знаменский и др., 2017, 2020]. Долгое время золото-порфировое оруденение считалось нетипичным для уральского орогена и не имеющим большого экономического значения. Однако открытие в последние десятилетия на Урале

нескольких месторождений золота, связанных с порфирово-эпитермальными системами (Петропавловского, Березняковского и др.), показало, что этот тип оруденения является весьма перспективным и может стать альтернативным источником золота для горнорудной промышленности Урала. В этой связи изучение генетических особенностей золото-порфировых месторождений представляется актуальной задачей.

С целью выяснения условий образования золото-порфировой минерализации месторождения Большой Каран нами был изучен химический состав

Для цитирования: Шафигуллина Г.Т., Знаменский С.Е., Косарев А.М. Условия образования золото-порфирового оруденения месторождения Большой Каран (Южный Урал) по данным хлоритовой геотермометрии // Геологический вестник. 2020. № 2. С. 45–53. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-4>.

For citation: Shafigullina G.T., Znamensky S.E., Kosarev A.M. Conditions for the formation of gold-porphyry mineralization of the Bolshoy Karan deposit (Southern Urals) according to chlorite geothermometry // Geologicheskii vestnik. 2020. No. 2. P. 45–53. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-4>.

хлорита из околорудного ореола и на этой основе оценена температура его образования.

Краткая геологическая характеристика месторождения

Месторождение расположено в южной части Вознесенского интрузивного массива (D_1), сложенного роговообманковыми габбро-диоритами, диоритами и местами гранодиоритами (рис. 1). Золото-порфировое оруденение пространственно тесно связано с дайками гранитоидов, которые, судя по имеющимся у нас геохимическим данным [Знаменский и др., 2017], являются поздней «порфировой» фазой Вознесенской интрузии. Рудоносная серия даек представлена габбро-диоритами, диоритами и гранодиоритами, для которых характерны вкрапленники плагиоклаза, иногда кварца и афанитовая полнокристаллическая основная масса, состоящая из плагиоклаза и гидротермально измененных тем-

ноцветных минералов, а также кварца. Отдельные рудоносные дайки сложены среднезернистыми плагиофировыми диоритами, состоящими из плагиоклаза, клинопироксена, кварца и роговой обманки. Размещение даек контролируется вторичными разрывами трансенсивного дуплекса, образовавшегося в интервале пересечения Вознесенского массива сдвиговой зоной север-северо-западного простирания.

Рудные тела представляют собой линейные сульфидно-карбонат-кварцевые штокверки, концентрирующиеся в дайках. В небольшом количестве внутри штокверков развиты брекчиевые сульфидно-карбонат-кварцевые руды. Среди сульфидов преобладают пирит и арсенопирит. Кроме того, в рудах присутствуют сфалерит, галенит, антимонит, халькопирит и самородное золото. Околорудные метасоматиты имеют серицит-хлорит-кварцевый состав с примесью карбоната, иногда биотита, калиевого полевого шпата и эпидота.

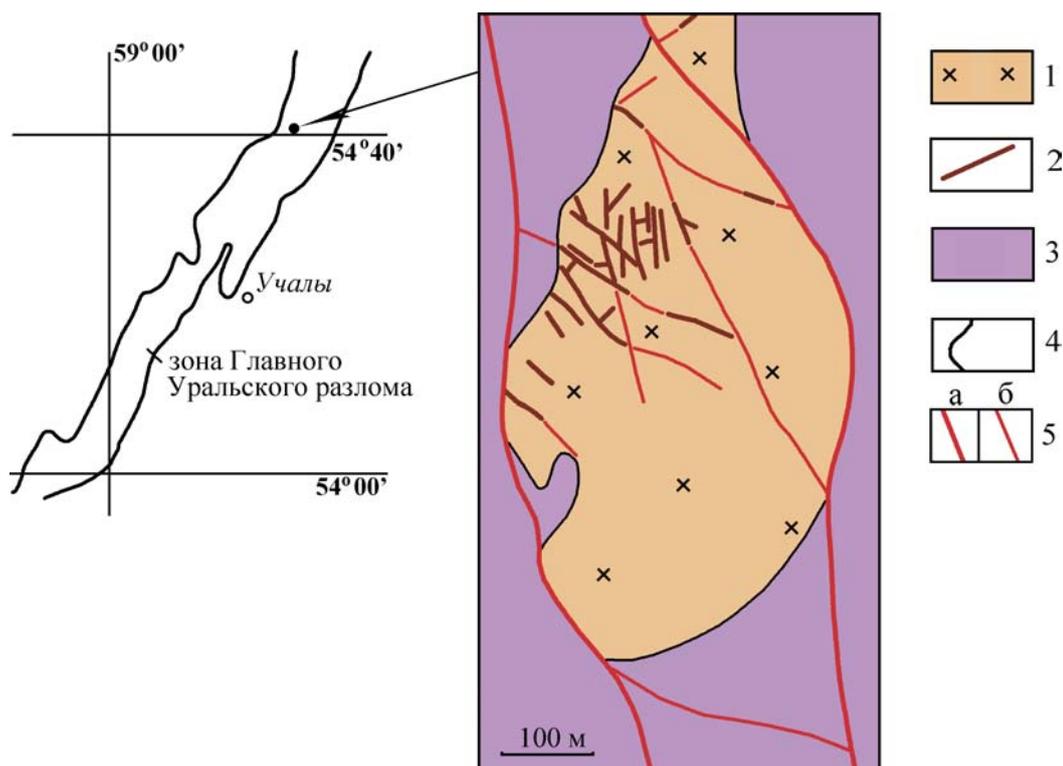


Рис. 1. Схема геологического строения золото-порфирового месторождения Большой Каран

Условные обозначения: 1 — габбро-диориты, диориты и гранодиориты Вознесенского массива; 2 — дайки гранитоидов; 3 — меланжированные серпентиниты с блоками нижнедевонских известняков, базальтов, диабазов и кремней неизвестного возраста и пироксенитов; 4 — геологические границы; 5 — сдвиги: а — главные, б — второстепенные.

Fig. 1. The scheme of geological structure of the gold-porphyry deposit Bolshoy Karan

Legend: 1 — gabbro-diorites, diorites and granodiorites of the Voznesensk massifs; 2 — granitoid dikes; 3 — mélangé serpentinites with blocks of Lower Devonian limestones, diabase, basalts and flints of unknown age and pyroxenites; 4 — geological borders; 5 — strike-slips: a — major, b — minor.

Методика исследований

Для исследований А.М. Косаревым были отобраны образцы из метасоматически измененных даек гранодиоритов. Состав хлорита изучался 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.

Температурные условия образования хлорита оценены с помощью эмпирических хлоритовых геотермометров [Cathelineau, 1988; Kranidiotis, MacLean, 1987; Jowett, 1991; Zang, Fyfe, 1995]. Формулы для расчета температур образования хлоритов приведены в табл. 1. Результаты анализа хлорита, рассчитанные по формульным коэффициентам на 20 ф.е., представлены в табл. 2.

Таблица 1

Формулы для расчета температуры образования хлорита

Table 1

Formulas for calculating the temperature of formation of chlorite

Формулы расчета хлоритовых геотермометров	Авторы	Основные показатели для расчета
$T_1, ^\circ\text{C} = -61,92 + 321,98 \text{ Al}_{014}^{\text{IV}}$	[Cathelineau, 1988]	$\text{Al}_{014}^{\text{IV}}$ 0/59–1/93 к.ф. Данные уравнения применимы в интервале температур 130–310°C
$T_2, ^\circ\text{C} = 106 \text{ Al}_c^{\text{IV}} + 18$, где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{028}^{\text{IV}} + 0,7(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$	[Kranidiotis, MacLean, 1987]	$\text{Al}_{028}^{\text{IV}}$ (от 2/3 до 3/01 ф.е.) и $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$
$T_3, ^\circ\text{C} = 319 \text{ Al}_c^{\text{IV}} - 69$ $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{014}^{\text{IV}} + 0,1(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$	[Jowett, 1991]	$\text{Al}_{014}^{\text{IV}}$ При $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) < 0/6$
$T_4, ^\circ\text{C} = 106,2 \text{ Al}_c^{\text{IV}} + 17,5$, где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{028}^{\text{IV}} - 0,88(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) - 0,34)$	[Zang, Fyfe, 1995]	$(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) > 0/34$ для железистых хлоритов

Таблица 2

Химический состав хлорита интрузивных пород месторождения Большой Каран

Table 2

Chemical composition of chlorite of Intrusive rocks of the Bolshoy Karan Deposit

№ обр. Элементы	23-16/2			24-16/2			
	16-4	19-3	19-5	21-1	22-4	23-1	26-4
Спектр	П	Р	П	П	П	П	Д
Разновидности	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	30.76	30.24	31.91	31.31	31.41	31.58	33.66
TiO_2	–	–	–	–	–	–	–
Al_2O_3	21.99	23.78	21.48	21.35	20.11	21.16	20.62
Cr_2O_3							
FeO	27.67	24.93	25.69	31.80	32.55	34.05	33.62
MnO	0.54			1.13			
MgO	19.02	21.04	20.91	14.41	15.93	13.20	12.11
CaO	–	–	–	–	–	–	–
Na_2O	–	–	–	–	–	–	–
K_2O	–	–	–	–	–	–	–
Сумма	100	100	100	100	100	100	100
(расчет на 20 O)							
Si	5.66	5.47	5.81	5.94	5.93	6.04	6.47
Ti	–	–	–	–	–	–	–
Al	4.77	5.07	4.61	4.77	4.47	4.77	4.67

1	2	3	4	5	6	7	8
Cr	—	—	—	—	—	—	—
Fe ³⁺	—	—	—	—	—	—	—
Fe ²⁺	4.25	3.77	3.9	5.04	5.13	5.43	5.39
Mn	0.08			0.18			
Mg	5.22	5.67	5.67	4.07	4.48	3.76	3.47
Ca	—	—	—	—	—	—	—
Na	—	—	—	—	—	—	—
K	—	—	—	—	—	—	—
Al ^{IV}	2.33	2.52	2.19	2.06	2.07	1.96	1.53
Al ^{VI}	2.44	2.55	2.41	2.71	2.40	2.81	3.14
Кристаллохимические характеристики							
X(Mg)	0.54	0.60	0.59	0.44	0.47	0.41	0.39
sumFe	4.25	3.77	3.90	5.04	5.13	5.43	5.39
X(Fe)	0.45	0.40	0.41	0.55	0.53	0.59	0.61
Si/Al	1.18	1.08	1.26	1.24	1.33	1.27	1.38
Температуры образования °С							
T1, °C	314	344	290	269	272	254	185
T2, °C	299	315	280	277	277	270	225
T3, °C	317	346	293	277	278	263	195
T4, °C	255	280	244	216	219	202	155

Примечание: X(Mg) — коэффициент магнезиальности Mg/(Fe³⁺+Mn+Mg); X(Fe) — коэффициент железистости Fe/(Fe+Mg). Температура рассчитана по хлоритовым геотермометрам см. табл. 1. Образцы 23-16/2, 24-16/2 — гранодиорит. Разновидности хлорита: П — пикнохлорит, Р — рипидолит, Д — диабантит. Прочерк — не обнаружено.

Note: X(Mg) — coefficient of magnesia Mg/(Fe³⁺+Mn+Mg); X(Fe) — coefficient of iron content Fe/(Fe+Mg). The temperature is calculated using chlorite geothermometry, see table 2. Samples 23-16/2, 24-16/2 — granodiorite. Varieties of chlorite: П — pycnochlorite, P — ripidolite, Д — diabantite. Dash — not detected.

Результаты исследований и основные выводы

На классификационной диаграмме Si–(Fe/Fe+Mg) [Heu, 1954] (рис. 2) точки химических составов хлорита соответствуют пикнохлориту и рипидолиту (обр. 23-16/2), пикнохлориту и диабантиту (обр. 24-16/2), отличаясь между собой содержанием Si^{IV}, показателями коэффициента железистости X(Fe) и магнезиальности X(Mg).

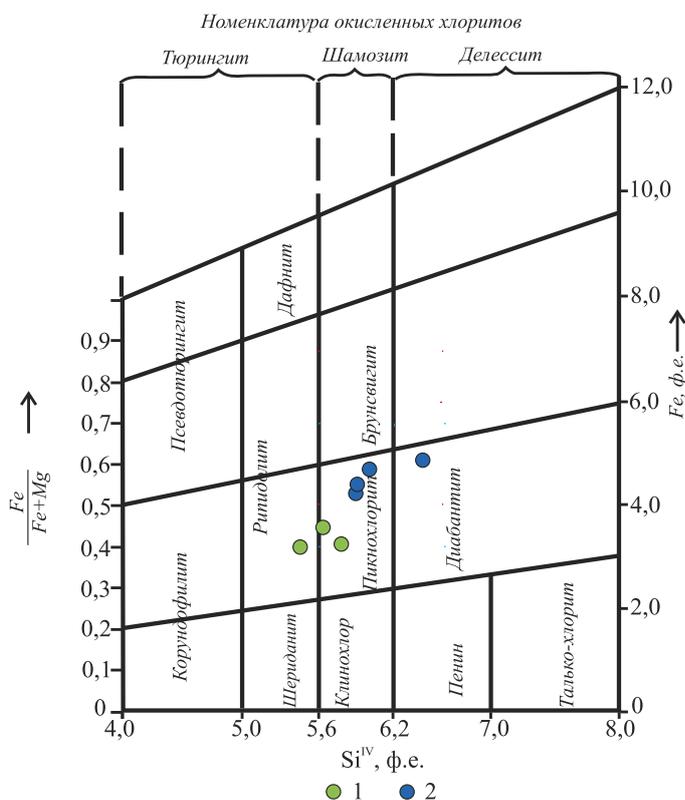
Хлорит обр. 24-16/2 характеризуется высокими содержаниями Si^{IV} (5.93–6.47 ф.е.), повышенными значениями коэффициента железистости X(Fe) >0.53, низкой магнезиальностью X(Mg) <0.47 и высоким соотношением

Рис. 2. Классификационная диаграмма состава хлорита по [Heu, 1954]

1 — обр. 23-16/2, 2 — обр. 24-16/2.

Fig. 2. Classification diagram of the composition of chlorite by [Heu, 1954]

1 — sample 23-16/2, 2 — sample 24-16/2.



$\text{Si}^{\text{IV}}/\text{Al}$ (более 1.27), по сравнению с хлоритом обр. 23-16/2 (табл. 2, рис. 3). Наблюдается обратная корреляционная зависимость между отношением Si/Al и коэффициентом магнезиальности и положительная между Si/Al и температурой.

Количество $\text{X}(\text{Fe})$ колеблется в пределах 0.40–0.61. На классификационных диаграммах $\text{Si}-(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$ [Hey, 1954] и $\text{Mg}-\text{Al}^{\text{IV}}-\text{Fe}$ [Zane, Weiss, 1998] точки состава хлорита попадают в поле железо-магнезиального I-типа (рис. 4).

По содержаниям R^{VI} (6.0 к.ф.) и $[\text{R}^{3+}]^{\text{VI}}$ (1.16–1.57 к.ф.) хлорит во всех изученных образцах от-

носится к триоктаэдрической группе (рис. 4, 5), что соответствует химической формуле триоктаэдрических хлоритов — $(\text{R}^{2+}, \text{R}^{3+})_6(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ [Bailey, 1988], где двухвалентные катионы представлены Mg и Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , а трехвалентные — Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} .

Отношение $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$ в хлоритах находится в пределах 0.48–0.99. Распределение Al в хлоритах в четверной и шестерной структурных позициях показано на рис. 6. Октаэдрический алюминий (Al^{VI}) существенно преобладает над алюминием в тетраэдрической позиции (Al^{IV}) (рис. 6), что

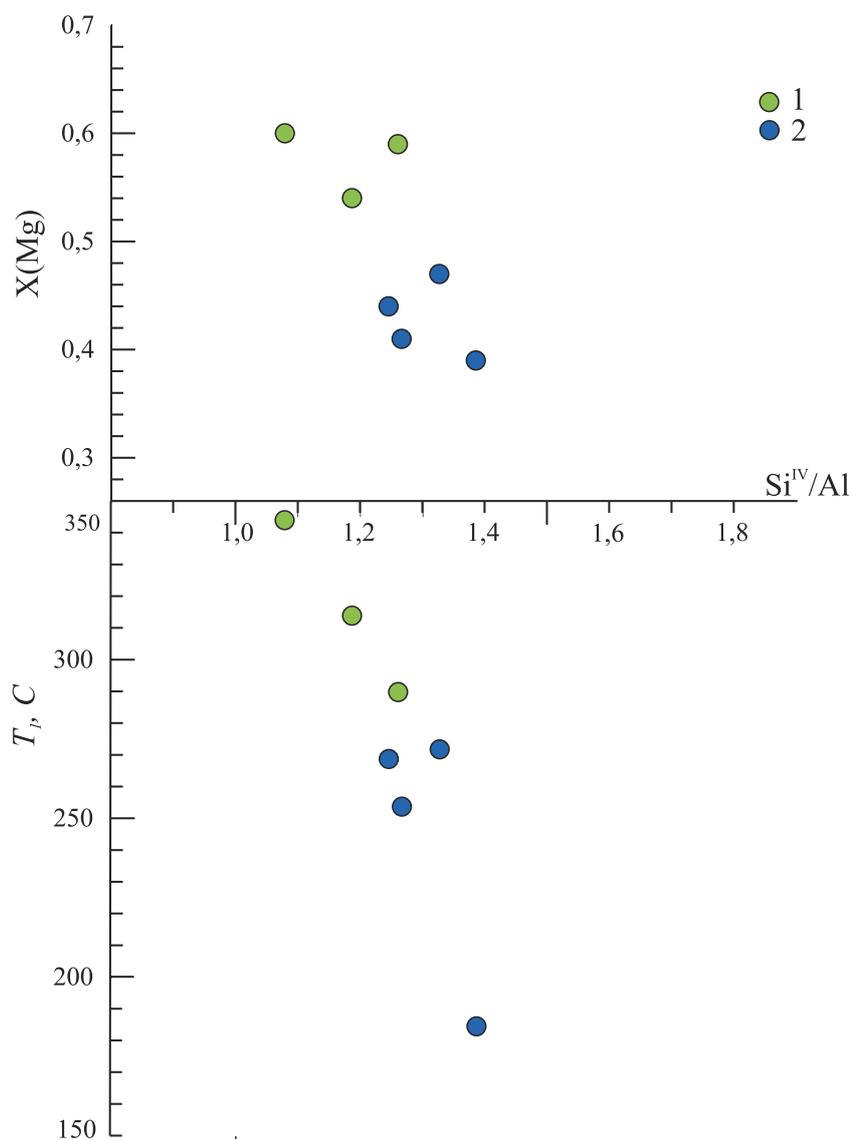


Рис. 3. Значение $\text{Si}^{\text{IV}}/\text{Al}$ в зависимости $\text{X}(\text{Mg})$ и от температуры образования хлорита
Температура по [Cathelineau, 1988]. Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 3. $\text{Si}^{\text{IV}}/\text{Al}$ value depending on $\text{X}(\text{Mg})$ and the temperature of formation of chlorite
Temperature calculated by [Cathelineau, 1988]. For symbols, see figure 2.

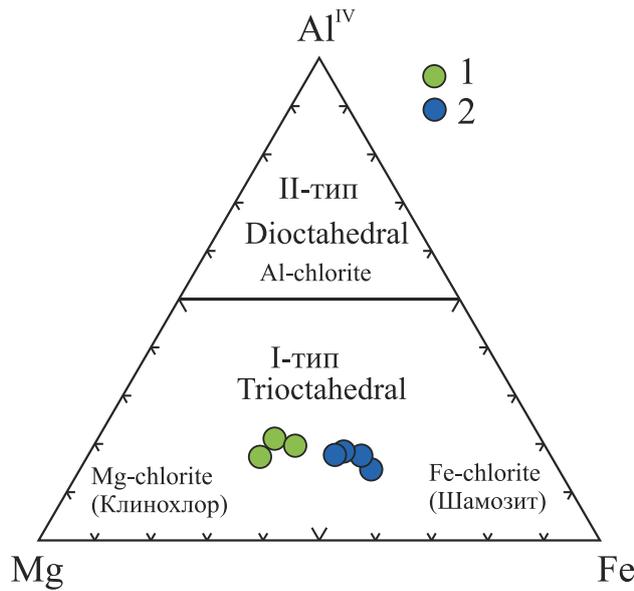


Рис. 4. Состав хлорита на диаграмме Mg–Al^{IV}–Fe (по коэффициентам в формуле) [Zane, Weiss, 1998]

I-тип хлоритов в основном Mg-хлориты и Fe-хлориты в зависимости от доминирующего катиона. Хлориты II-типа в основном представляют собой Al-хлориты [Zane, Weiss, 1998].

Fig. 4. The composition of chlorite in the diagram Mg–Al^{IV}–Fe (by coefficients in the formula) [Zane, Weiss, 1998]

I-type chlorites are mainly Mg-chlorites and Fe-chlorites depending on the dominant cation. Type II chlorites are mainly Al-chlorites [Zane, Weiss, 1998].

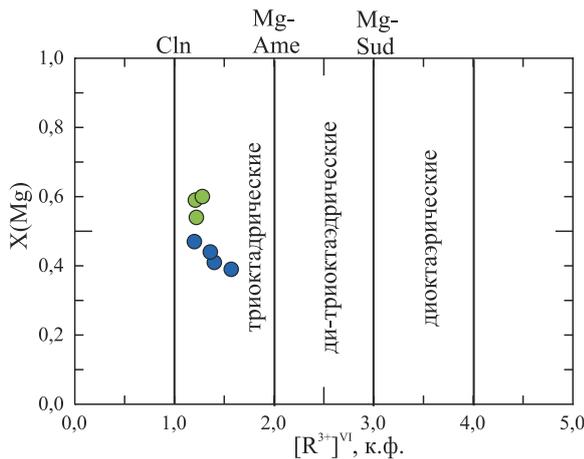


Рис. 5. Классификационная диаграмма состава хлоритов по [Bailey, 1988]

Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 5. Classification diagram of the composition of chlorites according to [Bailey, 1988]

For symbols, see figure 2.

характеризует слабо кислую среду минералообразования [Арутюнян, 2008]. Данные по содержанию Al в кварце и РЗЭ в кальците руд также указывают на кислый состав рудообразующего флюида [Знаменский и др., 2020].

Хлоритовый термометр был впервые предложен М. Cathelineau и D. Nieva в 1985 г. на основе систематического изучения состава хлорита с изменением глубины и температуры в гидротермальной системе Los Azufres (Мексика), а затем в 1988 г. М. Cathelineau разработал уравнение (табл. 1):

$$T_1, ^\circ\text{C} = -61.92 + 321.98 \text{Al}_{014}^{\text{IV}} \quad (1)$$

Уравнение (1) основано на распределении алюминия между октаэдрической и тетраэдрической ($\text{Al}_{014}^{\text{IV}}$ 0.59–1.93 к.ф.) позициями структуры для температурного интервала 130–310 °С (табл. 1).

После преобразования уравнения (1), где учитывалось изменение $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$, отношение между Al^{IV} и T выглядит следующим образом:

$$T_2, ^\circ\text{C} = 106 \text{Al}_c^{\text{IV}} + 18, \quad (2)$$

где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{028}^{\text{IV}} + 0.7(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$ [Kranidiotis, MacLean, 1987];

$$T_3, ^\circ\text{C} = 319 \text{Al}_c^{\text{IV}} - 69, \quad (3)$$

где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{014}^{\text{IV}} + 0.1(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$ [Jowett, 1991];

$$T_4, ^\circ\text{C} = 106,2 \text{Al}_c^{\text{IV}} + 17.5, \quad (4)$$

где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}_{028}^{\text{IV}} - 0.88(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) - 0.34)$ [Zang, Fyfe, 1995].

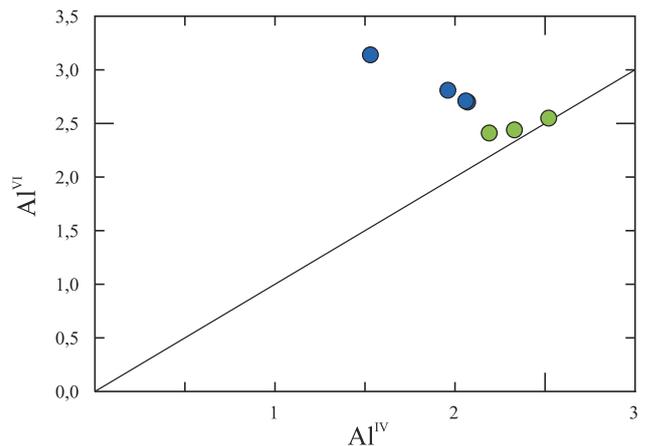


Рис. 6. Содержание октаэдрического Al^{VI} в зависимости от тетраэдрического Al^{IV}

Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 6. The content of octahedral Al^{VI} as a function of tetrahedral Al^{IV}

For symbols, see figure 2.

Хлоритовый геотермометр T_2 хорошо подходит для оценки температуры, когда хлорит кристаллизуется в присутствии других глиноземистых минералов [Kranidiotis, MacLean, 1987; De Caritat et al., 1993]. Геотермометры по [Jowett, 1991] и [Zang, Fyfe, 1995] учитывают влияние железистости на образование хлорита, где $Fe/(Fe+Mg) < 0.6$ для T_3 и $Fe/(Fe+Mg) > 0.34$ для T_4 .

Полученные температуры образования хлоритов, по данным разных авторов, колеблются от 185°C до 344°C для T_1 ; от 225°C до 315°C для T_2 ; от 195°C до 346°C для T_3 ; от 155°C до 280°C для T_4 (табл. 2). Результаты расчета температур дают незначительные расхождения в 25–50°C. С температурами гомогенизации флюидных включений в кварце и карбонате руд, которые составляют 369–200°C [Знаменский и др., 2020], в наибольшей степени сопоставимы значения температуры образования хлорита, рассчитанные по формулам М. Cathelineau [1988] и [Jowett, 1991]. По всей вероятности, они близки к истинным температурам минералообразования.

Формирование хлорита происходило при падении температуры в следующей последовательности: рипидолит, пикнохлорит, диабантит.

Выявлена прямая зависимость содержания Al^{IV} от температуры образования хлорита (рис. 7). Наиболее высокотемпературные хлориты, обогащенные Al^{IV} (обр. 23-16/2), менее железистые $X(Fe) = 0.40–0.45$ по сравнению с низкотемпературными.

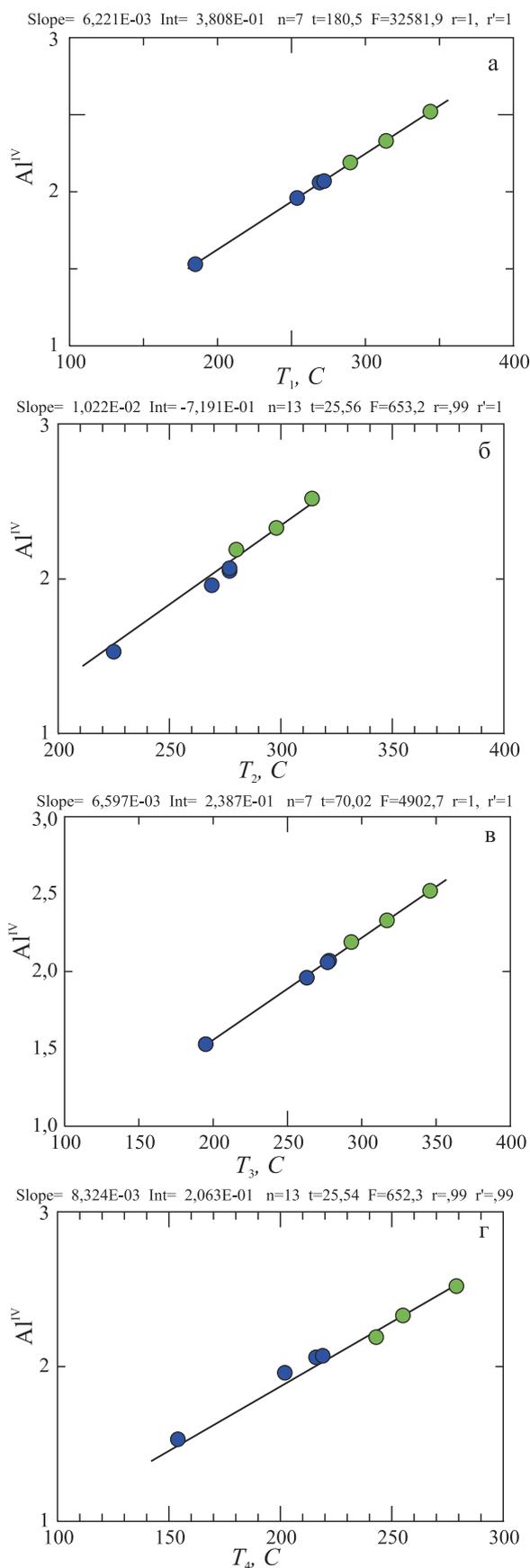
Таким образом, в составе околорудных метасоматитов месторождения Большой Каран присутствуют три разновидности хлорита: рипидолит, пикнохлорит, диабантит, образовавшиеся в интервале температур 346–185°C. Полученные значения соответствуют температурному режиму мезотермального серицит-кварцевого метасоматоза, которому подверглись рудовмещающие дайки гранитоидов, и сопоставимы с температурами образования многих порфировых месторождений Южного Урала, на которых оруденение локализовано в метасоматитах филлизитового типа. Например, по данным

Рис. 7. Зависимость между Al^{IV} в хлоритах и температурой их образования, оцененной с помощью хлоритовых геотермометров: $T_1, ^\circ C$ по [Cathelineau, 1988], $T_2, ^\circ C$ — [Kranidiotis, MacLean, 1987], $T_3, ^\circ C$ — [Jowett, 1991], $T_4, ^\circ C$ — [Zang, Fyfe, 1995]

Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 7. Relationship between Al^{IV} in chlorites and their formation temperature, estimated using chlorite geothermometers: $T_1, ^\circ C$ by [Cathelineau, 1988], $T_2, ^\circ C$ — [Kranidiotis, MacLean, 1987], $T_3, ^\circ C$ — [Jowett, 1991], $T_4, ^\circ C$ — [Zang, Fyfe, 1995]

For symbols, see fig. 2.



изучения флюидных включений и хлоритового геотермометра [Абрамов и др., 2016], медно-порфировая минерализация крупнейшего на Урале Михеевского месторождения сформировалось в интервале температур 300–250°C.

Работа выполнена в рамках программы государственного задания ИГ УФИЦ РАН (№ 0246-2019-0078).

Авторы благодарят С.А. Светова, С.Ю. Чаженгину (ИГ КарНЦ РАН) за помощь в выполнении аналитических работ.

Список литературы:

Абрамов С.С., Плотинская О.Ю., Грознова Е.О. История гидротермальных процессов на Михеевском Мо-Сu месторождении по данным изучения вторичных изменений и флюидных включений // Матер. 17-й Всерос. конф. по термобарогеохимии, посвящ. 80-летию д-ра геол.-минерал. наук Феликса Григорьевича Рейфа. Улан-Удэ, Россия, 12–16 сент. 2016. – Улан-Удэ, 2016. – С. 11–12.

Арутюнян М.А. Характер проявления предрудной пропилитизации в диорит-порфиридах Каджаранского рудного поля // Известия НАН РА. Науки о Земле. – 2008. – Т. 61, № 2. – С. 29–34.

Знаменский С.Е., Анкушева Н.Н., Артемьев Д.А. Условия образования, состав и источники рудообразующих флюидов золото-порфирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // Литосфера. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 397–410.

Знаменский С.Е., Косарев А.М., Знаменская Н.М., Тимофеев С.П., Шафигуллина Г.Т. Структурный контроль и геохимия рудоносных даек золото-порфирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // Геология. Известия Отделения о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2017. – № 24. – С. 39–46.

Bailey S.W. Chlorites: structures and crystal chemistry // Rev. Miner. – 1988. – Vol. 19. – P. 347–403.

Cathelineau M. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature // Clay Miner. – 1988. – Vol. 23. – P. 471–485. – doi: 10.1180/claymin.1988.023.4.13.

Hey M.H. A new review of the chlorites // Miner. Mag. – 1954. – Vol. 30. – P. 277–292.

Jowett E.C. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer // GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, 1991, May 27–29): Program with Abstracts. – 1991. – Vol. 16. – P. A62.

Kranidiotis P., MacLean W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // Economic Geology. – 1987. – Vol. 82. – P. 1898–1911. – doi: 10.2113/gsecongeo.82.7.1898

Zane A., Weiss Z. A procedure for classifying rock forming chlorites based on microprobe data // Rend. Fis. Acc. Lincei. – 1998. – V. 9. – P. 51–56.

Zang W., Fyfe W.S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrocks at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás,

Brazil // Mineralium Deposita. – 1995. – Vol. 30. – P. 30–38. – doi: 10/1007/BF00208874.

References:

Abramov S.S., Plotinskaya O.Yu., Groznova E.O. Istoriya gidrotermal'nykh protsessov na Mikheevskom Mo-Cu mestorozhdenii po dannym izucheniya vtorichnykh izmenenii i flyuidnykh vkluyucheni [History of hydrothermal processes at the Mikheevsky Mo-Cu Deposit according to the study of secondary changes and fluid inclusions] // Materialy XVII Vserossiiskoi konferentsii po termobarogeokhimmii, posvyashchennoi 80-letiyu d-ra geol.-mineral. nauk Feliksa Grigor'evicha Reifa. Ulan-Ude, Rossiya, 12–16 sentyabrya 2016. Ulan-Ude, 2016. P. 11–12. (In Russian).

Arutyunyan M.A. Kharakter proyavleniya predrudnoi propilitizatsii v diorit-porfiritakh Kadzharanskogo rudnogo polya [The Character of preore propylitization occurrence diorite-porphyrates of the Kajaran ore field] // Izvestiya NAN RA, Nauki o Zemle. 2008. Vol. 61, No. 2. P. 29–34. (In Russian).

Bailey S.W. Chlorites: structures and crystal chemistry // Rev. Miner. 1988. Vol. 19. P. 347–403.

Cathelineau M. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature // Clay Miner. 1988. Vol. 23. P. 471–485. – doi: 10.1180/claymin.1988.023.4.13.

Hey M.H. A new review of the chlorites // Miner. Mag. 1954. Vol. 30. P. 277–292.

Jowett E.C. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer // GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, 1991, May 27–29): Program with Abstracts. 1991. Vol. 16. P. A62.

Kranidiotis P., MacLean W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // Economic Geology. 1987. Vol. 82. P. 1898–1911. doi: 10.2113/gsecongeo.82.7.1898.

Zang W., Fyfe W.S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrocks at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil // Mineralium Deposita. 1995. Vol. 30. P. 30–38. doi: 10/1007/BF00208874.

Zane A., Weiss Z. A procedure for classifying rock forming chlorites based on microprobe data // Rend. Fis. Acc. Lincei. 1998. V. 9. P. 51–56.

Znamenskii S.E., Ankusheva N.N., Artem'ev D.A. Usloviya obrazovaniya, sostav i istochniki rudoobrazuyushchikh flyuidov zoloto-porfirovogo mestorozhdeniya Bol'shoi Karan (Yuzhnyi Ural) [Conditions of formation, composition and sources of ore-forming fluids of the gold-porphry deposit Bolshoy Karan (Southern Urals)] // Litosfera. 2020. Vol. 20. No. 3. P. 397–410. (In Russian).

Znamenskii S.E., Kosarev A.M., Znamenskaya N.M., Timofeev S.P., Shafigullina G.T. Strukturnyi kontrol' i geokhimiya rudonosnykh daek zoloto-porfirovogo mestorozhdeniya Bol'shoi Karan (Yuzhnyi Ural) [The structural control and geochemistry of ore-bearing dykes of Bolshoy Karan gold-porphry deposit (Southern Urals)] // Geologiya. Izvestiya Otdeleniya o Zemle i prirodnykh resursov AN RB. 2017. No. 24. P. 39–46.

Сведения об авторах:

Шафигуллина Гульнара Турдibaевна, кандидат 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; Казанский Федеральный университет (КФУ), г. Казань. E-mail: 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. E-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

Косарев Александр Михайлович, кандидат 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. E-mail: amkosarev@mail.ru

About the authors:

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. E-mail: 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. E-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

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. E-mail: amkosarev@mail.ru