РУДЫ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

УДК 553.2

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГАНЕЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, УЧАЛИНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН: МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

М.В. Заботина¹, Н.Н. Анкушева^{1,2}, С.Н. Шанина³, В.А. Котляров¹

¹ Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; mary_7-88@mail.ru ² Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, ул. 8 июля 10, г. Миасс, Челябинская обл., 456301 Россия ³Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Первомайская 54, г. Сыктывкар, 167982 Россия

FORMATION CONDITIONS OF THE GANEEVSKOE GOLD DEPOSIT, UCHALY ORE DISTRICT: MINERALOGICAL THERMOMETRY AND FLUID INCLUSION STUDY

M.V. Zabotina¹, N.N. Ankusheva^{1,2}, S.N. Shanina³, V.A. Kotlyarov¹

¹ Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; mary_7-88@mail.ru ² South Urals State University, Miass branch, ul. 8 Iyulya 10, Miass, Chelyabinsk district, 456301 Russia ³ Institute of Geology of Komi Science Center UB RAS, ul. Pervomaiskaya 54, Syktyvkar, 167982 Russia

В работе изучены РТ-параметры образования золотоносных метасоматитов и кварцевых прожилков в них на Ганеевском золоторудном месторождении, Южный Урал. По данным минералогической термометрии, температуры образования хлорита составили 307-361 и 280-340 °C в метабазальтах и золотоносных метасоматитах, соответственно, что согласуется с данными по флюидным включениям (290–330 °C) (Belogub et al., 2017) и соответствует преобразованию пород в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма. Температура образования карбонатов с учетом магнезиальности (Mg,') составила 500 °C, что не укладывается в вышеуказанные температурные диапазоны и может быть связано с повышенной магнезиальностью кальцита за счет микровключений магнезита. Давление 0.5 кбар, определенное по доломит-кальцитовому геотермобарометру, близко нижней границе значений, полученных по флюидным включениям (0.5–1.3 кбар) (Belogub et al., 2017). Валовый газовый состав флюида характеризуется присутствием (г/т) H₂O (97), CO₂ (11), N₂ (2.01) и CH₄ (0.02). Величины CO₂/ (CO₂ + H₂O) и CO₂/CH₄ составили 0.1 и 215.5, соответственно, и близки к значениям полученным для слабозолотоносных (1–2 г/т) кварцевых жил (Гибшер и др., 2011). Состав флюида $(NaCl-H_{2}O \pm KCl \pm CO_{2})$ и присутствие высоконатриевых слюд указывает на взаимодействие вмещающих пород с флюидами.

Илл 7. Табл 5. Библ 32.

Ключевые слова: Ганеевское месторождение золота, условия образования, хлоритовые геотермометры, доломит-кальцитовый геотермобарометр, высоконатриевые слюды, газовая хроматография.

The PT parameters of formation of gold-bearing metasomatites and quartz veinlets of the Ganeevskoe gold deposit, South Urals, are studied. According to mineralogical thermometry, the formation temperatures of chlorite of metabasalts and gold-bearing metasomatites are 307–361 and 280–340 °C, respectively, which is consistent with fluid inclusion data (290–330 °C) (Belogub et al., 2017) and transformation of rocks under conditions of greenschist facies of metamorphism. The formation temperature of carbonate based on Mg contents is 500 °C, which is inconsistent with above temperatures and is probably caused by higher Mg contents of calcite due to magnesite inclusions. Pressure of 0.5 kbar calculated on the basis of calcite-dolomite geothermobarometer corresponds to the lower pressure boundary identified from CO₂ fluid inclusions (0.5–1.3 kbar) (Belogub et al., 2017). The volatile composition of the fluid (ppm) is as follows: H₂O (97), CO₂ (11), N₂ (2.01) and CH₄ (0.02). The CO₂/(CO₂ + H₂O) and CO₂/CH₄ ratios of 0.1 and 215.5, respectively, are similar to those of low-Au (1–2 g/t) quartz veins (Gibsher, 2011). The composition of fluid (NaCl–H₂O ± KCl ± CO₂) and the presence of high-Na micas indicate host rock-fluid interaction.

Figures 7. Tables 5. References 32.

Key words: Ganeevskoe gold deposit, formation conditions, chlorite geothermometers, calcitedolomite geothermobarometry, high-Na mica, gas chromatography.

Введение

Месторождения золота, связанные со слюдисто-кварц-карбонатными метасоматитами так называемой лиственит-березитовой формации, вносят значительный вклад в потенциал Урала как золоторудной провинции. На таких объектах золото сосредоточено в метасоматически измененных породах (Русинов и др., 2008) и сопряженных с ними кварцевых жилах (Сазонов и др., 1999). В минеральном составе золотоносных метасоматитов, кроме типичных кварца, карбонатов ряда доломитанкерит и светлой слюды (серицита, фуксита), иногда присутствуют значительные количества альбита, что характерно и для Ганеевского золоторудного месторождения, рассмотренного в данной статье.

Согласно оценкам предшественников, диапазон РТ-условий образования золоторудных месторождений в лиственитах и березитах варьирует в широких пределах – Т 200–500 °С, Р 0.5–2 кбар (Сазонов и др., 1999; Мурзин и др., 2001, 2003; Спиридонов, Плетнев, 2002; Бортников, 2006; Знаменский, Мичурин, 2013). Поскольку в основу этих оценок положены различные методы (минеральные геотермометры, термобарогеохимия), данные, полученные различными методами, зачастую сложно сопоставлять.

Для оценки температур образования золотоносных метасоматических минеральных ассоциаций используются составы карбонатов (Таланцев, 1981), белых слюд (Грабежев и др., 1999) и хлорита (Cathelineau, 1988; Bevins et al, 1991; Kranidiotis, MacLean, 1987; Jowett, 1991). Температура и давление минералообразования, а также состав рудообразующих флюидов оцениваются путем криотермометрического анализа флюидных включений в кварце (Бортников, 2006; Прокофьев и др., 2010; Сокерина и др., 2012). Следует подчеркнуть, что для этих исследований обычно используется кварц из прожилков, а не из массивных метасоматитов, соответственно, вопрос о том, отличаются ли эти параметры, как правило, остается открытым.

В связи с вышеизложенным, цель настоящей работы состоит в сопоставлении РТ-параметров образования золотоносных метасоматитов Ганеевского золоторудного месторождения на Южном Урале и кварцевых прожилков в них, полученных различными методами.

Методика исследований

Состав хлоритов, карбонатов и слюд определен методом сканирующей электронной микроскопии (РЭММА-202М с ЭДС, Институт минералогии УрО РАН, аналитик В.А. Котляров, эталон ASTI-MEX SCIENTIFIC LIMITED – MINM25-53/Mineral Mount Serial №: 01-044 (Chlorite, var. Clinochlore № 15, dolomite № 22, Bustomite № 10, Biotite № 7)).

РТ условия рудообразования оценены с помощью эмпирических хлоритовых геотермометров (McDowell, Elders, 1980; Cathelineau, Nieva, 1985; Cathelineau, 1988; Kranidiotis, MacLean, 1987; Jahren, Aagaard, 1989; Jowett, 1991; Hillier, Velde, 1991; De Caritat et al., 1993) и доломит-кальцитового геотермобарометра (Таланцев, 1981) с учетом магнезиальности и распределения Fe и Mn в кальците. Эти данные сопоставлялись с результатами изучения флюидных включений в кварце, полученными методом термометрии (Belogub et al., 2017). Для оценки флюидопроницаемости пород и интенсивности потока рудообразующих растворов использовался состав слюд (Русинов и др., 2008) и данные газовой хроматографии флюидных включений в кварце.

Валовый состав газов во включениях в кварце определен на газовом хроматографе «Цвет-800» (колонка GS-Q (30 м \times 0.53 мм \times 40 мкм)), соединенном с пиролитической приставкой и форколонкой, по методике (Миронова и др., 1992) в ЦКП «Геонаука» (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, аналитик С.Н. Шанина). Образцы кварца массой 500 мг предварительно нагревали до 100 °С в специальном кварцевом реакторе в токе Не в течение 30 мин для удаления сорбированного воздуха и воды со стенок пробирки и образца. Затем под реактор с навеской подводилась печь с заданной температурой (500 °C) и одновременно под форколонку - сосуд с жидким азотом. По окончании нагрева (3 мин) сосуд с жидким азотом под форколонкой убирали, и накопленные газовые компоненты переводили в рабочую колонку хроматографа. Анализ выполнялся в режиме программирования температуры термостата колонок от 40 до 150 °C. После выхода пика углекислого газа под форколонку подводили печь с температурой 100 °С для ускорения выхода пиков более высококипящих газов. Скорость газа-носителя гелия – 18 мл/мин, ток детектора – 140 мА, температура катарометра и ДИПа – 150 °C. Хроматографические сигналы обработаны в программе TWS-MaxiChrom. Содержания газов (H₂, N₂, CO, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, CO₂ H₂O, H₂S и SO₂) определены с использованием калибровочного коэффициента. Относительная погрешность метода 16 %.

Краткая геологическая характеристика Ганеевского месторождения

Ганеевское месторождение находится в 9 км ЮВ г. Учалы. В 2010–2012 гг. оно отрабатывалось карьером ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания». Месторождение локализовано в зоне субмеридионального крутопадающего Карагайлинского разлома, где тектонически сочленяются поляковская (O_{1-2}), карамалыташская (D_2 ef) и улутауская (D_2 zv– D_3 fr) вулканогенно-осадочные толщи. Его структурная позиция определяется сдвиговым дуплексом растяжения (Знаменский, 2014). Вмещающие породы представлены метабазальтами, метадиабазами и кварц-хлоритовыми сланцами, развитыми по вулканогенно-осадочным породам, с маломощными тектоническими линза-

ми оталькованных серпентинитов (рис. 1). На месторождении описаны субсогласные тела субщелочных габброидов.

Рудная зона представлена березитами, лиственитами и кварцевыми жилами с содержаниями золота 8-18, 1-10 и 1-3 г/т, соответственно. Рудные тела линзовидной и жилообразной формы мощностью 1.5-2 м, в раздувах 3-6.5 м, протяженностью 50-225 м выделены по результатам опробования. Руды месторождения представлены вкрапленными малосульфидными разностями. Среди сульфидов в лиственитах и березитах преобладает пирит, в кварцевых жилах – галенит. Из редких минералов в лиственитах и березитах установлены галенит, пирротин, сфалерит, теннантит, золото. Широко распространены рутил, магнетит, гематит. В кварцевых жилах проявлена специфическая минеральная ассоциация: теннантит, айкинит, минералы никеля – полидимит и миллерит, теллуриды – гессит и петцит, золото. Нерудные минералы представлены кварцем, альбитом, карбонатами (доломитом, магнезитом и кальцитом в лиственитах и доломитом, магнезитом и промежуточными минералами ряда магнезит-сидерит в березитах) и слюдой (фукситом в лиственитах и серицитом в березитах), редкими тальком в лиственитах, парагонитом и хлоритом в березитах (Belogub et al., 2017).

РТ-условия образования золотоносных кварцевых прожилков по данным изучения флюидных включений

Ранее (Belogub et al., 2017) в кварце из карбонат-кварцевых прожилков золотосодержащих лиственитов проанализированы трехфазные (Ж + $\Gamma_{CO_2} + \mathcal{K}_{CO_2}$) и двухфазные ($\mathcal{K} + \Gamma_{CO_2}$) флюидные включения и двухфазные – в кварце из прожилков в березитах. Температуры гомогенизации включений составили 150-329 °С и 122-315 °С - в кварце из прожилков в березитах. Солевой состав флюида определен как NaCl – $H_2O \pm CO_2$ с примесью KCl. Концентрации солей в растворе варьируит от 2.3 до 13.6 % NaCl-экв. Жидкая углекислота гомогенизируется в газовую фазу при температуре 9-29.4 °С. Согласно этим данным, плотность углекислоты составила 1.15-1.51 г/см³. Давление оценено в 0.6-1.3 кбар. С учетом поправки к температурам гомогенизации включений (+85 °C) средние значения истинной температуры минералообразования составили 280-330 °С.



Рис. 1. Схема геологическая строения Ганеевского месторождения в границах карьера (а, б), разрез I-I (в), стенка карьера II-II (г). Легенда а по С.Е. Знаменскому (2014); легенда б-г по Е.В. Белогуб, К.А. Новоселову, М.В. Заботиной, А. Мартешевой.

1 – нерасчлененная кора выветривания по базальтам, 2 – метабазальты, 3 – вулканогенно-обломочные основного состава, 4 – кварц-хлоритовые метасоматиты по вулканогенно-обломочным, 5 – серпентиниты, 6 – золотосодержащие листвениты и березиты, 7 – кварцевые жилы, 8 – кварцевые жилы (вне масштаба), 9 – пиритизация, 10 – хлоритизация, 11 – разломы, 12 – предполагаемые разломы, 13 – контур карьера.

Fig. 1. Schematic geological structure of the Ganeevskoe deposit within the quarry (a, 6) and cross-section I-I (B) and quarry wall (r). Legend a, after S.E. Znamensky (2014); legend 6-r, composed by E.V. Belogub, K.A. Novoselov, M.V. Zabotina and A. Martesheva.

1 – weathering crust after basalts, 2 – metabasalts, 3 – mafic tuffites, 4 – qurtz-chlorite schists after volcaniclastic rocks, 5 – serpentinites, 6 – gold-bearing listvenites and berezites, 7 – quartz veins, 8 – quartz veins (out of scale), 9 – pyrite zone, 10 – chlorite zone, 11 – faults, 12 – inferred fault, 13 – contour of the quarty.

Температуры образования метасоматитов по данным минералогических геотермометров

Хлорит на месторождении принадлежит ряду пеннин-шамозит и образует чешуйчатые выделения, иногда развиваясь по плагиоклазу. В составе хлорита присутствуют Ni (3.23–4.87 мас. %) и Cr (0.39– 0.7 мас. %) (табл. 1). Максимальной железистостью обладают хлориты из метабазальтов (рис. 2). Высокие концентрации Mg (19.07–22.34 мас. %) в хлоритах согласуются с высокой магнезиальностью карбонатов. Температуры образования пород Ганеевского месторождения оценены по хлориту из метабазальтов, кварц-хлоритовых сланцев из околорудной зоны, золотоносных лиственитов и березитов. Для уменьшения погрешности в результатах расчета были применены формулы из работ (Cathelineau, 1988; Kranidiotis, MacLean, 1987; Jowett, 1991). Использовались уравнения (1), (2) и (4), два последних учитывают соотношение Fe/Fe + Mg (3) и (5) (табл. 2), которое не должно превышать 0.6 по (Jowett, 1991) и (Kranidiotis, MacLean, 1987). Расчеты показали близкие температуры (рис. 3): 307–



Рис. 2. Состав хлорита на бинарной (слева) и тройной (справа) диаграммах (по коэффициентам в формуле). 1 – метабазальты; 2, 3 – кварц-хлоритовые сланцы; 4 – листвениты; 5 – березиты. *Fig.* 2. Composition of chlorite in binary (left) and triple (right) diagrams (according to formula coefficients).

1 – metabasalts; 2, 3 – quartz-chlorite schists; 4 – listvenites; 5 – beresites.

Таблица 1

Состав хлорита из вмещающих метабазальтов (1), кварц-хлоритовых сланцев (2, 3), золотоносных лиственитов (4) и березитов (5) (мас. %)

Table 1

Composition of chlorite of host metabasalts (1), quartz-chlorite schists (2, 3), gold-bearing listvenites (4) and beresites (5) (wt. %)

								Cymma
MgO	FeO	MnO	NiO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O расчет.	расчет
13.07-14.32	27.64-30.66	0.55-0.74		15.36-19.72		25.91-27.08	10.9-11.4	99.55-100.19
13.64	28.94	0.62	_	19.05	_	26.41	11.26	99.93
22.97-24.11	15.02-16.31	0.06-0.24	0-0.38	19.47-20.23	0-0.13	28.18-29.17	12.0-12.2	99.58-100.19
23.46	15.67	0.16	0.04	19.73	0.01	28.72	12.09	99.89
<u>21.7–23.7</u>	15.19-16.22	<u>0-0.12</u>	<u>0-0.45</u>	20.84-22.65	0-0.24	27.11-27.67	<u>12–12.3</u>	99.47-100.25
22.58	15.67	0.06	0.2	21.95	0.06	27.33	12.11	99.98
19.09-22.34	10.41-15.54	<u>0-0.1</u>	3.23-4.87	20.8-22.34	0.39-0.61	27.07-29.94	<u>11.9–12.9</u>	<u>99.9–100.07</u>
20.32	13.12	0.03	4.37	21.39	0.48	28.07	12.2	99.97
19.74-21.23	14.1-16.32		2.69-4.04	<u>20.9–20.99</u>	0.39-0.7	27.27-28.44	<u>11.7–12.2</u>	99.86-100.14
20.51	15.11	_	3.43	20.67	0.50	27.82	12.0	100.03
Кристаллохимические формулы (средние)								
$\frac{1}{(Mg_{216}Fe_{258}Mn_{0.06}Al_{1.20})_{6.00}}[(Al_{1.19}Si_{2.81})_{4}O_{10}](OH)_{7.99}(n=7)$								
2 $(Mg_{3,48}Fe_{1,30}Mn_{0,01}Al_{1,17})_{5,96}[(Al_{1,14}Si_{2,86})_4O_{10}](OH)_{8,02} (n = 9)$								
$3 (Mg_{3,35}Fe_{1,30}Ni_{0,02}Mn0_{01}Al_{1,29})_{5,97}[(Al_{1,28}Si_{2,72})_4O_{10}](OH)_{8,04} (n = 7)$								
4 $(Mg_{3.03}Fe_{1.10}Ni_{0.35}Mn_{0.002}Al_{1.37})_{5.852}[(Al_{1.15}Cr_{0.04}Si_{2.81})_4O_{10}](OH)_{8.14}$ (n = 4)								
	$\begin{array}{r} MgO\\ \hline 13.07-14.32\\ 13.64\\ \hline 22.97-24.11\\ 23.46\\ \hline 21.7-23.7\\ 22.58\\ \hline 19.09-22.34\\ 20.32\\ \hline 19.74-21.23\\ 20.51\\ \hline (Mg_{3.48}Fe_{1.30}\\ (Mg_{3.35}Fe_{1.30}\\ (Mg_{3.03}Fe_{1.10})\\ \hline (Mg_{3.03}Fe_{1.10})\\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c } \hline MgO & FeO & MnO \\ \hline 13.07-14.32 & 27.64-30.66 & 0.55-0.74 \\ \hline 13.64 & 28.94 & 0.62 \\ \hline 22.97-24.11 & 15.02-16.31 & 0.06-0.24 \\ \hline 23.46 & 15.67 & 0.16 \\ \hline 21.7-23.7 & 15.19-16.22 & 0-0.12 \\ \hline 22.58 & 15.67 & 0.06 \\ \hline 19.09-22.34 & 10.41-15.54 & 0-0.1 \\ \hline 20.32 & 13.12 & 0.03 \\ \hline 19.74-21.23 & 14.1-16.32 \\ \hline 20.51 & 15.11 & - \\ \hline & Kpuc \\ \hline (Mg_{3.48}Fe_{1.30}Mn_{0.01}Al_{1.20})_{6.00}[(Al_{1.19}Si_{2.2})]_{6.00}[(Al_{1.19}Si_{2.2})]_{6.00}[(Al_{1.14}Si$	$\begin{array}{ c c c c c c c } \hline MgO & FeO & MnO & NiO \\ \hline MgO & FeO & MnO & NiO \\ \hline 13.07-14.32 & 27.64-30.66 & 0.55-0.74 & - \\ \hline 13.64 & 28.94 & 0.62 & - \\ \hline 22.97-24.11 & 15.02-16.31 & 0.06-0.24 & 0-0.38 & \\ \hline 23.46 & 15.67 & 0.16 & 0.04 & \\ \hline 21.7-23.7 & 15.19-16.22 & 0-0.12 & 0-0.45 & \\ \hline 22.58 & 15.67 & 0.06 & 0.2 & \\ \hline 19.09-22.34 & 10.41-15.54 & 0-0.1 & 3.23-4.87 & \\ \hline 20.32 & 13.12 & 0.03 & 4.37 & \\ \hline 20.32 & 13.12 & 0.03 & 4.37 & \\ \hline 19.74-21.23 & 14.1-16.32 & - & 2.69-4.04 & \\ \hline 20.51 & 15.11 & - & 3.43 & \\ \hline & Kpictallocal Mn_{0.06}Al_{1.20} \right)_{6.00} [(Al_{1.19}Si_{2.81})_4O_{10}](OH & \\ (Mg_{3.48}Fe_{1.30}Mn_{0.01}Al_{1.17})_{5.96} [(Al_{1.14}Si_{2.86})_4O_{10}](OH & \\ (Mg_{3.03}Fe_{1.30}Ni_{0.02}Mn_{0.11}Al_{1.29})_{5.97} [(Al_{1.28}Si_{2.72})_4O_1 & \\ (Mg_{3.03}Fe_{1.10}Ni_{0.33}Mn_{0.002}Al_{1.37})_{5.852} [(Al_{1.15}Cr_{0.04}Si_{2.57})]_{5.07} \\ \hline \end{tabular}$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$

5 $(Mg_{3.08}Fe_{1.27}Ni_{0.28}Al_{1.29})_{5.92}[(Al_{1.16}Cr_{0.04}Si_{2.80})_4O_{10}](OH)_{8.06}(n = 3)$

Примечание. Формулы пересчитаны на 36 зарядов. В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние, прочерк – не обнаружено.

Note. The formulas are recalculated to 36 atoms. Numerator – minimum and maximum values; denominator – average value; dash – not found.

361, 282–340 и 293–358 °С для хлоритов из метабазальтов, метасоматитов и сланцев, соответственно (см. табл. 2).

Карбонаты в лиственитах и березитах представлены доломитом, магнезитом и промежуточными членами ряда магнезит-сидерит; в лиственитах встречается кальцит. В основной массе пород карбонаты образуют ксеноморфные зерна и их агрегаты и совместно с кварцем слагают прожилки мощностью 1–20 мм; также могут содержать включения апатита, рутила и монацита (рис. 4). Размер зерен варьирует от 20 мкм до 2 мм в основной массе и до 4 мм – в прожилках. Зональный магнезит характеризуется варьирующими содержаниями

Таблица 2

Температуры формирования хлорита Ганеевского месторождения Formation temperatures of chlorite of the Ganeevskoe deposit

Table 2

Формула расчета			T, ℃							
		Авторы	Метабазальты	Кварц-хлоритовые	Листвениты	Березиты				
			(n = 7)	сланцы (n = 16)	(n = 4)	(n = 3)				
$T(^{\circ}C) = -61.92 + 321.98 \text{Al}^{\text{IV}}$	(1)	Cathelineau, 1988	307-334	295–358	289–341	312-329				
$T(^{\circ}C) = 106Al_{c}^{IV} + 18$	(2)	Kranidiotis,	220 261	202 227	282 220	205 222				
$Al_c^{I_V} = Al^{IV} + 0.7(Fe/[Fe + Mg])$	(3)	MacLean, 1987	339-301	295-357	282-329	303-323				
$T(^{\circ}C) = 319Al_{c}^{IV} - 69$	(4)	Iowett 1001	212 2/1	203 356	286 340	310 320				
$ Al_{c}^{IV} = Al^{IV} + 0.1(Fe/[Fe + Mg])$	(5)	Jowen, 1991	515-541	275-550	200-340	510-529				

Примечание: n – количество анализов. *Note:* n – number of analyses.

Рис. 3. Температуры образования хлорита.

Формулы рассчитаны на $(Mg,Fe,Al)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$ и $(Mg,Fe)_5Al[(Si,Al)O_{10}](OH)_8$ по (Kranidiotis, 1987) и (Cathelinau, 1988; Jowett, 1991), соответственно.

Fig. 3. Formation temperatures of chlorite.

Formulas are recalculated to $(Mg,Fe,Al)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$ and $(Mg,Fe)_5Al[(Si,Al)O_{10}](OH)_8$ according to (Kranidiotis, 1987) and (Cathelinau, 1988; Jowett, 1991), respectively. *Tаблица 3*

Состав карбонатов золотоносных лиственитов (1-4) и березитов (5-7) (мас. %)

, Table 3

Composition of carbonates of gold-bearing listvenites (1–4) and beresites (5–7) (wt. %)

Composition of carbonates of gold-bearing instventes (1-4) and beresites (3-7) (wt. 76)									
№ п/п	MgO	CaO	MnO	FeO	СО ₂ рассч.	Сумма расчет.			
1	33.53-45.22	0.05-1.46	0.00-0.82	2.91-17.87	47.90-51.40	99.67-100.20			
1	39.26	0.31	0.19	10.54	49.65	99.95			
2	18.27-22.34	28.36-30.81	0.00-0.39	<u>1.28–5.03</u>	46.60-47.70	<u>99.81–100.14</u>			
2	19.83	29.74	0.14	3.26	47.05	100.02			
2	<u>0.59–2.91</u>	<u>51.72–53.27</u>	<u>0.00–1.76</u>	<u>0.31–2.05</u>	43.60-44.40	<u>99.72–100.14</u>			
5	1.53	52.32	0.87	1.25	44.02	100.00			
4	23.78-28.91	<u>0.06–0.30</u>	<u>0.39–0.82</u>	23.65-30.17	44.90-46.70	<u>99.74–100.08</u>			
4	27.18	0.19	0.58	25.93	46.07	99.95			
5	<u>9.09–18.70</u>	<u>28.90–30.23</u>	<u>0.23–1.62</u>	<u>5.35–16.62</u>	<u>43.74–46.6</u>	<u>99.83–100.10</u>			
	13.92	29.44	0.84	10.51	45.25	99.95			
6	34.1	0.26	0.28	17.11	48.1	99.85			
7	12.61-24.67	<u>0.13–0.51</u>	0.43-3.17	28.94-44.61	41.80-45.30	<u>99.76–100.08</u>			
/	19.15	0.31	1.17	35.60	43.69	99.92			
Средняя кристаллохимическая формула									
1	$\frac{1}{(Mg_{0.95}Fe_{0.13}Ca_{0.005}Mn_{0.002})_{1.007}[C_{1.00}O_{3}]}$								
2	$\left[Ca_{0.00}^{0.005} Fe_{0.00}^{0.005} Fe_{0.00}^{0.005} H_{0.004}^{0.005} Fe_{0.00}^{0.005} Fe_{0.0$								
3	$(Ca_{0.03}Mg_{0.04}Fe_{0.02}Mn_{0.01})_{1.00}[C_{1.00}O_3]$								
4	$\left[(Mg_{0.64}Fe_{0.35}Mn_{0.01}Ca_{0.003})_{1.003}[C_{1.00}G_{3}] \right]$								
5	$Ca_{1,00}^{-0.04} (Mg_{0,03}^{-0.03} Fe_{0,00}^{-0.03} Mn_{0,02}^{-0.003} - 1.003^{-0.003} J_{0,00}^{-0.003}]_{0,00}^{-0.003}$								
6	$(Mg_{0.77}Fe_{0.27})_{0.99}[C_{1.00}O_3]$								
7	$(Mg_{0.48}Fe_{0.50}Ca_{0.01}Mn_{0.02})_{1.01}[C_{1.00}O_3]$								

Примечание. Формулы рассчитаны на 4 катиона для доломита и 2 катиона – для кальцита и магнезита. В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Note. Formulas are recalculated to 4 cations for dolomite and 2 cations for calcite and magnesite. Numerator – minimum and maximum values; denominator – average value.

a – срастание зонального магнезита и кварца (Qz), тонкие светлые зоны представлены железистым магнезитом (m, q) с включениями доломита (o, p); δ – доломит (h, i, j) с включениями железистого магнезита (k, l) в срастании с кварцем (Qz); e – железистый магнезит (d, e, f, h) в срастании с кальцитом (a, b, c), кварцем (Qz), железистомагнезиальным пеннином (g) и пиритом (Py); e – срастание доломита (g), магнезита (h), альбита (Ab), серицита (Ms) и железисто-магнезиального пеннина (i, j, k); ∂ – срастания доломита (d, f, g) и промежуточного минерала ряда магнезит-сидерит (e, h) в интерстициях кварца (Qz); e – агрегат промежуточных минералов ряда магнезит-сидерит (m, n, o, p) в ассоциации с серицитом (Ms), кварцем (Qz) и рутилом (Rt).

Fig. 4. Morphology of carbonates in gold-bearing listvenites (a-B) and beresites (r-e).

a – intergrowth of zonal magnesite and quartz (Qz) with thin light zones of Fe magnesite (m, q) with dolomite inclusions (o, p); δ – dolomite (h, i, j) with inclusions of Fe magnesite (k, l) intergrown with quartz (Qz); e – Fe magnesite (d, e, f, h) intergrown with calcite (a, b, c), quartz (Qz), Fe-Mg pennine (g) and pyrite (Py); z – intergrowth of dolomite (g), magnesite (h), albite (Ab), sericite (Ms) and Fe-Mg pennine (i, j, k); ∂ – intergrowths of dolomite (d, f, g) and mineral of intermediate composition between magnesite and siderite (e, h) in quartz (Qz); e – aggregate of minerals of intermediate composition between magnesite (m, n, o, p) in assemblage with sericite (Ms), quartz (Qz) and rutile (Rt).

FeO (2.91-17.87 мас. %) в лиственитах (табл. 3, рис. 5) и 17.11 мас. % – в березитах (см. табл. 3, рис. 5); содержание FeO увеличивается от центра к периферии зерна (см. рис. 4). В магнезите также отмечена примесь СаО (0.05-1.46 мас. %) и редко MnO (0.01-0.82 мас. %). В доломите из лиственитов практически всегда присутствует FeO (мас. %): 1.28-5.03 (см. табл. 3), из березитов - FeO (5.35-16.62) и MnO (0.23-1.62) (см. табл. 3). В составе кальцита отмечаются примеси (мас. %) MgO (0.59-2.91), FeO (0.31–2.05) и MnO (0.13–1.76) (табл. 3). Промежуточные карбонаты ряда магнезит-сидерит содержат Mg и Fe в соотношении 1 : 1; 2 : 1 – в лиственитах (ф.к. в табл. 3) и 1 : 1, иногда 1:2, - в березитах (ф.к. в табл. 3). В целом, состав карбонатов из березитов отличается от лиственитовых более высокими содержаниями Fe и присутствием Mn (см. рис. 5).

Рис. 5. Состав карбонатов в золотоносных метасоматитах по формульным коэффициентам.

Fig. 5. Composition of carbonates of gold-bearing metasomatites according to formula coefficients.

Магнезиальность парагенезиса кальцит-доломит в лиственитах рассчитана по формуле $Mg'_{\kappa} = Mg_{\kappa}(1 + 11.5Fe_{\kappa} + 5Fe_{\kappa}^2 + 550Fe_{\kappa}^3 + 8Mn_{\kappa} - 50Mn_{\kappa}^2)$, где Mg_{κ} , Fe_{κ} , Mn_{κ} – мольные доли в кальците (Таланцев, 1981).

По соотношению железа в кальците и доломите определена железистость (K_{Fe}). Полученные значения ($Mg_{\kappa}' = 0.055$ и $K_{Fe} = 0.083$) на диаграмме доломит-кальцитового геотермобарометра (Таланцев, 1981, с. 54) находятся в точке, соответствующей температуре 500 °С и давлению 0.5 кбар. Более точные результаты получены с помощью формулы 10^{((7log10(Mgk/(1-Mgk)) - log10(KFe)+92.16)/28.87)} – 273.15 (Таланцев, 1981) : 548 °С и 0.4 кбар.

Состав слюд в золотоносных лиственитах и березитах

Слюды представлены разновидностями мусковита (рис. 6а): преимущественно фукситом в лиственитах и тонкочешуйчатым серицитом в березитах (табл. 4). Фуксит и серицит образуют отдельные чешуйки размером 5-20 мкм в основной массе и просечки 50-200 мкм по удлинению, а также агрегаты, заполняющие прожилки, придающие сланцеватость породе. В слюдах Al в октаэдрах замещается Mg, Fe и Cr (см. рис. 6б). Калий замещается Na (см. рис. 6в), содержание которого варьирует в пределах (мас. %): 0.0-0.58 в фуксите и 0.15–0.99 – в сериците лиственитов (см. табл. 4), 0.01–1.62 – в сериците и 0.11–0.65 – в фуксите березитов (см. табл. 4). Рентгенографически в одном образце березита был зафиксирован парагонит. Величина Na/(Na + K) (ф.к.) составляет 0–0.15 для слюд в лиственитах и 0.02-0.23 – в березитах.

Рис. 6. Разновидности слюд в лиственитах и березитах.

a – соотношение хрома и алюминия в слюдах; *б* – замещение алюминия в октаэдрах магнием, железом и хромом; *в* – соотношение натрия и алюминия в слюдах. Графики построены по коэффициентам в формуле.

Fig. 6. Mica types in listvenites and beresites.

a - Cr/Al ratio of micas; 6 – substitution of Al in octahedra by Mg, Fe and Cr; e – Na/Al ratio of micas. The plots are based on formula coefficients.

Валовый состав включений в кварце по данным газовой хроматографии

Валовый состав включений в кварце характеризуется присутствием (г/т) H_2O (97), CO_2 (11), N_2 (2.01) и CH_4 (0.018) (табл. 5). Для оценки содержаний золота часто используются величины $CO_2/(CO_2 + H_2O)$ и CO_2/CH_4 (Гибшер, 2011), которые в золотоносных прожилках в лиственитах Ганеевского месторождения составили 0.1 и 215.5 соответственно (см. табл. 5). Близкий состав характерен для флюидных включений в кварце Октябрьского месторождения (рис. 7), расположенного в одной рудной зоне с Ганеевским.

Обсуждение результатов и выводы

Состав и структура минералов группы хлорита, карбонатов и белых слюд являются важнейшими показателями условий формирования пород (Таланцев, 1981; Cathelineau, 1988; Bevins et al., 1991; Грабежев и др., 1999, 2005 и др.). Соотношение Si^{IV}/Al^{IV} в тетраэдрической позиции и заполнение Al октаэдрической позиции в структуре хлорита зависит от глубины и температуры формирования геотермальных систем или от степени диагенеза или метаморфизма (McDowell, Elders, 1980; Cathelineau, Nieva, 1985; Cathelineau, 1988; Jahren, Aagaard, 1989; Hillier, Velde, 1991; De Caritatetal, 1993). Pacпределение Мд между кальцитом и образующимся совместно доломитом зависит от температуры их кристаллизации (Таланцев, 1981; Грабежев и др., 2005), Fe и Mn контролируется давлением. Содержание Na в мусковите находится в прямой зависимости от степени флюидопроницаемости пород и интенсивности потока рудообразующих растворов (Русинов и др., 2008).

Таблица

Table 4

Состав слюд золотоносных лиственитов (1–2) и березитов (3–4) (мас. %)

Примечание. В числителе – разброс содержаний; в знаменателе – среднее значение, прочерк – не обнаружено. Формулы пересчитаны на катионы по средним значениям. 99.21-100.99 99.29-100.67 99.87-100.94 99.96–100.99 Cymma paccy. 100.04 100.25 100.39 00.23 Н2О рассч. 4.50-4.59 4.46-4.55 4.50 - 5.574.47-4.63 4.55 4.54 4.51 4.51 0.06 - 1.260.70 - 1.150.00 - 1.2357 - 1.730.86 V,0 0.56 0.37 0. 0 Composition of micas of gold-bearing listvenites (1–2) and beresites (3–4) (wt. %) 47.36-50.17 47.46-52.75 48.34-50.23 6. 49.08 49.35 50.1448.74 48.10-51 SiO, 0.00 - 0.420.00-0.72 0.09-0.33 0.00 - 0.370.22 Ţ 0.10 0.25 0.22 Средняя кристаллохимическая формула 0.00 - 0.98.04-2.090.00 - 0.91.03-5.00 Cr_2O_3 0.50.53 0.14 69 26-90-35.47 27.57-31.56 28.50-33.61 $(K_{0,x_2}Na_{0,09})_{0,90}(Al_{1,75}Mg_{0,14}Cr_{0,002}Fe_{0,13}V_{0,01}Ti_{0,01})_{2.042}[(Al_{0,79}Si_{3,21})_{4,00}O_{10}](OH)_2$ 25.49 - 30.7 $(K_{0.78}Na_{0.08})_{0.86}(Al_{1,71}Mg_{0.17}Cr_{0.02}Fe_{0.09}V_{0.04}Ti_{0.01})_{2.04}[(Al_{0.78}Si_{3.22})_{4.00}O_{10}](OH)_2$ $(K_{0.85}Na_{0.04})_{0.89}(A1_{1.55}Mg_{0.24}Cr_{0.08}Fe_{0.09}V_{0.05}Ti_{0.01})_{2.02}[(A1_{0.72}Si_{3.28})_{4.00}O_{10}](OH)_{2.02}$ 28.29 31.45 Al_2O_3 28.92 $[0.02 \text{ Ti}_{0.01}]_{2.01} [(\text{Al}_{0.67} \text{Si}_{3.33})_{4.00} \text{O}_{10}] (\text{OH})_2$ 32.22 25-2.13 46 - 3.190.03 - 2.22FeO 1.66 55 0.67 - 2..18 0.00 - 0.23CaO 0.01 $(K_{0.86}Na_{0.04})_{1.00}(A1_{1.54}Mg_{0.24}Cr_{0.13}Fe_{0.07}V_{0.07}$ 0.71 - 4.1579-2.92 26-2.94MgO 68-3. 59 2.37 45 6 9.84-10.30 8.44-10.62 0.57 - 10.419.53 - 10.710.02 10.189.46 K,0 9.76 0.15 - 0.990.11 - 0.650.01 - 1.620.00 - 0.58 Na_2O 0.360.52 0.280.55 П/П И 3 \sim

Рис. 7. Гистограмма распределения содержаний газов во флюидных включениях.

Fig. 7. Histogram of volatile contents of fluid inclusions.

Оценки температур образования метасоматитов по разным минеральным термометрам различаются. На Ганеевском месторождении температуры образования хлорита 307-361°С в метабазальтах и 280-340 °C в золотоносных метасоматитах согласуются со значениями, полученными по флюидным включениям, и соответствуют преобразованию пород в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма (Igneous..., 2003). Это косвенно может указывать на близость по времени процессов метаморфизма и гидротермальных изменений.

Расчетная температура образования карбонатов 500 и 548 °C не укладывается в температурные диапазоны, полученные по хлоритовым геотермометрам и флюидным включениям. Это может быть связано с повышенной магнезиальностью кальцита за счет наличия в нем микровключений магнезита.

Давление (0.5 и 0.4 кбар), определенное по кальцит-доломитовому геотермобарометру, близко нижней границе значений, установленных по флюидным включениям (0.6–1.3 кбар) (Belogub et al., 2017). Такие же низкие значения давления (0.5-0.66 кбар и 0.7 кбар, соответственно) получены с помощью кальцит-доломитового геотермобарометра для Миндякского (Мурзин и др., 2001) и Тыелгинского (Сазонов и др., 1999) месторождений золота в зоне Главного Уральского разлома.

Считается, что на золоторудных объектах СО, во флюиде играет наиболее важную роль. Вариации содержаний СО, в рудообразующих

Note: Numerator – dispersion of contents; denominator – average value; dash – not found. Formulas are recalculated to cations according to average values

МИНЕРАЛОГИЯ 4(4) 2018

Таблица 5

Состав газовой фазы флюидных включений в кварце Ганеевского и Октябрьского месторождений Table 5

Composition of volatiles of fluid inclusions in quartz of the Ganeevskoe and Oktyabr'skoe deposits
--

Образец		CO_2	H ₂ O	CH_4	CO ₂ /H ₂ O	N ₂	CO_2	H ₂ O	CH_4	$\mathrm{CO}_2/\mathrm{CH}_4$
		мкг/г					мол. %			
Ганеевское										
Прожилковый рудный кварц в лиственитах		10.82	97	0.018	0.11	1.26	4.31	94.41	0.02	215.5
Октябрьское										
Рудная кварцевая жила	1.40	3.13	59	0.003	0.05	1.47	2.09	96.43	0.006	348.3

флюидах приводят к значительным изменениям в содержаниях золота в рудах (Mernagh, Bierlein, 2008). По экспериментальным данным в углекислых средах золото наиболее активно (Сахарова и др., 1999). На золоторудных месторождениях, как правило, содержание СО, во включениях в кварце составляет 34-440 г/т в золотоносных кварцевых жилах и 8-44 г/т в незолотоносных разностях (Прокофьев и др., 2010; Гибшер и др., 2011; Сокерина и др., 2012; Мелекесцева и др., 2013; Анкушева и др., 2017). Содержание Н₂О меняется от 220-910 г/т в жилах с низким содержанием золота (1 г/т) до 402-1600 – с высоким содержанием золота (до 10 г/т). Величина CO₂/(CO₂ + H₂O) меняется от 0.09–0.17 в слабо золотоносных жилах до 0.18-0.27 - в высоко золотоносных. Величина СО₂/СН₄ не превышает 2.3 в слабо золотоносных (1-2 г/т) и варьирует от 4.1 до 20.8 в высокозолотоносных (2.8-10 г/т) жилах (Гибшер и др., 2011), а на некоторых золоторудных месторождениях – от 3.2 до 495.5 (Прокофьев и др., 2010).

Величины $CO_2/(CO_2 + H_2O) = 0.1$ и $CO_2/CH_4 = 215.5$ на Ганеевском месторождении близки характерным для слабо золотоносных (1–2 г/т) кварцевых жил, сформированных гомогенными и гетерогенными углекислотно-водными флюидами (Гибшер и др., 2011). Это, в некоторой степени, соответствует изученному месторождению, поскольку содержание золота в кварцевой жиле составляло 1–3 г/т.

Такой же, как и на Ганеевском, обедненный валовый состав включений в кварце (H_2O (79–977 г/т)+ $CO_2(2.64-5.35$ г/т)+ $CH_4(0.002-0.018$ г/т)± $N_2(0-1.22$ мкг/г)) определен на золоторудном Орловском месторождении на Южном Урале (Знаменский и др., 2017).

Состав флюида (NaCl-H₂O ± CO₂ с примесью KCl), высокие содержания NaO в слюдах (до 1.62 мас. % в березитах), вмещающих метабазальтах (4.05–4.39 мас. %) и кварц-хлоритовых сланцах (3.25–5.1 мас. %) (Заботина и др., 2014) в совокупности с обилием альбита свидетельствуют о высокой натриевости первичного флюида на Ганеевском месторождении, обязанной, вероятно, его взаимодействию с высоконатриевыми вмещающими породами (Грабежев и др., 1999).

Таким образом, оценки температуры и давления образования метасоматитов и золотоносных кварцевых прожилков дают, преимущественно, близкие результаты и позволяют считать, что рудообразование не было значительно «оторвано» во времени от метасоматического процесса.

Авторы выражают благодарность д. г.-м. н. Е.В. Белогуб (ИМин УрО РАН) за консультации и плодотворное обсуждение результатов исследований. Работы выполнены в рамках госбюджетной темы № АААА-А16-116021010244-0, выполнение анализов газовой хроматографии поддержано программой УрО РАН № 18-5-5-44.

Литература

Анкушева Н.Н., Паленова Е.Е., Шанина С.Н. (2017) Условия образования кварцевых жил золоторудных месторождений Копыловское, Кавказ, Красное (Бодайбинский район, В. Сибирь) по данным изучения флюидных включений. Металлогения древних и современных океанов-2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Миасс, ИМин УрО РАН, 183–186.

Бортников Н.С. (2006) Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах. *Геоло*гия рудных месторождений, **48**(1), 3–28.

Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха М.А., Тимкина А.Л. (2011) Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и РТусловия образования кварцевых жил (Енисейский Кряж, Россия). *Геология и геофизика*, **52**(11), 1851–1867.

Грабежев А.И., Жухлистов А.П., Пшеничный Г.Н., Пальгуева Г.В. (1999) К-Na белая слюда из метасоматитов Гайского медно-колчеданного месторождения (Южный Урал). Доклады академии наук, **366**(6), 790–792.

Грабежев А.И., Мурзин В.В., Сотников В.И., Боровиков А.А., Ронкин Ю.Л., Гмыра В.Г., Пальгуева Г.В. (2005) Карбонаты из метасоматитов и жил Гумешевского скарнового медно-порфирового месторождения (Средний Урал): состав и геотермобарометрия. Записки РМО. Ч. СХХХІV, (4), 15–27.

Заботина М.В., Белогуб Е.В., Новоселов К.А., Паленова Е.Е., Мартешева А.В., Блинов И.А. (2014) Минералогия руд и особенности вмещающих пород Ганеевского месторождения золоторудной лиственитовой формации (Учалинский район, Башкортостан). Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 46(3), 16–28.

Знаменский С.Е., Мичурин С.В. (2014) Условия образования золото-сульфидного месторождения Миндяк (Южный Урал): структурные и изотопно-геохимические аспекты. *Литосфера*, (4), 121–135.

Знаменский С.Е., Мичурин С.В., Веливецкая Т.А., Знаменская Н.М. (2014) Структурные условия формирования и возможные источники рудного вещества Ганеевского месторождения золота (Южный Урал). *Литосфера*, (6), 118–131.

Знаменский С.Е., Анкушева Н.Н., Веливецкая Т.А., Шанина С.Н. (2017) Состав и источники минералообразующих флюидов Орловского орогенного месторождения золота (Южный Урал). Геология и геофизика, 58(9), 1346–1358.

Мелекесцева И.Ю., Кряжев С.Г., Зайков В.В., Анкушева Н.Н. (2013) Состав флюидов золоторудных месторождений Алдан-Маадырской зоны, Западная Тува. Металлогения древних и современных океанов-2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. Миасс, ИМин УрО РАН, 198–201.

Миронова О.Ф., Наумов В.Б., Салазкин А.Н. (1992) Азот в минералообразующих флюидах. Газохроматографическое определение при исследовании включений в минералах. *Геохимия*, (7), 979–991.

Мурзин В.В., Кринов Д.И., Бортников Н.С., Сазонов В.Н. (2001) Стадийность, РТХ-условия образования руд и формы вхождения золота в рудах Миндякского месторождения (Южный Урал). *Ежегодник–2001*. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 166–171.

Мурзин В.В., Бортников Н.С., Сазонов В.Н. и др. (2003) Происхождение рудообразующего флюида на Миндякском золоторудном месторождении (Южный Урал). Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез, полезные ископаемые: мат-лы IX Чтений им. акад. А.Н. Заварицкого. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 197–199.

Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Винокуров С.Ф., Зорина Л.Д., Чернова А.Д., Кряжев С.Г., Краснов А.Н., Горбачева С.А. (2010) Золоторудное месторождение Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия): химический состав, распределение редких земель, изучение стабильных изотопов углерода и кислорода в карбонатах рудных жил. *Геология рудных месторождений*, **52**(2), 91–125.

Русинов В.Л., Русинова О.В., Кряжев С.Г., Щегольков Ю.В., Алышева Э.И., Борисовский С.Е. (2008) Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе. *Геология рудных месторождений*, **50**(1), 3–46.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (1999) Месторождения золота Урала. Екатеринбург, ИГГГА, 570 с.

Сахарова М.С., Ряховская С.К., Турчкова А.Г. (1999) Посткристаллизационные преобразования золото-кварцевых агрегатов в гидротермальных условиях (экспериментальные данные). *Геохимия*, (5), 486–493.

Сокерина Н.В., Шанина С.Н., Исаенко С.И. (2012) Газовый состав рудообразующего флюида золоторудного проявления Синильга, Приполярный Урал. Вестник, (3), 12–15.

Спиридонов Э.М, Плетнев П.А. (2002) Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой» формации). М.: Научный мир, 220 с.

Таланцев А.С. (1981) Геотермобарометрия по доломит-кальцитовым парагенезисам. М., Наука, 136 с.

Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabotina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. (2017) Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geology Reviews*, **85**, 247–270.

Bevins R. E., Robinson D., Rowbotham G. Compositional variations in mafic phyllosilicates from regional low-grade metabasites and application of the chlorite geothermometer: *J. Metam. Geol.* 9. 1991. P. 711–721.

Cathelineau M., Nieva D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineral and Petrology*, **91**, 235–244.

Cathelineau M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, **23**, 471–485.

De Caritat P., Hutcheon I., Walshe J.L. (1993) Chlorite geothermometry: a review. Clays *and Clay Minerals*, **41**(2), 219–239.

Hillier S., Velde B. (1991) Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clay Minerals*, **26**, 149–168.

Igneous and metamorphic petrology (2003) Myron G. Best. 2-nd ed. Blackwell Publishing, 729 p.

Jahren J.S., Aagaard P. (1989) Compositional variations in diagenetic chlorites and illites, and relationships with formation-water chemistry. *Clay Minerals*, **24**, 157–170.

Jowett E.C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. Program with Abstracts of GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting, 16, 62.

Kranidiotis P., MacLean W.H. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, **82**, 1898– 1911.

McDowell S.D., Elders W.A. (1980) Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA. *Contributions to Mineral and Petrology*, 74, 293–310.

Mernagh T.P., Bierlein F.P. (2008) Transport and precipitation of gold in Phanerozoic metamorphic terranes from chemical modeling of fluid-rock interaction. *Economic Geology*, **103**, 1613–1640.

References

Ankusheva N.N., Palenova E.E., Shanina S.N. (2017) [Formation conditions of quartz veins of the Kopylovsky, Kavkaz, and Krasny gold deposits (Bodaybo region, East Siberia) according to fluid inclusion study]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov* [*Metallogeny of ancient and modern oceans-2017*], Miass, IMin UB RAS, 183–186. (in Russian)

Belogub E.V., Melekestseva I.Yu., Novoselov K.A., Zabotina M.V., Tret'yakov G.A., Zaykov V.V., Yuminov A.M. (2017) Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): a review. *Ore Geology Reviews*, **85**, 247–270.

Bortnikov N.S. (2006) Geochemistry and origin of the ore-forming fluid in hydrothermal-magmatic systems in tectonically active zones. *Geology of Ore Deposits*, **48**(1), 1–22.

Bevins R. E., Robinson D., Rowbotham G. Compositional variations in mafic phyllosilicates from regional lowgrade metabasites and application of the chlorite geothermometer: *J. Metam. Geol.* 9. 1991. P. 711–721.

Cathelineau M., Nieva D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineral and Petrology*, **91**, 235–244.

Cathelineau M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, **23**, 471–485.

De Caritat P., Hutcheon I., Walshe J.L. (1993) Chlorite geothermometry: a review. *Clay Minerals*, **41**(2), 219–239.

Gibsher N.A., Tomilenko A.A., Sazonov A.M., Ryabukha M.A., Timkina A.L. (2011) [Gerfed gold deposit: fluids and PT-conditions for quartz veins formation of (Yenisei Ridge, Russia)]. [*Russian Geology and Geophysics*], 52(11), 1461–1473.

Grabezhev A.I., Zhukhlistov A.P., Pshenichny G.N., Palgueva G.V. (1999) [K-Na white mica of metasomatites of the Gay copper massive sulfide deposit (South Urals)]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **366**(6), 790–792. (in Russian)

Grabezhev A.I., Murzin V.V., Sotnikov V.I. et al. (2005) [Carbonates of metasomatites and veins of the Gume-

shevsky skarn copper-porphyry deposit (Central Ural): composition and geothermobarometry]. *Zapiski RMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, *Pt. CXXXIV*, (4), 15–27. (in Russian)

Hillier S., Velde B. (1991) Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clay Minerals*, **26**, 149–168.

Igneous and metamorphic petrology (2003) Myron G. Best. 2-nd ed. Blackwell Publishing, 729 p.

Jahren J.S., Aagaard P. (1989) Compositional variations in diagenetic chlorites and illites, and relationships with formation-water chemistry. *Clay Minerals*, **24**, 157–170.

Jowett E.C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. Program with Abstracts of the GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting, 16, 62.

Kranidiotis P., MacLean W.H. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, **82**, 1898–1911.

McDowell S.D., Elders W.A. (1980) Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA. *Contributions to Mineral and Petrology*, 74, 293–310.

Melekestseva I.Yu., Kryazhev S.G., Zaikov V.V., Ankusheva N.N. (2013) [Composition of fluids of gold deposits of the Aldan-Maadyr zone, Western Tuva]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2013 [Metallogeny of ancient and modern oceans-2013]*, (19), 198–201. (in Russian)

Mernagh T.P., Bierlein F.P. (2008) Transport and precipitation of gold in Phanerozoic metamorphic terranesfrom chemical modeling of fluid-rock interaction. *Economic Geology*, 103, 1613–1640.

Mironova O.F., Naumov V.B., Salazkin A.N. (1992) [Nitrogen in mineral-forming fluids. Gas chromatographic determination in the study of inclusions in minerals]. *Geokhimiya* [*Geochemistry*], (7), 979–991. (in Russian)

Murzin V.V., Krinov D.I., Bortnikov N.S., Sazonov V.N. (2001) [Staging, PTX conditions for the formation of ores and the mode of occurrence of gold in ores of the Mindyak deposit (Southern Urals)]. *Ezhegodnik–2001 [Year-book–2001]*. Yekaterinburg, IGG UB RAS, 166–171. (in Russian)

Murzin V.V., Bortnikov N.S., Sazonov V.N. et al. (2003) [Origin of ore-forming fluids at the Mindyak gold deposit (South Urals). *Materialy IX Chteniy im. acad. A.N. Zavaritskogo)* [Proceedings of IX Conference in memory of Academician A.N. Zavaritsky]. Yekaterinburg, IGG UB RAS, 197–199. (in Russian)

Prokof ev V.Y., Bortnikov N.S., Kovalenker V.A., Vinokurov S.F., Gorbacheva S.A., Zorina L.D., Chernova A.D., Kryazhev S.G., Krasnov A.N. (2010) The Darasun gold deposit, Eastern Transbaikal region: chemical composition, REE patterns, and stable carbon and oxygen isotopes of carbonates from ore veins. *Geology of Ore Deposits*, **52**(2), 81–113. Rusinov V.L., Borisovsky S.E., Rusinova O.V., Kryazhev S.G., Shchegol'kov Yu.V., Alysheva E.I. (2008) Wall-rock metasomatism of carbonaceous terrigenous rocks in the Lena gold district. *Geology of Ore Deposits*, **50**(1), 1–40.

Sakharova M.S., Ryakhovskaya S.K., Turchkova A.G. (1999) [Post-crystallization transformations of goldquartz aggregates in hydrothermal conditions (experimental data)]. *Geokhimiya* [*Geochemistry*], (5), 486–493. (in Russian)

Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. (1999) [Uralgolddeposits]. Yekaterinburg, IGGGA, 570 p. (in Russian)

Sokerina N.V., Shanina S.N., Isaenko S.I. (2012) [Gas composition of the ore-forming fluid of the gold manifestation of Sinilga, Polar Urals]. *Vestnik* IG Komi NTs UrO RAN [*Bulletin IG Komi SC UB RAS*] (3), 12–15. (in Russian)

Spiridonov E.M., Pletnev P.A. (2002) [Zolotaya Gora copper gold deposit: about «gold-rodingite» type]. Moscow, Nauchny mir, 220 p. (in Russian)

Talantsev A.S. (1981) [Geothermobarometry of dolomite-calcite parageneses]. Moscow, Nauka, 136 p. (in Russian) Zabotina M.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Palenova E.E., Martesheva A.V., Blinov I.A. (2014) [Mineralogy of ores and peculiarities of host rocks of the Ganeevskoe gold deposit of listvenite type (Uchaly district, Bashkortostan]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy [Bulletin of Siberian Branch of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits],* **46**(3), 16–28. (in Russian)

Znamensky S.E., Michurin S.V. (2014) [Formation conditions of the Mindyak gold-sulfide deposit (South Urals): structural and isotopic-geochemical aspects]. *Litos-fera [Lithosphere*], (4), 121–135. (in Russian)

Znamensky S.E., Michurin S.V., Velivetskaya T.A., Znamenskaya N.M. (2014) [Structural conditions of formation and possible sources of ore matter at the Ganeevskoe gold deposit (Southern Urals)]. *Litosfera* [*Lithosphere*], (6), 118–131. (in Russian)

Znamensky S.E., Ankusheva N.N., Velivetskaya T.A., Shanina S.N. (2017) [Composition and sources of mineralforming fluids of the Orlovka orogenic gold deposit (Southern Urals)]. *[Russian Geology and Geophysics]*, **58**(9), 1070–1079. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 24 декабря 2018 г.