

УДК 553.411.071

МИНЕРАЛОГИЯ РУД И ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ГАНЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ ЛИСТВЕНИТОВОЙ ФОРМАЦИИ (УЧАЛИНСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

**М.В. Заботина¹, Е.В. Белогуб², К.А. Новоселов³, Е.Е. Паленова⁴, А.В. Мартешева⁵,
И.А. Блинов⁶**

^{1-4,6}Институт минералогии УрО РАН, 456317, Россия, г. Миасс, Ильменский заповедник.

⁵Ильменский государственный заповедник им. Ленина УрО РАН.

Дана геологическая характеристика Ганеевского месторождения в пределах Учалинского района Башкортостана как классического колчеданноносного района, в котором наряду с колчеданным и родственным золото-сульфидным оруденением развиты золото-кварцевые проявления, связанные с процессами преобразования вулканогенно-осадочных комплексов при коллизии.

Приведена минералого-петрографическая характеристика руд и околорудных пород Ганеевского месторождения и оценка вероятности участия вулканогенного гидротермально-осадочного процесса в концентрации золота.

Рудоносные листвениты и березиты Ганеевского месторождения образовались по серпентинитам и вулканитам основного состава соответственно в результате углекислотного метасоматоза с привнесом CO₂ и Na, перераспределением K, выносом SiO₂ и его последующим отложением в виде кварцевых жил.

Золото в лиственитах и березитах высокопробное и ассоциирует с пиритом и халькопиритом, более низкопробное в кварцевых жилах – с галенитом и минералами Ag, Te, Pb и Bi.

Учитывая отсутствие гранитоидов в непосредственной близости к Ганеевскому месторождению, наличие сингенетической золотоносной минерализации в вулканогенных толщах карамальташской свиты, можно предположить в качестве источника рудных компонентов золотосодержащие сульфидные ассоциации, возникшие в результате вулканогенных гидротермально-осадочных процессов.

Библиогр. 12 назв. Ил. 5. Табл. 3

Ключевые слова: золото; листвениты; березиты; углекислотный метасоматоз; Ганеевское месторождение; Учалинский район.

ORE MINERALOGY AND FEATURES OF HOST ROCKS OF GANEEVSKOYE LISTVENITE GOLD DEPOSIT (UCHALINSKY REGION, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

**M.V. Zabolina, E.V. Belogub, K.A. Novoselov, E.E. Palenova, A.V. Martesheva,
I.A. Blinov**

Institute of Mineralogy UB RAS, Nature Reserve Ilmensky, Miass, 456317, Russia.

Nature Reserve Ilmensky named after V.I. Lenin UB RAS.

The article gives a geological characteristic of the Ganeevskoye deposit in the Uchalinsky region of Bashkiria. It describes it as a classical ore district with numerous VMS and gold-sulfide deposits, manifestations of gold and quartz associated with volcano sedimentary complex transformations due to collision.

The ores and wallrocks of the Ganeevskoye deposit are given mineralogical and petrographic characteristics. The involvement probability of volcanogenic hydrothermal and sedimentary process in the gold concentration is assessed.

Ore-bearing listvenites and berisites of the Ganeevskoye deposit were formed by serpentinites and mafic volcanic rocks, respectively, as a result of CO₂-metasomatism with the gain of CO₂ and Na, redistribution of K, loss of SiO₂ and its further deposition in the form of quartz veins.

¹Заботина Мария Владимировна, аспирант, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: mary_7-88@mail.ru

Zabolina Maria, post-graduate student, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: mary_7-88@mail.ru

²Белогуб Елена Витальевна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: bel@mineralogy.ru

Belogub Elena, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: bel@mineralogy.ru

The high-fineness gold in listvenites and berisites is associated with pyrite and chalcopyrite. Gold in quartz veins has lower fineness and is associated with galena and minerals of Ag, Te and Bi.

Considering the absence of granitoids in the close proximity to the Ganeevskoye deposit and the presence of syngenetic gold-bearing mineralization in the volcanogenic rocks of the Karamalytash Formation, the authors assume that gold-bearing sulfide associations arose from volcanogenic hydrothermal and sedimentary processes could be the sources of ore components.

12 sources. 5 figures. 3 tables

Key words: gold; listvenites; berisites; carbon dioxide metasomatism; Ganeevskoye deposit; Uchalinsky region.

Введение. Учалинский район Башкирии известен как классический пример широкого развития колчеданных месторождений и золотосульфидных вулканогенных рудопроявлений. Они локализованы преимущественно в карамалыташской вулканогенно-осадочной свите (D_2 ef-zv kr) [12]. Однако наряду с колчеданным и родственным золото-сульфидным оруденением, в районе развиты золото-кварцевые проявления, связанные с процессами преобразования вулканогенно-осадочных комплексов при коллизии. Такие месторождения приурочены преимущественно к тектоническим зонам, и их образование обязано динамометаморфическим и метасоматическим процессам, как это свойственно золоторудным объектам зеленокаменных поясов [9]. Тем не менее, источник золота в таких месторождениях дискусионен. Наряду с устоявшимся мнением о магматическом происхождении золота [7], существует гипотеза о его полигенности. Согласно этой гипотезе, золото, накопленное при осадконакоплении и гидротермальных процессах, синхрон-

ных с вулканизмом, при коллизии переотлагается с образованием более богатых концентраций [9]. В Западно-Буйдинской рудной зоне, контролируемой Буйдинским разломом, распространены месторождения золото-рудной лиственитовой формации (рис. 1), которые залегают в зоне сочленения поляковской (S_{1pl}) (на востоке), карамалыташской (D_2 ef-zv kr) (на западе) и улутауской ($D_2zv - D_3f$ ul) вулканогенно-осадочных толщ [2, 8]. К западу от Буйдинской зоны в карамалыташской толще локализованы крупные колчеданные месторождения (Учалинское и Новоучалинское) и месторождения золота Курпалинской рудной зоны (Контрольное и др.), приуроченные к серицит-кварцевым метасоматитам, образованным по вулканогенным породам. Ранее, по аналогии с Буйдинской зоной, считалось (В.А. Крылатов и др., 2006), что месторождения Курпалинской зоны контролируются разломами, однако в ходе эксплуатации были выявлены признаки литологического контроля руд и их сходства с вулканогенно-осадочны-

³Новоселов Константин Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: const@ilmeny.ac.ru

Novoselov Konstantin, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: const@ilmeny.ac.ru

⁴Паленова Екатерина Евгеньевна, аспирант, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: palenova@mineralogy.ru

Palenova Ekaterina, Post-graduate student, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: palenova@mineralogy.ru

⁵Мартешева Анастасия Васильевна, инженер, тел.: (3513) 591551, факс: (3513) 570286, e-mail: levsha1991.91@mail.ru

Marteshева Anastasia, Engineer, tel.: (3513) 591551, fax: (3513) 570286, e-mail: levsha1991.91@mail.ru

⁶Блинов Иван Александрович, младший научный сотрудник, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: mohauk@mail.ru

Blinov Ivan, research worker, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: mohauk@mail.ru

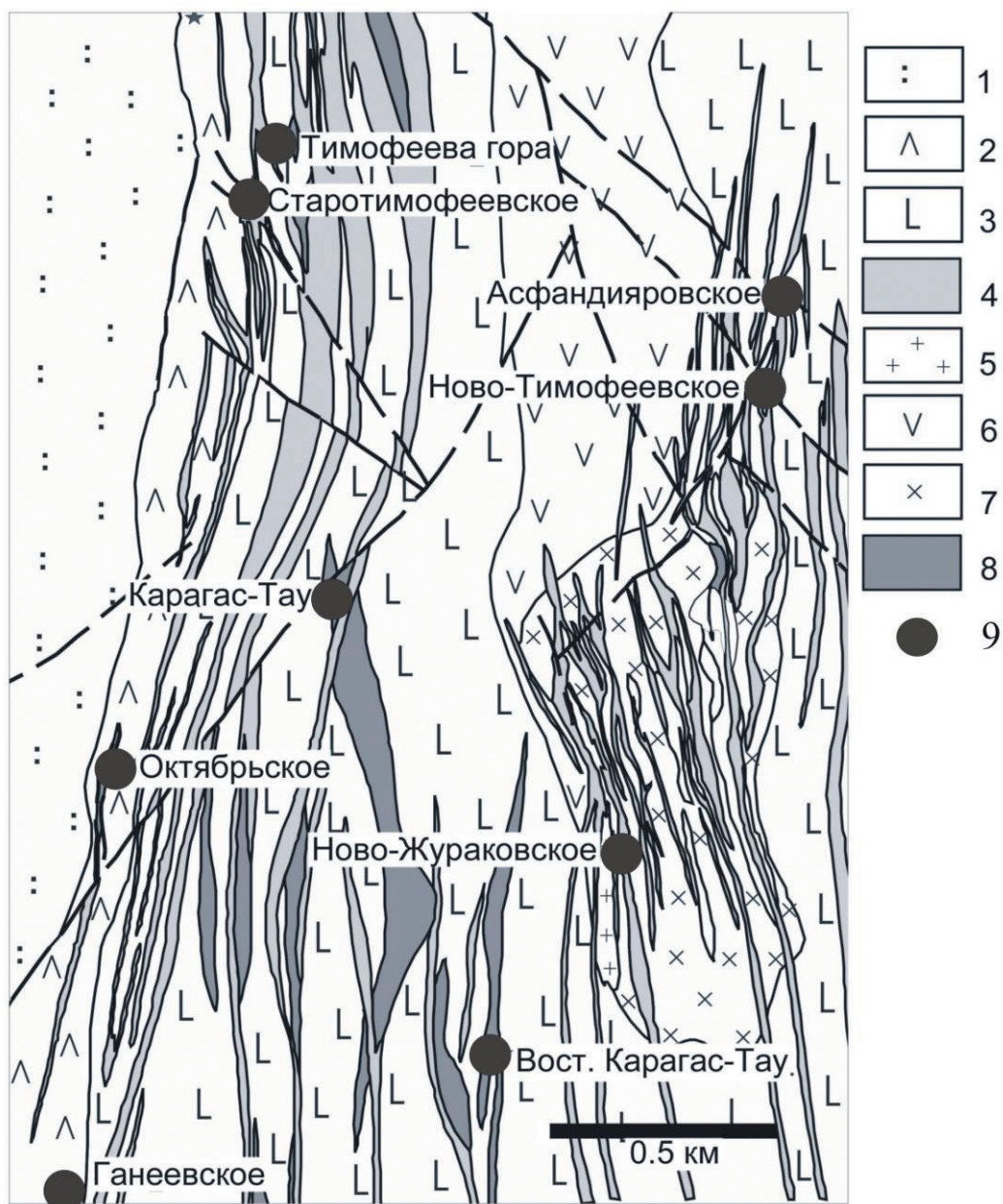


Рис. 1. Геологическая карта Буйдинской площади

(по С.В. Сурину, 2006 и К.А. Новоселову, 2010, с упрощениями):

1–3 – вулканиты и вулканогенно-осадочные породы: 1 – улутауской свиты ($D_{2zv} ul$), 2 – карамалыташской свиты ($D_{2ef} kr$), 3 – поляковской свиты ($S_1 ln_{2-3} pl$); 4–8 интрузивные образования: 4 – габбро, 5 – плагиограниты, 6 – андезиты, 7 – кварцевые диориты, 8 – ультрамафиты; 9 – проявления Au

ми колчеданными месторождениями (Е.В. Белогуб, 2009). Таким образом, карамалыташская толща, с которой связано Ганеевское месторождение, является основным носителем сингенетичной сульфидной и золотой минерализации.

Ниже приводятся результаты изучения минералогии и петрографии руд и окколорудных пород Ганеевского месторождения и дается оценка

вероятности участия вулканогенного гидротермально-осадочного процесса в концентрации золота.

Методика исследования. Для изучения отобраны штучные пробы руд и окколорудных пород из карьера месторождения в процессе его эксплуатации. Пробы весом порядка 20 кг отбирались точечным методом, отмывались до серого шлиха, который затем разделялся на фракции <0.5,

+0.5...-1, +1 мм. Каждая фракция доводилась в бромформе $\rho=2,9 \text{ г/см}^2$ до получения тяжелого концентрата.

Из материала проб изготовлены полированные препараты и шлифы. Минералого-петрографическое изучение руд, вмещающих и метасоматически измененных пород месторождения проводилось с помощью поляризационных микроскопов (ПОЛАМ-Р113, Аxiolab CZ, Olympus BX51) с цифровыми приставками. Минеральный состав пород определен методом рентгеноструктурного анализа (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000, метод «постоянных коэффициентов» с использованием корундовых чисел, полученных на используемом приборе – аналитики П.В. Хворов, Е.Д. Зенович). Химический состав пород определен классическими методами в ЦКП ИМин УрО РАН (аналитики М.Н. Маляренок, Т.В. Семенова, Ю.Ф. Мельнова). Состав рудных минералов проанализирован на сканирующем микроскопе VEGA3 TESCAN (аналитик И.А. Блинов). Расчет баланса вещества производился путем сравнения значений числа атомов элемента на 1 нм^3 в исходных породах и метасоматитах по формуле $N_i = R\rho$, где N_i – число атомов i -элемента, приходящихся на 1 нм^3 , R – переходный коэффициент, ρ – массовый процент оксида, ρ – плотность породы, г/см^3 [1]. Плотность пород получена экспериментально путем взвешивания образца в сухом состоянии и в сосуде фиксированного объема с водой.

Краткая геологическая характеристика. Ганеевское месторождение расположено в 9 км юго-восточнее г. Учалы и в 2010–2012 гг. обрабатывалось карьером ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания». Месторождение залегает в полосе метасоматитов березит-лиственитовой формации, локализованной в зоне Буйдинского разлома, имеющего субмеридиональное простирание и субвертикальное паде-

ние. Метасоматиты на западе контактируют с базальтами и туфами карамалыташской свиты ($D_2 \text{ ef-zv kr}$), габбро-диоритами, габбро и серпентинитами, возраст которых дискусионен. На востоке они ограничиваются метабазальтами поляковской свиты (S_{1pl}), габброидами и серпентинитами [2]. На северо-западе породы карамалыташской свиты отделяются от улутауской свиты разломом (см. рис. 1).

В карьере месторождения наблюдается резкое отличие пород восточного и западного флангов.

Породы восточного фланга представлены вулканитами основного состава с прослоями кварц-хлоритовых сланцев и с дайкообразными телами хлоритизированных и карбонатизированных диабазов.

Сильно дислоцированные породы западного фланга представлены кварц-хлоритовыми метасоматитами по вулканогенно-обломочным породам с мало-мощными тектоническими линзами и пластинами оталькованных серпентинитов.

Рудная зона вскрыта в осевой части карьера и представлена лиственитами, пирит- и карбонат-содержащими серицит-кварцевыми метасоматитами (березитами) и кварцевыми жилами. Тела лиственитов мощностью до 15 м и березитов мощностью до 4 м имеют форму линз, вытянутых согласно структуре месторождения. Кварцевые жилы мощностью от 1 до 7 м залегают на контакте лиственитов и хлоритовых сланцев согласно со структурой месторождения. Габбро-диориты и габбро в пределах карьера вскрыты не были. Следует особо отметить отсутствие гранитоидов в строении участка месторождения.

Золото в пределах рудной зоны распределено неравномерно. Рудные тела выделяются по результатам опробования. Рудоносными являются березиты (Au до 18 г/т), листвениты (Au до 10 г/т) и кварцевые жилы (Au 1-3 г/т).

Минералого-петрографические особенности пород Ганеевского месторождения. Вулканиды основного состава обладают массивной, участками реликтовой миндалекаменной текстурой, порфировой структурой. Рассланцевание и хлоритизация неравномерны, вплоть до полной утраты реликтов первичных структур. Минеральный состав изменчив, зависит от интенсивности наложенных процессов – альбитизации и эпидотизации плагиоклаза, хлоритизации, актинолитизации темноцветных минералов. Среди сохранившихся реликтов отмечаются плагиоклаз (лабрадор или битовнит) и пироксен (авгит). Из новообразованных минералов присут-

ствуют альбит, хлорит (пеннин), актинолит, тремолит, уралитовая роговая обманка, сосюрит, эпидот, клиноцоизит, кальцит. Вулканическое стекло нацело разложено и замещено хлоритом. Из аксессуарных минералов обнаружен сфен. По данным рентгеноструктурного анализа в минеральном составе вулканидов преобладают амфиболы (актинолит), плагиоклаз, кварц, хлорит (клинохлор), эпидот и карбонаты (кальцит). По содержаниям SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 вулканиды можно отнести к породам базальтового состава (табл. 1). Для них также характерно повышенное содержание Cu.

Таблица 1
Усредненный химический состав (мас. %) и содержание малых элементов (г/т) в породах Ганеевского месторождения

Компонент	Номер группы пород (количество анализов)								
	1(4)	2(4)	3(3)	4(2)	5(1)	6(3)	7(1)	8(60)	9(22)
SiO_2	52,89	44,13	47,41	46,58	66,25	31,75	42,90	29,03	44,5
TiO_2	1,175	0,99	1,09	0,96	0,32	0,07	0,03	0,03	0,31
Al_2O_3	15,51	15,25	14,80	15,10	16,85	4,67	1,61	2,66	13,52
Fe_2O_3	2,773	1,88	2,54	1,98	1,5	0,37	3,74	3,62	6,09
FeO	6,34	6,63	7,40	6,50	1,28	5,13	4,25	2,64	3,49
MnO	0,16	0,15	0,21	0,18	0,08	0,12	0,09	0,09	0,16
MgO	5,38	7,68	5,70	5,30	0,8	22,23	38,10	24,99	6,8
CaO	7	7,80	5,08	5,29	1,1	4,80	1,27	5,66	6,72
Na_2O	4,225	3,13	4,61	6,21	0,4	0,99	0,05	0,22	3,44
K_2O	0,523	1,03	0,59	0,69	5,0	0,80	0,18	0,16	
H_2O^*	0,14	0,13	<0,1	<0,1	0,03	0,07	-	0,13	0,37
CO_2	0,97	7,08	6,83	9,95	1,03	12,21	1,00	8,53	1,54
P_2O_5	0,18	0,17	0,23	0,16	-	<0,05	-	0,01	0,08
п.п.п.	3,24	10,57	9,72	12,94	-	28,85	-	21,05	6,96
Σ	99,48	99,34	99,38	99,45	94,64	99,81	93,22	100,4	94,99
Cu	69	340	321	202	-	40	-	-	0,02*
Zn	94	78	82	62	-	45	-	-	-
Ni	111	68	42	93	-	988	-	0,05*	-
Cr	51	137	32	61	-	472	-	-	-
Co	34	33	31	26	-	42	-	-	-
Pb	9	9	6	7	-	10	-	-	-

Примечание: 1(4) – вулканиды основного состава; 2(4) – вулканиды основного состава измененные, иногда с реликтами структуры; 3(3) – кварц-хлоритовые сланцы; 4(2) – березиты; 5(1) – типичные березиты по гранитам (Сазонов и др., 2001); 6(3) – листвениты; 7(1) – гипербазит Учалинского района (Сервакин, 2001; Русин и др., 1999); 8–9 – типичные листвениты; 8(60) – по ультраосновной породе, 9(22) – по породе основного состава (Кашкай и др., 1965);

* – весовые проценты.

Кварц-хлоритовые метасоматиты сланцеватой текстуры от тонко- до среднезернистой структуры развиты по вулканогенно-обломочным породам, на что указывает их участками узловатая текстура. Порода практически полностью состоит из чешуйчатых выделений клинохлора и пеннина с немногочисленными небольшими зернами кварца и карбоната. Хлорит преимущественно ориентирован параллельно сланцеватости. По данным рентгеноструктурного анализа кварц-хлоритовые сланцы состоят преимущественно из плагиоклаза, кварца, хлорита, в небольшом количестве карбоната (кальцит, доломит) и слюды, иногда фиксируется пирит. Их химический состав отвечает породам основного состава (см. табл. 1).

Листвениты обладают сланцеватой, полосчатой или массивной текстурами и неравномернотекстурированной структурой. Реликты первичной структуры и первичных минералов не наблюдаются. Минеральный состав представлен новообразованными минералами кварц-альбит-доломит (магнезитовой) ассоциации с фукситом, редкими парагонитом и тальком (по данным рентгеноструктурного анализа). По химическому составу листвениты характеризуются относительно низкими содержаниями SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 и высоким – CO_2 . Характерно повышенное содержание Cr и Ni (см. табл. 1), свойственное ультраосновным породам.

Березиты характеризуются сланцеватой или массивной текстурой и неравномернотекстурированной структурой. Основными породообразующими минералами являются кварц и слюда (серицит). Редко встречается реликтовый плагиоклаз (андезин). По плагиоклазу развивается хлорит. По данным рентгеноструктурного анализа березиты представлены серицит-доломит-магнезит (анкерит)-кварц-альбитовой ассоциацией. По сравнению с лиственитами содержат больше SiO_2 , Al_2O_3 и TiO_2 , обогащены

CO_2 . Характерно повышенное содержание Cu (см. табл. 1).

Кварцевые жилы развиты на контакте лиственитов и кварц-хлоритовых метасоматитов в виде согласных мало-мощных прожилков. В их составе помимо массивного кварца присутствуют карбонаты (доломит) и редкая рудная вкрапленность.

Минералогия руд. Рудоносными породами являются листвениты, березиты и кварцевые жилы.

Главные рудные минералы лиственитов и березитов – пирит и образованный по нему гетит, второстепенный – халькопирит, редкие – золото, галенит, сфалерит, пирротин, блеклая руда, магнетит, гематит. Нерудные минералы представлены альбитом, кварцем, карбонатами и слюдой.

Пирит в лиственитах и березитах образует эвгедральные и субгедральные кубические и пентагон-додекаэдрические метакристаллы размером от 0,2 до 2 мм. Пирит часто пористый, корродированный, трещиноватый, содержит включения халькопирита, пирротина, галенита, сфалерита, магнетита и многочисленные пойкилитовые включения нерудных минералов, ориентировка которых соответствует сланцеватости. К трещинам в пирите иногда приурочены включения золота.

Гетит развивается по трещинам в пирите и по спайности карбонатов, образует полные и частичные псевдоморфозы колломорфной структуры по пириту, тонкие согласные просечки в нерудной матрице и каймы вокруг карбоната. Нередко гетитовые псевдоморфозы содержат включения золота.

Халькопирит образует ксеноморфные выделения размером 0,2–0,5 мм обычно в интерстициях нерудных минералов, интенсивно замещается ковеллином и лимонитом. Он также образует единичные включения и сростки с пиритом, встречается в виде

реликтовых включений в гетите.

Галенит, сфалерит и блеклая руда образуют самостоятельные изометричные включения размером от 1–3 мкм до 10–20 мкм и сростки с халькопиритом во включениях в пирите.

Пирротин встречается в виде ксеноморфных выделений в кварце и изометричных включений размером до 20 мкм в пирите.

Магнетит и гематит представлены гипидиоморфными, реже идиоморфными вростками размером до 10–20, реже 30 мкм в пирите.

Золото приурочено к пириту и замещающему его гетиту, образует включения вытянутой, овальной и сложной формы размером от 3 до 60 мкм, просечки длиной до нескольких миллиметров (рис. 2), встречается в виде включений размером до 0.1 мм в кварце. Состав золота из березитов и листовитов сходен (табл. 2, рис. 3) и характеризуется небольшой примесью серебра (до 11 мас. %).

Главный рудный минерал кварцевых жил – галенит, второстепенный – халькопирит. Среди редких установлены теннантит, айкинит, полидимит,

миллерит, петцит, гессит, самородное золото.

Галенит образует идиоморфные и гипидиоморфные кубические кристаллы размером от 0.1 до 1 мм с вростками гессита, петцита и сульфосолей висмута и встречается в сростках с халькопиритом, теннантитом, кварцем, магнетитом и золотом. В составе галенита всегда присутствует примесь (мас. %): серебра (до 2.31) и висмута (до 5.08), редко железа (до 0.2).

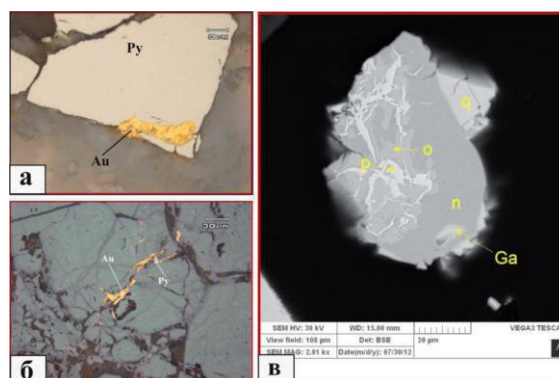


Рис. 2. Морфология выделений золота: а – включения золота (Au) в пирите (Py); б – золото (Au) в трещинах гетита с реликтами пирита (Py); в – просечки золота (точка p) с петцитом (точка o) в гессите (точка n)

Таблица 2

Состав минералов Au и Ag (мас. %)

N п/п	N лаб.	Ag	Au	Te	Формула	N п/п	N лаб.	Ag	Au	Te	Формула
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12242a	9,24	90,76	-	Au0.84Ag0.16	20	12243j	8,22	91,78	-	Au0.86Ag0.14
2	12242b	8,18	91,82	-	Au0.86Ag0.14	21	12243k	8,01	91,99	-	Au0.86Ag0.14
3	12242c	6,47	93,53	-	Au0.89Ag0.11	22	12241a	6,32	93,68	-	Au0.94Ag0.06
4	21242d	8,12	91,88	-	Au0.86Ag0.14	23	12241b	9,54	90,46	-	Au0.90Ag0.1
5	12242e	9,94	90,06	-	Au0.83Ag0.17	24	12241c	6,63	93,37	-	Au0.93Ag0.07
6	12242f	7,08	92,92	-	Au0.88Ag0.12	25	12241d	6,45	93,55	-	Au0.94Ag0.06
7	12242g	6,76	93,24	-	Au0.88Ag0.12	26	12241e	7,04	92,96	-	Au0.93Ag0.07
8	12242h	6,45	93,55	-	Au0.89Ag0.11	27	12241f	6,93	93,07	-	Au0.93Ag0.07
9	12242i	7,34	92,66	-	Au0.87Ag0.13	28	12241g	7,46	92,54	-	Au0.93Ag0.07
10	12242j	10,4	89,6	-	Au0.17Ag0.83	29	12241h	6,87	93,13	-	Au0.93Ag0.07
11	12243a	4,22	95,78	-	Au0.93Ag0.07	30	12241i	6,6	93,4	-	Au0.93Ag0.07
12	12243b	8,21	91,79	-	Au0.86Ag0.14	31	12241j	8,33	91,67	-	Au0.92Ag0.08
13	12243c	9,86	90,14	-	Au0.83Ag0.17	32	12241c	9,19	90,81	-	Au0.91Ag0.09
14	12243d	9,91	90,09	-	Au0.89Ag0.44	33	12241l	8,73	91,27	-	Au0.91Ag0.09
15	12243e	8,38	91,62	-	Au0.86Ag0.14	34	12241m	8,57	91,43	-	Au0.91Ag0.09
16	12243f	8,57	91,43	-	Au0.85Ag0.15	35	12241n	8,26	91,74	-	Au0.92Ag0.08
17	12243g	8,61	91,39	-	Au0.85Ag0.15	36	12241o	8,01	91,99	-	Au0.92Ag0.08
18	12243h	8,87	91,13	-	Au0.85Ag0.15	37	12241p	6,27	93,73	-	Au0.94Ag0.06
19	12243i	8,52	91,48	-	Au0.85Ag0.15	38	12241q	7,83	92,17	-	Au0.92Ag0.08

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
39	12241r	7,91	92,09	-	Au _{0.92} Ag _{0.08}	53	12203f	12,79	87,21	-	Au _{0.79} Ag _{0.21}
40	12241s	8,3	91,7	-	Au _{0.92} Ag _{0.08}	54	12203g'	12,43	87,57	-	Au _{0.74} Ag _{0.26}
41	12241t	8,67	91,33	-	Au _{0.91} Ag _{0.09}	55	12203p	16,06	83,94	-	Au _{0.74} Ag _{0.26}
42	12244a	8,22	91,78	-	Au _{0.86} Ag _{0.14}	56	12203z	15,96	84,04	-	Au _{0.78} Ag _{0.22}
43	12244b	8,11	91,89	-	Au _{0.86} Ag _{0.14}	57	12203d'	13,13	86,87	-	Au _{0.78} Ag _{0.22}
44	12244c	8,15	91,85	-	Au _{0.86} Ag _{0.14}	58	12203w	22,97	77,03	-	Au _{0.65} Ag _{0.35}
45	12244d	9,25	90,75	-	Au _{0.84} Ag _{0.16}	59	12203b	16,24	83,76	-	Au _{0.74} Ag _{0.26}
46	12244e	9,31	90,69	-	Au _{0.84} Ag _{0.16}	60	12203o	42,74	24,09	33,18	Au _{0.94} Ag _{3.05} Te ₂
47	12244f	7,37	92,63	-	Au _{0.87} Ag _{0.13}	61	12203a'	41,06	27,17	31,77	Au _{1.11} Ag _{3.06} Te ₂
48	12244g	7,55	92,45	-	Au _{0.87} Ag _{0.13}	62	12203i	42,53	23,74	33,73	Au _{0.91} Ag _{2.98} Te ₂
49	12244h	9,44	90,56	-	Au _{0.84} Ag _{0.16}	63	12203b'	62,33		37,67	Ag _{1.96} Te
50	12244i	9,34	90,66	-	Au _{0.84} Ag _{0.16}	64	12203n	62,74		37,26	Ag _{1.99} Te
51	12244j	9,74	90,26	-	Au _{0.84} Ag _{0.16}	65	12203v	61,75		38,25	Ag _{1.91} Te
52	12203e'	12,13	87,87	-	Au _{0.80} Ag _{0.20}	66	12203h	62,78		37,22	Ag _{2.00} Te
						67	12203a	62,88		37,12	Ag _{2.00} Te

Примечание: сумма всех элементов в каждом минерале приведена к 100 %; анализы 1–41 – золото из березитов; 42–51 – золото из лиственитов; 52–59 – золото из кварцевой жилы; 60–62 – петцит из кварцевой жилы; 63–67 – гессит из кварцевой жилы.

Халькопирит образует ксеноморфные выделения в кварце, включения и сростки с галенитом и теннантитом. В составе халькопирита отмечена примесь никеля (1.84 мас. %).

Теннантит встречается редко и образует преимущественно сростки с халькопиритом, в составе содержит примеси (мас. %): ртути (3.43), кадмия (1.64), никеля (0.47) и сурьмы (1.65).

Айкинит образует сростки с галенитом, гесситом и петцитом. Соотношение элементов в составе несколько варьирует. В составе некоторых выделений айкинита присутствует примесь (мас. %) железа (4.07) и никеля (0.76).

Полидимит встречен в прото-лочках в виде единичных зерен с тонкой

ламеллярной решеткой миллерита. В составе полидимита наблюдается незначительная примесь (мас. %) кобальта (7,59) и железа (0,9).

Миллерит тоже содержит примесь (мас. %) кобальта (1,57) и железа (0,23).

Петцит и гессит образуют включения и сростки с галенитом, часто содержат включения золота. В составе гессита отмечается дефицит серебра, приближающий его к штюциту. В петците содержания золота и серебра незначительно варьируют (табл. 3).

Золото в кварцевых жилах встречается в свободном виде, образует сростки с галенитом и включения в теллуридах. Форма включений дендритовидная, вытянутая с неровными краями. Свободное золото

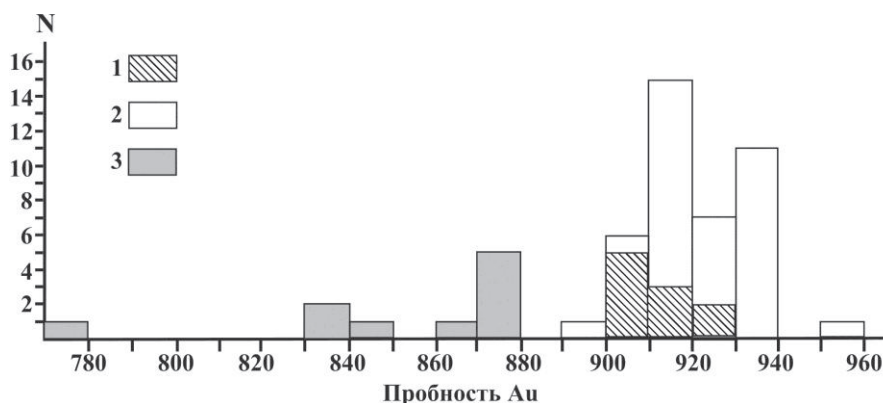


Рис. 3. Гистограмма пробыности золота: 1 – в лиственитах, 2 – в березитах, 3 – в кварцевой жиле

имеет форму пластинок, листочков, дендритов, комков. Размер свободного золота варьирует от 30 мкм до 0.5 мм. Размер зерен золота из включений и сростков с галенитом составляет 10–60 мкм. Включения золота в теллуридах (см. рис. 2) преимущественно тонкие (около 5 мкм), в дендритах и просечках достигают 30 мкм. В составе золота присутствует значительная примесь серебра (см. табл. 2, рис. 3).

Обсуждение. На Ганеевском

месторождении основными метасоматическими процессами являются лиственизация и березитизация пород, сопровождающиеся кристаллизацией кварцевых жил при отсутствии гранитоидов.

Лиственинты могут образовываться по породам ультраосновного и основного составов. Их химический состав сильно варьирует. Лиственинты по ультраосновным породам характеризуются низким содержанием

Таблица 3

Состав рудных минералов кварцевой жилы

Номер лабор. пробы	Содержание элементов (масс. %)												Сум- ма
	S	Fe	Ni	Co	Cu	Ag	Pb	Bi	As	Cd	Sb	Hg	
	Минерал												
Название			Формула										
12203q	14,3	0,2				2,31	79,04	4,14					100
	галенит			$(Pb_{0.85}Ag_{0.05}Bi_{0.04}Fe_{0.01})_{0.95}S$									
12203k	14					1,99	79,99	4,04					100
	галенит			$(Pb_{0.89}Ag_{0.04}Bi_{0.04})_{0.97}S$									
12203j	14,1					1,93	79,92	4,09					100
	галенит			$(Pb_{0.88}Ag_{0.04}Bi_{0.04})_{0.96}S$									
12203g	13,8					1,66	80,36	4,22					100
	галенит			$(Pb_{0.90}Bi_{0.05}Ag_{0.04})_{0.99}S$									
12203c	13,7					2,03	79,2	5,08					100
	галенит			$(Pb_{0.89}Bi_{0.06}Ag_{0.04})_{0.99}S$									
12203y	36,3	28,97	1,84		32,94								100
	халькопирит			$Cu_{0.92}(Fe_{0.22}Ni_{0.06})_{0.98}S_2$									
12203x	27,3	3,23	0,47		43,46				18,78	1,64	1,65	3,43	100
	теннантит			$(Cu_{8.43}Fe_{0.88}Ni_{0.12}Cd_{0.22}Hg_{0.26})_{9.91}(As_{3.82}Sb_{0.21})_{4.03}S_{13}$									
12203c'	16,8	0,76			10,32		34,05	38,1					100
	айкинит			$(Cu_{0.93}Fe_{0.08})_{1.01}Pb_{0.94}Bi_{1.05}S_3$									
12203r	16				10,84		35,99	37,2					100
	айкинит			$Cu_{1.02}Pb_{1.04}Bi_{1.07}S_3$									
12203u	17		4,07		10,38		34,37	34,2					100
	айкинит			$Cu_{0.92}Pb_{0.94}Bi_{0.92}Ni_{0.39}S_3$									
12203m	15,8				11,13		36,82	36,2					100
	айкинит			$Cu_{1.06}Pb_{1.08}Bi_{1.05}S_3$									
12203l	16,2				10,61		34,86	38,3					100
	айкинит			$Cu_{0.99}Pb_{1.00}Bi_{1.09}S_3$									
12203e	16,1				10,61		35,29	38					100
	айкинит			$Cu_{1.00}Pb_{1.02}Bi_{1.09}S_3$									
12203f	15,9				10,91		37,19	36					100
	айкинит			$Cu_{1.04}Pb_{1.08}Bi_{1.04}S_3$									
12203s	42,3	0,9	49,2	7,59									100
	полидимит			$Ni(Ni_{1.54}Co_{0.39}Fe_{0.05})_{2.98}S_4$									
12203t	37	0,23	61,2	1,57									100
	миллерит			$(Ni_{0.91}Co_{0.02}Fe)_{0.93}S$									

Примечание: анализы приведены к 100 %. Формулы рассчитаны: 1–5 и 16 – на S₁, 6 – на S₂, 7 – на S₁₃, 8–14 – на S₃, 15 – на S₄. СЭМ VEGA3 TESCAN, аналитик И.А. Блинов.

SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, высоким содержанием MgO и CO₂ и наличием реперных элементов, таких как Cr, Ni, Co. Листвениты по основным породам имеют повышенные содержания SiO₂, TiO₂, Al₂O₃ и существенно пониженные содержания MgO и CO₂, для них характерно также присутствие (до 0,12 мас. %) CuO [3].

Березиты образуются преимущественно по породам кислого и среднего составов при воздействии на них флюидов, порожденных гранитоидным магматизмом. Известны аналоги этих пород, образовавшиеся по породам основного состава при процессе кислотного метасоматоза [4]. Березиты, образованные по кислым породам, имеют высокие содержания SiO₂, Al₂O₃, K₂O и низкие – TiO₂ и CO₂ [7]. В березитах, являющихся результатом преобразования пород среднего и основного составов, наблюдается существенное снижение SiO₂ и резкое возрастание отношения Al₂O₃ к K₂O [4].

Химический состав лиственитов Ганеевского месторождения (пониженное содержание SiO₂ и Al₂O₃ и повышенное содержание CO₂), наличие магнезиальных карбонатов (доломит, магнезит) и талька, присутствие Cr, Ni и Co свидетельствует о том, что листвениты образовались по ультраосновным породам. Состав березитов, по сравнению с березитами, образованными по кислым породам, характеризуется невысоким содержанием SiO₂ и K₂O, достаточно высоким – CO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, наличием Cu (см. табл. 1). По химическому составу березиты Ганеевского месторождения сопоставимы с метабазальтами и хлоритовыми сланцами, образованными по вулканогенно-осадочным породам.

В образовании лиственитов и березитов наряду с углекислотным метасоматозом большую роль играет калиевый [10], в некоторых случаях калиево-натриевый процесс [3].

Для оценки изменения химического состава пород в процессе метасоматоза на Ганеевском месторождении составы лиственитов и березитов были сопоставлены с неизменными магматическими породами. В качестве «исходных» пород использовался средний состав гипербазита Учалинского района [6, 8] и наименее измененного базальта из рудовмещающей толщи (см. табл. 1, 1).

При лиственитизации ультраосновных пород, как правило, происходит вынос Si, в некоторых случаях Al, Fe, Ni, Mg, и привнос Ca, K, S, Ti в большинстве случаев инертен. Al, Fe, Cr, Mn в некоторых случаях привносятся, связываясь в фуксите и пирите [4].

При лиственитизации пород Ганеевского месторождения происходит вынос Si и Mg, интенсивный привнос CO₂, также Ca, Al, Na, K. Ti и Mn в миграции практически не участвовали. Наблюдается также восстановление Fe³⁺ → Fe²⁺ (рис. 4). Это отражается в минеральном составе лиственитов, в которых наряду с магнезиальными и железистыми карбонатами присутствуют фуксит и альбит, и подтверждает предположение об образовании лиственитов по ультраосновным породам.

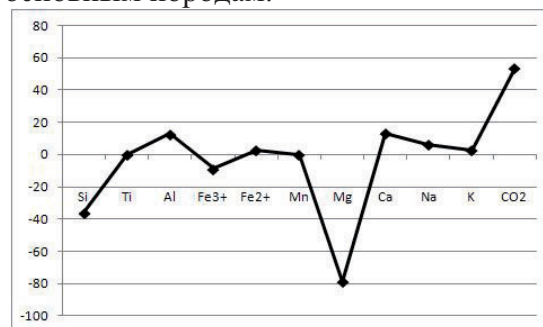


Рис. 4. Привнос (положительный баланс) и вынос (отрицательный баланс) петрогенных элементов при лиственитизации

При березитизации пород кислого состава отмечается интенсивный вынос оснований и привнос кремнезема, воды, серы и углекислоты. Фиксируется вынос Ca, Mg, Fe, Na. В ходе преобразования пород среднего и

основного составов наблюдается вынос кремнезема, происходит перераспределение Ca, Mg, Fe, характерен привнос углекислоты и накопление K и Al [4].

При березитизации пород Ганеевского месторождения выносятся Si, частично выносятся, частично перераспределяется Ca, происходит перераспределение Mg, наблюдается восстановление $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$, привнос CO_2 , Na и резкое возрастание отношения Al к K, при этом Ti и Mn практически не мигрируют (рис. 5). В минеральном составе происходят изменения: альбит преобладает над кварцем и карбонатами, отмечается наличие слюд, представленных серицитом и редко – парагонитом.

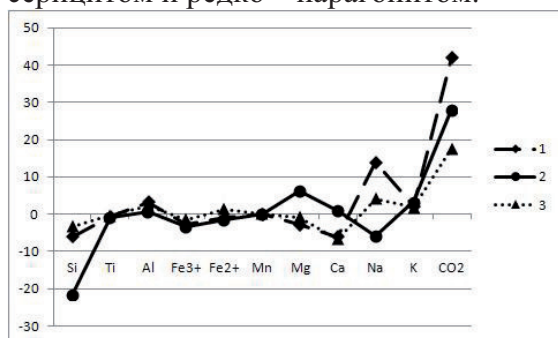


Рис. 5. Графики привноса-выноса петрогенных элементов:

1 – при березитизации вулканитов основного состава; 2 – при изменении вулканитов, сохранивших реликты структуры; 3 – при образовании кварц-хлоритовых сланцев по вулканогенно-обломочным породам

Таким образом, поведение основных элементов при лиственитизации и березитизации на Ганеевском месторождении сходно. Избыточный кремнезем отлагается в виде кварцевых жил.

Классическим примером формирования лиственитов и березитов служит Березовское месторождение, где образование этих пород считается результатом единого метасоматического процесса, обусловленного воздействием на химически разнородные породы растворов, связанных с гранитоидами [7]. Однако в Учалинском районе существуют месторождения в лиственитах с золотоносными кварцевыми жилами, такие как Алтын-

Ташское [5], Октябрьское (К.А. Новоселов и др., 2010), где в геологическом строении гранитоиды отсутствуют, а листвениты также являются золотоносными.

Учитывая отсутствие возможности напрямую связать процесс метасоматоза на Ганеевском месторождении с магматическим источником вещества, можно рассмотреть вероятность участия вулканогенно-осадочных толщ карамалыташской свиты в его формировании. Карамалыташская свита несет основное оруденение колчеданных месторождений, образованных при гидротермально-осадочных процессах, синхронных с вулканизмом. Примером служат крупные по запасам и содержанию рудных компонентов (Cu, Zn и Au) месторождения (Учалинское, Новоучалинское), проявления золота Курпалинской рудной зоны (Контрольное и др.), по генезису близкие к колчеданному семейству [8]. Месторождения залегают в неконтрастной риолит-базальтовой серии пород, характеризуются проявлением бескарбонатных серицит-кварцевых метасоматитов по кислым породам, главными рудными минералами являются пирит и халькопирит, подчиненное значение имеют теннантит, сфалерит, галенит, золото, основные нерудные минералы – кварц, серицит, барит, эпидот. Состав рудоносных флюидов существенно хлоридно-натриевой. По сравнению с Ганеевским, эти месторождения отличаются бескарбонатным характером рудоносных метасоматитов, более богатым составом сульфидов меди, цинка и свинца, распространением тонкого и невидимого золота в сульфидах, более низкой пробностью золота [8].

Учитывая наличие подобных ассоциаций, мы можем предположить, что активное воздействие высококарбонатных флюидов на сингенетичную минерализацию вулканогенно-осадоч-

ных комплексов, резко отличающихся от сульфатно-хлоридных растворов, участвовавших в колчеданообразовании, приводит к разложению сульфидов, перераспределению элементов и очищению золота [11]. В результате возникает другой тип рудоносных метасоматитов (карбонатный), объединяется видовой состав сульфидов, уменьшается распространенность сульфидов цинка и меди, увеличивается пробность золота, появляются теллуриды и специфические сульфосоли Вi в кварцевых жилах.

Выводы. Таким образом, на Ганеевском месторождении золота рудные тела приурочены к карбонат-содержащим метасоматически измененным вулканогенно-осадочным породам и мелким тектоническим пластинам серпентинитов. Вмещающими породами являются вулканиты основного состава и кварц-хлоритовые метасоматиты, образованные по вулканогенно-обломочным породам основного состава. Рудоносными являются листвениты, березиты и кварцевые жилы. Исходными породами для лиственитов и березитов служили серпентиниты и вулканиты основного состава соответственно. Главные рудные минералы лиственитов и березитов – пирит и гетит, второстепенные – халькопирит, редкие – золото, галенит, сфалерит, пирротин, блеклая руда, магнетит, гематит. Главный рудный минерал кварцевых жил – галенит, второстепенный – халькопирит, редкие – теннантит, айкинит, полидимит, миллерит, петцит, гессит, самородное золото. Золото по минеральной ассоциации, составу и характеру выделений разделяется на два основных типа:

- более высокопробное в виде сростков и включений в пирите и образованном по нему гетите из березитов и лиственитов,
- сравнительно низкопробное с большим содержанием серебра,

свободное, ассоциирующее с галенитом и минералами Вi, Те и Аg в кварцевых жилах.

Формирование Ганеевского месторождения связано с процессом углекислотного калиево-натрового метасоматоза с привнесом CO_2 , Na, перераспределением К, высвобождением SiO_2 и его отложением в зонах декомпрессии в форме кварцевых жил.

Учитывая отсутствие гранитоидов в непосредственной близости к Ганеевскому месторождению, наличие сингенетической золотоносной минерализации в вулканогенных толщах карамалыташской свиты, можно предположить в качестве источника рудных компонентов золотосодержащие сульфидные ассоциации, возникшие в результате вулканогенных гидротермально-осадочных процессов.

Авторы выражают искреннюю благодарность И.Б. Фадиной и Г.Н. Дрокиной (ЗАО НПФ БЗДК) за предоставленную возможность работы в карьерах месторождений.

Библиографический список

1. Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарев А.А. Формулы минералов. Термодинамический анализ в минералогии и геохимии. Практическое руководство и справочник. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. университета, 1995. 260 с.
2. Галиуллин И. Б. Геохимическая зональность Ганеевского месторождения золота на Буйдинской площади (Учалинский район, Республика Башкортостан) // Металлогения древних и современных океанов – 2010. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. С. 163–166.
3. Кашкай М.А., Аллахвердиев Ш.И. Листвениты, их генезис и классификация. Баку: АН АзССР, 1965. 143 с.
4. Метасоматизм и метасоматические породы / В.А. Жариков, В.Л. Русинов, А.А. Маракушев и др. М.: Научный мир, 1998. 490 с.

5. Минералы золота и серебра Мечниковского и Алтын-Ташского золоторудных месторождений в лиственитах, Южный Урал / И.Ю. Мелекесцева, В.А. Котляров, В.В. Зайков и др.

// Минералогия Урала – 2011. Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 111–115.

6. Русин И.А., Ферштатер Г.Б., Вилисов В.А. Прослой амфиболсодержащих пород в лерцолитах Миндякского массива (Южный Урал) // Ежегодник, 1999. С. 97–104.

7. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГГА, 2001. 622 с.

8. Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Косарев А.М. Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат, 2001. 318 с.

9. Dube B., Gosselin P. Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits //

Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007. No. 5. P. 49–73.

10. Halls C., Zhao R. Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Cregganbaun, Co. Mayo, Republic of Ireland // Mineral. Deposita 30, 1995. P. 303–313.

11. Harlov D.E. and Austrheim H., Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock, Lecture Notes in Earth System Sciences. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2013. 60 p.

12. Prokin V.A., Bushlaev F.P. Massive copper-zinc sulfide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 14. 1999. P. 1–69.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
профессор Иркутского государственного технического университета Г.Д. Мальцева