

УДК [546.92+553.9]:551.761(235.47)

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-892-913

Au-Ag-Pd-Pt МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ, АССОЦИИРУЮЩИХ С ТРИАСОВЫМИ УГЛЕРОДИСТЫМИ СИЛИЦИТАМИ СИХОТЭ-АЛИНЯ

© 2018 г. В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159,
e-mail: vkazachenko@mail.ru

Поступила в редакцию 12.09.2017 г., принята к печати 22.03.2018 г.

Предмет исследований. Статья посвящена изучению золото-серебро-палладий-платиновой минерализации в осадочных породах, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами Таухинского и Самаркинского террейнов Сихотэ-Алиня. *Материалы и методы.* Исследовались породы Широкопаднинской, Высокогорской и Горной площадей. Отбор проб для аналитических исследований производился штупным способом. Для оценки содержания благородных металлов были использованы пробирный и атомно-абсорбционный методы. Анализы минералов выполнены на рентгеноспектральных микроанализаторах JXA-5A и JXA8100. Для обеспечения электропроводимости применялось графитовое напыление. *Результаты.* Золото-серебро-палладий-платиновая минерализация в кремнистых и глинисто-кремнистых породах, а также в песчаниках, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня, приурочена к системам минерализованных трещин и по многим особенностям аналогична благороднометалльному оруденению черносланцевых формаций. Она представлена самородными формами, неупорядоченными твердыми растворами и интерметаллическими соединениями различных металлов. Самородные элементы и интерметаллические соединения нередко ассоциируют с органическим веществом, что свидетельствует об активном участии углерода и, вероятно, водорода, обеспечивавших высоко- и ультравосстановительный характер процессов минералообразования. *Выводы.* Углеродистые кремнисто-глинистые и кремнистые (включая яшмы) породы, рассеченные системами минерализованных трещин, в составе Таухинского и Самаркинского террейнов, ассоциирующие с метаморфизованными триасовыми углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня, обогащены Au, Ag, Pt и Pd, и содержат разнообразные минералы благородных и других металлов. Присутствие в системах минерализованных трещин минеральных форм различных предельно восстановленных металлов обусловлено влиянием органического вещества триасовых углеродистых силицитов.

Ключевые слова: благородные металлы, черносланцевые формации, триас, Сихотэ-Алинь

Au-Ag-Pd-Pt MINERALIZATION IN SEDIMENTARY ROCKS ASSOCIATED WITH TRIASSIC CARBONACEOUS SILICITES OF SIKHOTE-ALIN

Valentin T. Kazachenko, Elena V. Perevznikova

Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 Vladivostok 100th Anniversary, Vladivostok 690022, Russia, e-mail: vkazachenko@mail.ru

Received 12.09.2017, accepted 22.03.2018

Subject. The paper is devoted to the study of the gold-silver-palladium-platinum mineralization of the streaky systems in the sedimentary rocks associated within the Triassic carbonaceous silicites of the Taukhinsky and Samarkinsky terranes of the Sikhote-Alin. *Materials and methods.* In the process of investigations we studied the metamorphosed carbonaceous siliceous-clay rocks and systems of the mineralized fractures in the Triassic siliceous-clay and siliceous (including jaspers) rocks of Shirokopadninskaya, Vysokogorskaya and Gornaya areas, as well as in the sandstones (unclarified age) of Gornaya area. The samples for the analytical study were taken with the lump way. To estimate the content of precious metals in the rocks, cut by the systems of the mineralized fractures, we used the fire assay and atomic-absorption methods. The analyses of minerals (in polished sections) have been done using the JXA-5A and JXA8100 microanalysers. *Results.* The gold-silver-palladium-platinum mineralization in the siliceous and clay-siliceous rocks, as well as in the sandstones is restricted to the systems of the mineralized fractures and by many features are analogous to the precious-metal mineralization of the black-shale formations. It is represented by native forms, disordered solid solutions, and intermetallic compounds of

Для цитирования: Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В. (2018) Au-Ag-Pd-Pt минерализация в осадочных породах, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня. *Литосфера*, **18**(6), 892-913. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-892-913

For citation: Kazachenko V.T., Perevznikova E.V. (2018) Au-Ag-Pd-Pt mineralization in sedimentary rocks associated with Triassic carbonaceous silicites of Sikhote-Alin. *Litosfera*, **18**(6), 892-913. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-892-913

different metals. The specificity of the Au-Ag-Pd-Pt mineralization is a wide distribution of copper gold, Ni-, Cu-, and Pb-bearing gold, and Zn-bearing platinum. Native elements and intermetallic compounds, including those of precious metals, are not rarely associated with the organic matter testifying to the active participation of carbon and, probably, hydrogen that provided the high- and ultra-reduction character of the processes of mineral formation. *Conclusions.* The presence of the mineral forms of different maximum reduced metals is caused by the influence of the organic matter of the Triassic carbonaceous silicites. This consisted in the removal of the most volatile components, and first of all the poorly bound water and hydrocarbons from the carbonaceous rocks through the contact metamorphism related with the injection of the granitoid intrusions of Cretaceous plutonic and volcanoplutonic belts.

Keywords: *precious metals, black shale formations, Triassic, Sikhote-Alin*

ВВЕДЕНИЕ

Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня сложена кремнями, кремневыми аргиллитами, аргиллитами и алевроаргиллитами [Волохин и др., 2003]. В некоторых районах в ее составе присутствуют известняки, мергели, глинистые и кремнистые известняки, а также микститы. В Сихотэ-Алине известны лишь фрагменты триасовой кремневой формации в составе меланжевых комплексов юрских (Самаркинский и Наданьхада-Бикинский),

а также меловой (Таухинский террейн) аккреционных призм (рис. 1). Особенностью формации является наличие яшм и углеродистых разностей кремнистых и кремнисто-глинистых пород, приуроченных к определенным стратиграфическим горизонтам. Они сформировались в узкие интервалы времени и поэтому являются маркирующими отложениями [Волохин и др., 2003]. Нижняя часть формации сложена “глинисто-кремнистой” толщей [Казаченко, Сапин, 1990]. Она обогащена прослоями углеродистых разностей пород. Интервал макси-

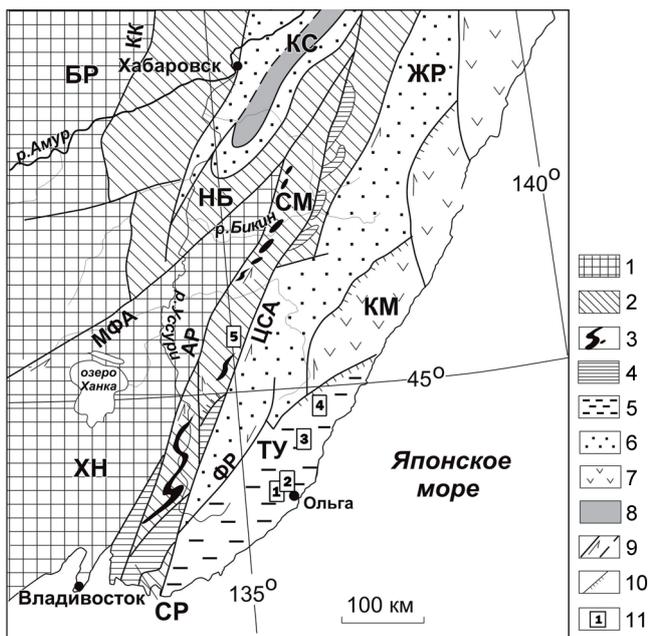


Рис. 1. Положение изученных объектов в Сихотэ-Алине (тектоническая основа по [Геодинамика..., 2006] с небольшими изменениями).

1 – массивы: ХН – Ханкайский, БР – Буреинский; 2 – юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): СМ – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский; 3 – калиновские габброиды (девон?); 4 – Окраинско-Сергеевский террейн (СР) и его фрагменты, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постааккреционных преобразований; 5, 6 – раннемеловые террейны-фрагменты: 5 – неокомской аккреционной призмы (ТУ – Таухинский), 6 – приконтинентального спредингового турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевско-

Амурский); 7 – баррем-альбской островодужной системы (КМ – Кемский); 8 – альбской аккреционной призмы (КС – Киселевско-Маноминский); 9 – левые сдвиги, в том числе: КК – Куканский, АР – Арсеньевский, МФА – Мишань-Фушуньский (Алчанский), ЦСА – Центральный Сихотэ-Алинский, ФР – Фурмановский; 10 – надвиги; 11 – изученные площади с выходами триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадков и месторождения: 1 – Широкопаднинская площадь и Белогорское скарново-магнетитовое месторождение, 2 – Мокрушинская площадь, 3 – Высокогорская площадь, 4 – Садовая площадь и месторождения Дальнегорской группы (скарновополиметаллические и боросиликатное), 5 – Горная площадь.

Fig 1. Position of the studied objects in the Sikhote-Alin. Tectonic base after [Geodinamika..., 2006] with little changes.

1 – massifs: ХН – Khankaisky, БР – Bureinsky; 2 – Jurassic terranes (fragments of accretionary prisms): СМ – Samarkinsky, НБ – Nadankhada-Bikinsky; 3 – Kalinovsky gabbroids (Devonian?); 4 – Okrainsky-Sergeevsky terrane (СР) and its fragments included into the structures of the Jurassic accretionary prism and undergone together with them the cycle of the syn- and post-accretionary transformations; 5, 6 – the Early Cretaceous terranes – fragments of: 5 – the Neocomian accretionary prism (ТУ – Taukhinsky); 6 – the near-continental spreading turbidite basin (ЖР – Zhuravlevsky-Amursky); 7 – the Barremian-Albian island-arc system (КМ – Kemsy); 8 – the Albian accretionary prism (КС – Kiselevsky-Manominsky); 9 – left-lateral faults including: КК – Kukansky, АР – Arsenyevsky, МФА – Mishan-Fushun (Alchansky), ЦСА – Central Sikhote-Alinsky, ФР – Furmanovsky; 10 – thrusts; 11 – the studied areas with the exposures of the Triassic contact-metamorphosed metal-bearing sediments and deposits: 1 – Shirokopadninskaya area and Belogorskoe skarn-magnetite deposit, 2 – Mokrushinskaya area, 3 – Vysokogorskaya area, 4 – Sadovaya area and deposits of the Dalnegorsk group (skarn-polymetal and boron-silicate), 5 – Gornaya area.

мального развития таких прослоев выделен в качестве “фтанитовой” пачки [Волохин и др., 2003]. Возраст “глинисто-кремнистой” толщи отвечает верхам нижнего триаса (оленок) – среднему триасу (средний анизий) [Волохин и др., 2003]. Она перекрыта “кремневой” толщиной, сложенной светлыми плитчатыми кремнями. В основании толщи присутствует горизонт яшм мощностью более 3 м. Уровень их появления – верхний анизий-ладинский ярус [Волохин и др., 2003]. Вышележащие кремни относятся к карнию и норю. Обе толщи легко узнаются в Таухинском и Самаркинском террейнах Сихотэ-Алиня по литологии и маркирующим горизонтам. В основании “кремневой” толщи присутствуют марганцево-силикатные породы и силикатно-магнетитовые руды, которые вместе с яшмами слагают единую пачку или фашиально замещающие друг друга линзы и пласты. Марганцево-силикатные породы и силикатно-магнетитовые руды обогащены Au, Ag, Pt и Pd. Они содержат разнообразные рудные минералы, включая самородные формы и твердые растворы этих и многих других металлов [Казаченко и др., 2008], образовавшиеся в процессе метаморфизма при внедрении гранитоидных интрузий Хунгари-Татибинского плутонического (ранний мел) и Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического (поздний мел) поясов как за счет вещества протолитов (триасовых металлоносных осадков), так и вследствие привноса вещества триасовых углеродистых силицитов флюидами с высоко- и ультравосстановительными способностями [Перевозникова, 2010].

С триасовыми углеродистыми силицитами в Малиновском (Самаркинский), Ольгинском и Дальнегорском (Таухинский террейн) рудных районах пространственно ассоциируют крупные объемы осадочных пород, содержащие системы минерализованных трещин (прожилков). Они отличаются аномально высокой концентрацией благородных и других металлов и присутствием собственных минералов Au, Ag, Pt и Pd. Целью работы являлось выяснение особенностей минералогии и генезиса благороднометалльной минерализации таких систем.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Опробование производилось штучным методом с интервалом 0.3–0.5 м в зависимости от интенсивности прожилкования. Размер штучков составлял примерно 10 × 8 × 8 см. Всего отобрано и изучено 25 проб глинисто-кремнистых и кремнистых (включая яшмы) пород.

Для оценки содержания благородных металлов в породах, рассеченных системами минерализованных трещин, были использованы пробирный (с атомно-абсорбционным окончанием) и атомно-

абсорбционный (с кислотным разложением проб и последующим восстановлением благородных металлов SnCl₂ и концентрированием на элементарном теллуре) методы. Пробоподготовка для аналитических исследований проводилась по стандартной методике с использованием дробилок и истирателей. Перед дроблением проб были отобраны образцы для изготовления шлифов, аншлифов и (в некоторых случаях) для протолочек. После дробления и квартования материал пробы доизмельчался или истирался до состояния пудры (в зависимости от метода анализа). Анализы пробирным методом выполнены в лаборатории анализа благородных металлов ДВГИ ДВО РАН, атомно-абсорбционным (использовалось кислотное разложение проб, измерения проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6800 в графитовой кювете) – в лабораториях аналитической химии и анализа благородных металлов ДВГИ ДВО РАН. При пробирном анализе навески сплавлялись с глетом, кальцинированной содой и крахмалом, а для уменьшения вязкости расплавов в шихту добавлялось необходимое количество буры. Продуктами восстановительной плавки являлись верблей и стекловатая масса (далее стекло), которая не использовалась в последующих операциях при пробирном анализе. Королек получали в результате плавления верблей в окислительных условиях. Разложение образцов для атомно-абсорбционного анализа производилось в стекло-углеродных тиглях смесью кислот HCl + HF, а затем HCl + HNO₃ (3/1). Нерастворимый осадок доплавляли с перекисью натрия. Результаты атомно-абсорбционного анализа частично были заверены путем измерения концентраций благородных металлов (в аликвотах тех же растворов) рентгено-флуоресцентным методом в ИХ ДВГИ ДВО РАН. Измерения проводились на рентгенофлуоресцентном анализаторе TXRF 8030C (FEI Company, Германия) с использованием подложки для нанесения жидкой фазы.

Анализы минералов (в аншлифах) выполнены в ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральных микроанализаторах JXA-5A и JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе 1 × 10⁻⁸ А. Для обеспечения электропроводности применялось графитовое напыление. В качестве стандартов использованы чистые металлы, зерна минералов (проанализированные другими методами), а также набор эталонов, поставляемых фирмой Agar scientific. Содержания породообразующих элементов, к которым отнесены O, Si, Mg, Al, K, Na, Ca, Fe, Mn и Ti, присутствующие в анализах, из-за малой размерности зерен минералов благородных металлов при расчете формул исключались, оставшиеся нормировались к 100%.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе исследований были изучены метаморфизованные углеродистые кремнисто-глинистые породы “глинисто-кремнистой” толщи и системы минерализованных трещин в кремнисто-глинистых и кремнистых (включая яшмы) породах “глинисто-кремнистой” и “кремневой” толщ Широкопаднинской (Ольгинский рудный район), Высокогорской (Кавалеровский) и Горной (Малиновский) площадей, а также в песчаниках Горной площади. Метаморфизованные углеродистые кремнисто-глинистые породы – микрозернистые, темно-серой окраски, массивной текстуры. Расчлененные системами минерализованных трещин кремнисто-глинистые породы характеризуются серой или темно-серой окраской, микрозернистой структурой и массивной текстурой. Прожилки со-

провожаются маломощными зонками гидротермальных изменений. Глинисто-кремнистые и кремнистые породы с системами минерализованных трещин – микрозернистые, темно-серые, серые или светло-серые, массивные. Яшмы имеют коричневую или красную окраску, микрозернистую структуру и массивную текстуру. Вблизи минерализованных трещин коричневая или красная окраска сменяется на зеленовато-светло-серую. Песчаники – серые, среднезернистые, массивные породы. Они содержат системы минерализованных трещин, состоящие из прожилков, вдоль которых порода изменена и содержит гнезда диаметром до нескольких сантиметров, выполненные экзогенными гидроокислами Mn и, в меньшей мере, Fe.

Атомно-абсорбционным методом были выявлены относительно высокие содержания благородных металлов в отдельных пробах (табл. 1), одна-

Таблица 1. Содержание Pt и Au в породах с системами прожилков по результатам анализа атомно-абсорбционным и рентгенофлуоресцентными методами, г/т

Table 1. Pt and Au content in rocks with the streak systems from the results of analysis using the atomic-absorption and X-ray-fluorescence methods, ppm

№ п. п.	Проба	Партия 1		Партия 1-1			Породы, вмещающие системы прожилков	
		Pt, АА	Au, АА	Pt, АА	Au, АА	Pt, РФ		
1*	Эв-01-13	1.80	0.25 (3.06)	4.54	0.04	3.62	Глинисто-кремнистые	
2*	Эв-01-35	2.20	0.10	3.87	0.12	3.02		
3*	Эв-01-39	0.89	0.05	1.67	0.07	1.50		
4	Эк-06-24	1.98	0.08	2.51	0.03	2.90	Яшмы	
5	Вс-06-3(н)	1.62	0.07	1.56, 1.24	0.05, 0.47	1.44	Яшмы с пиролюзитом	
6	Вс-06-5(1)	2.57	0.09	1.91	0.04	1.60		
7	Вс-06-5(н)	1.99	0.07	1.45	0.03			
8	Вс-06-7	0.80, 1.00	0.46, 0.01	1.27	0.02			
Партия 2								
9	ВС-06-5(1)	4.18	0.06				Яшмы с пиролюзитом	
10	Ш-05-5	0.92, 0.12	0.18, 1.18					
11	Ш-06-13	2.14	0.09					
№ п. п.	Проба	Партия 3						Породы, вмещающие системы прожилков
		Pt, АА	Au, АА	№ п. п.	Проба	Pt, АА	Au, АА	
12	Ш-05-21	0.07	0.04	20	Ш-05-73	0.05	0.04	Яшмы (№ п. п. 12–26)
13	Ш-05-23	0.05	0.03	21	Ш-05-74(1)	0.03	0.03	
14	Ш-05-24	0.07	0.06	22	Ш-05-80	0.04	0.06	
15	Ш-05-25	0.06	0.05	23	Ш-05-90	0.05	0.08	
16	Ш-05-33	0.07	0.05	24	Ш-05-91	0.08	0.03	
17	Ш-05-70	0.07	0.04	25	Ш-80-12	0.04	0.05	
18	Ш-05-71	0.09	0.03	26	Ш-86-93	0.08	0.04	
19	Ш-05-72а	0.05	0.05					

Примечание. АА – определения атомно-абсорбционным, РФ – рентгенофлуоресцентным (в тех же растворах партии 1-1) методами; запятой и пробелом разделены результаты параллельных анализов; в скобках – результаты определения Au пробирным методом.

Площади: 1–4 – Горная; 5–9 – Высокогорская; 10–26 – Широкопаднинская.

*“Глинисто-кремнистая” толща, прочие – “кремневая”. В таблице не приведены 15 анализов с содержанием металлов менее 0.1 г/т.

Note. AA – determinations with atomic-absorption, РФ – X-ray-fluorescence (in the same solution of set 1-1) methods; the semicolon and gap divide the results of the parallel analyses; in brackets – the results of the Au determination with the assaying method.

Areas: 1–4 – Gornaya; 5–9 – Vysokogorskaya; 1–26 – Shirokopadninskaya.

*“Clay-silicic” bed, others – “silicic”.

ко при проведении пробирного анализа Pt и Pd были почти полностью потеряны (определены сотые и тысячные доли г/т), в то время как содержания золота оказались на порядок выше, чем определенные методом ААА (см. табл. 1). Двойная “промывка” расплава Pb и повторные плавки с изменением состава шихты не привели к желаемым результатам. Противоречивость результатов пробирного и атомно-абсорбционного методов вызвали необходимость исследования образцов стекла, полученного при пробирном анализе, с помощью рентгено-спектрального микроанализатора.

Основными элементами стекла являются Si, O, а также Pb, Na и В (из-за добавления в шихту буры и глета), а второстепенными – Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe и, иногда, Cl. Стекло неоднородно, состоит из участков с разным содержанием Pb (рис. 2). Местами оно “насыщено” включениями Ag, Pb или Cd. Присутствуют газовые пузырьки неправильной формы, содержащие зерна (диаметром от 0.1 до нескольких мкм) Ag (иногда с Rh и Te), Au, W, Mo (рис. 3), Cd, Fe, Zn, Cu, Se, твердые растворы Co и W, Cu и Ni, Cu и Sn, Ti и W и др. Удлиненная форма пузырьков, неоднородность стекла и присутствие шариков Pb (диаметром 0.1 мм) свидетельствуют о высокой вязкости расплавов. В стекле, вне связи с газовыми пузырьками, встречаются мелкие зерна платины (рис. 4) и соединения Pt₂Rh (?).

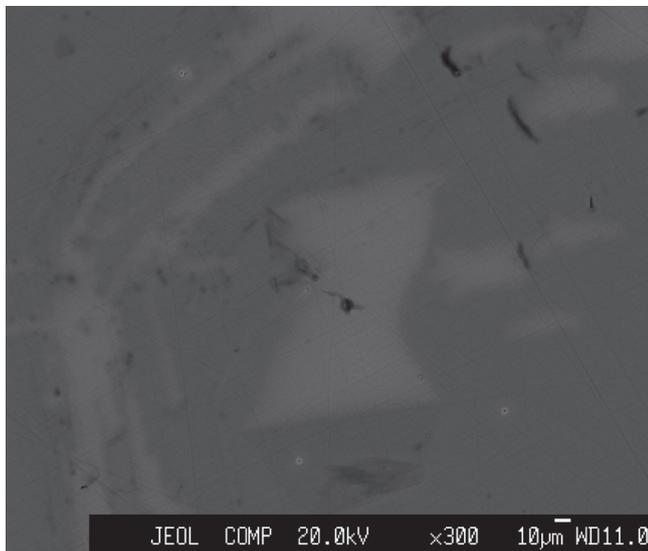


Рис. 2. Неоднородное стекло яшмы Широкопаднинской площади Ольгинского рудного района.

Обр. Ш-05-1. Вид в отраженных электронах. Более светлые участки богаче Pb.

Fig. 2. Non-uniform glass of jasper of Shirokopadninskaya area, Olginsky ore district.

Sample Ш-05-1. View in the reflected electrons. Lighter plots are enriched in Pb.

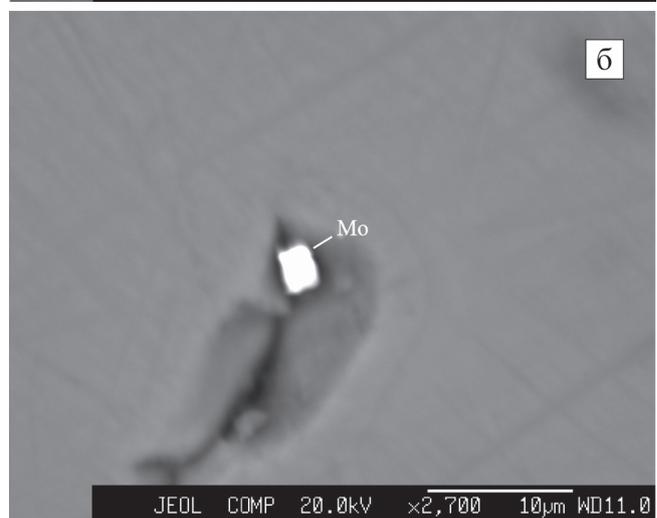


Рис. 3. Зерна вольфрама (а) и молибдена (б) в стекле яшмы Широкопаднинской площади, приуроченные к газовым пузырькам неправильной формы.

Обр. Ш-05-16. Вид в отраженных электронах.

Fig. 3. Grains of tungsten (a) and molybdenum (б) in the jasper glass of Shirokopadninskaya area restricted to gas bubbles of the irregular form.

Sample Ш-05-16. View in the reflected electrons.

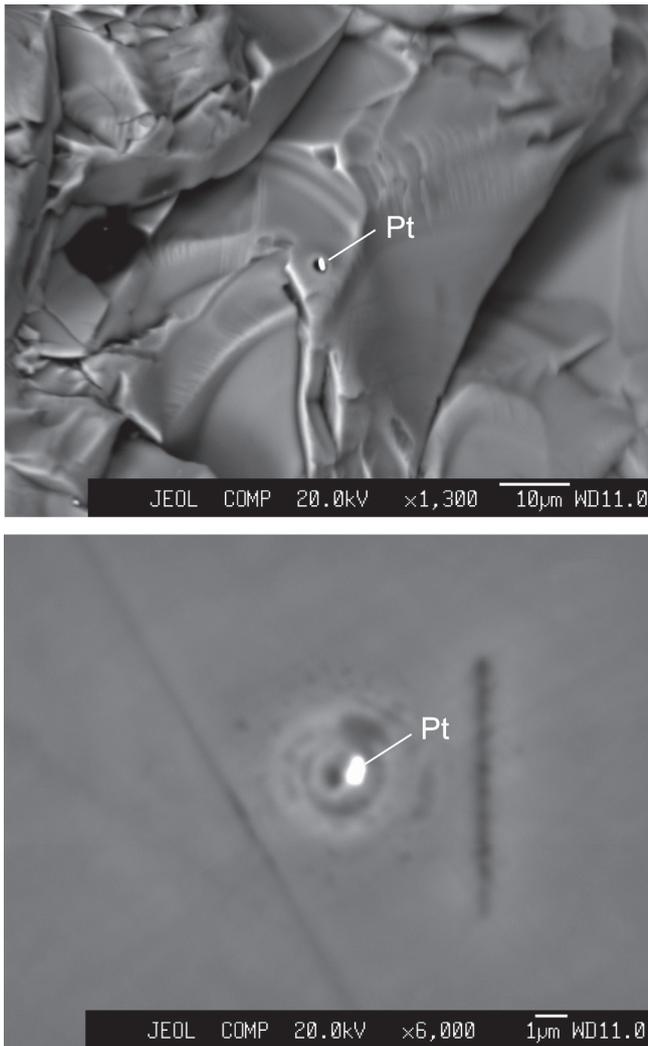


Рис. 4. Зерна платины в стекле яшмы Широкопаднинской площади.

Наблюдаемые на фото кратеры (черное) и “гало” (светло-серое) связаны с воздействием электронного пучка. Обр. Ш-05-16. Вид в отраженных электронах.

Fig. 4. Grains of platinum in the jasper glass of Shirokopadninskaya area.

Craters (black) and “halo” (light-grey), observed at the photos are related with the action of electron beam. Sample Ш-05-16. View in the reflected electrons.

ние Au и Pt в метаморфизованных углеродистых кремнисто-глинистых породах, по данным атомно-абсорбционного метода, достигает 1.55 и 0.42 г/т соответственно (см. табл. 1). Фоновые содержания Pt и Au составляют сотые доли г/т.

Минералогия метаморфизованных углеродистых кремнисто-глинистых пород

Широкопаднинская площадь. Основными минералами этих пород являются калиевый полево-

шпат, биотит, апатит, ильменит и титанит. К второстепенным и редким относятся виллиамитовый твердый раствор $(\text{Co}_{0.12-0.50}\text{Ni}_{0.88-0.50})_{1.00}\text{Sb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$, галенит, пирротин, монацит и другие минералы (табл. 2). Породы содержат графит и включения (диаметром 1–5 мкм) Co-W $(\text{Co}_{0.00-0.60}\text{W}_{1.00-0.40})$ твердого раствора. Встречаются микроскопические зерна самородного Ag. В породах присутствует самородный Au-содержащий (до 11.01 мас. %) Ni. Он образует отдельные кристаллы и их срастания диаметром до 15 мкм (рис. 5а–в). При сканировании на микроанализаторе в характеристическом излучении Au (см. рис. 5в) обнаруживается неравномерное распределение этого элемента. По результатам анализа (табл. 3) после исключения “чужеродных” элементов и нормирования на 100% содержание Au в изученном зерне изменяется от 6.09 $(\text{Ni}_{0.98}\text{Au}_{0.02})$ до 11.30 $(\text{Ni}_{0.96}\text{Au}_{0.04})$ мас. %.

Минералогия систем минерализованных трещин в “глинисто-кремнистой” толще

Горная площадь. Системы минерализованных трещин (прожилков) в “глинисто-кремнистой” и “кремневой” толщах сопровождаются маломощными приконтактовыми зонами гидротермально-измененных пород. Местами такие системы переходят в прожилковые зоны в гидротермально-измененных породах. Мощность прожилков обычно составляет десятые–сотые доли мм – первые мм. Прожилки выполнены кварцем, хлоритом и другими минералами и содержат органическое вещество. Гидротермальные изменения вмещающих пород обычно выражаются в перекристаллизации кремнистого вещества, перераспределении глинистого материала, образовании хлорита, мусковита, биотита и других, в том числе рудных минералов. Измененные породы содержат маломощные прожилки и микроскопические гнезда органического вещества. В прожилках оно образует главным образом “ленты” и содержит до нескольких мас. % S. В гнездах органическое вещество присутствует в виде относительно изометричных или слегка удлиненных (“таблитчатых”) выделений, в которых Cl (первые мас. %) обычно существенно преобладает над S. В прожилках, а также в гнездах с органическим веществом и непосредственно в измененных породах присутствуют мельчайшие зерна минералов благородных металлов, самородных элементов, неупорядоченных твердых растворов металлов и интерметаллических соединений (рис. 6, 7), сульфидов и других рудных минералов, в том числе и экзогенной природы (см. табл. 2). Нередко рудные минералы буквально “пропитывают” такие прожилки и вмещающую их породу. В изображенных на рис. 6 прожилках и вблизи них обнаружены зерна пирротина, антимонита, молибденита, бадделита, сульфида Ag, касситерита, виоларита, латуней

Таблица 2. Породообразующие, редкие и второстепенные минералы изученных пород
Table 2. Rock-forming, rare and secondary minerals of the studied rocks

Минералы	“Кремнисто-глинистая толща”		“Кремневая толща”	Песчаники с системами прожилков (Горная площадь) (см. текст)
	Метаморфизованные углеродистые кремнисто-глинистые породы (Широкопаднинская площадь)	Глинисто-кремнистые породы с системами прожилков (Горная и Высокогорская площади)		
Породообразующие	Полевые шпаты, биотит, ильменит, титанит, апатит, графит	Кварц, хлорит, полевые шпаты, биотит	Кварц, гематит, идиохлорит, биотит, полевые шпаты	Хлорит, мусковит, амфибол, полевые шпаты
Второстепенные и редкие*	Виллиамит, галенит, пирротин, пирит, сфалерит, халькопирит, монацит, барит, Fe, Bi, Co-W и др.	Апатит, ильменит, рутил, барит, пирротин, молибденит, бадделит, касситерит, монацит, ксенотим, циркон, шеелит, вольфрамит, халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, антимонит, станин, пирит, кобальтин, гердорфит, хлоантит-смальтин, (Ni,Co)As ₃ , бравоит, никелин, козалин	Алланит, монацит, ториацит, циркон, рутил, касситерит, шелифит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, кобальтин, гердорфит, никелин, галенит	Рутил, монацит, апатит, циркон, барит, галенит, пирротин, сфалерит, халькопирит, арсенифит, Fe, Fe, Cd, (Ni,Cr) ₃ Fe, (Cu,Ni) ₅ Zn ₃ , твердые растворы W, Co, Ti и др.
Второстепенные и редкие**	Виоларит, пиролюзит, вернадскит, англезит, котунит, бастнезит, крокоит, окись Zn, пироморфит, добреит	Ильземанит, ковеллин, отавит, гарниерит, симонколлеит	Оксиды Mn и Fe, англезит, плюмбогуммит, стибиконит, корунт	Виоларит, (Ce,La,Nd)VO ₄ , колорадоит, ильземанит, халькозин и др.

*Эндогенные.

**Экзогенные.

*Endogenous.

**Exogenous.

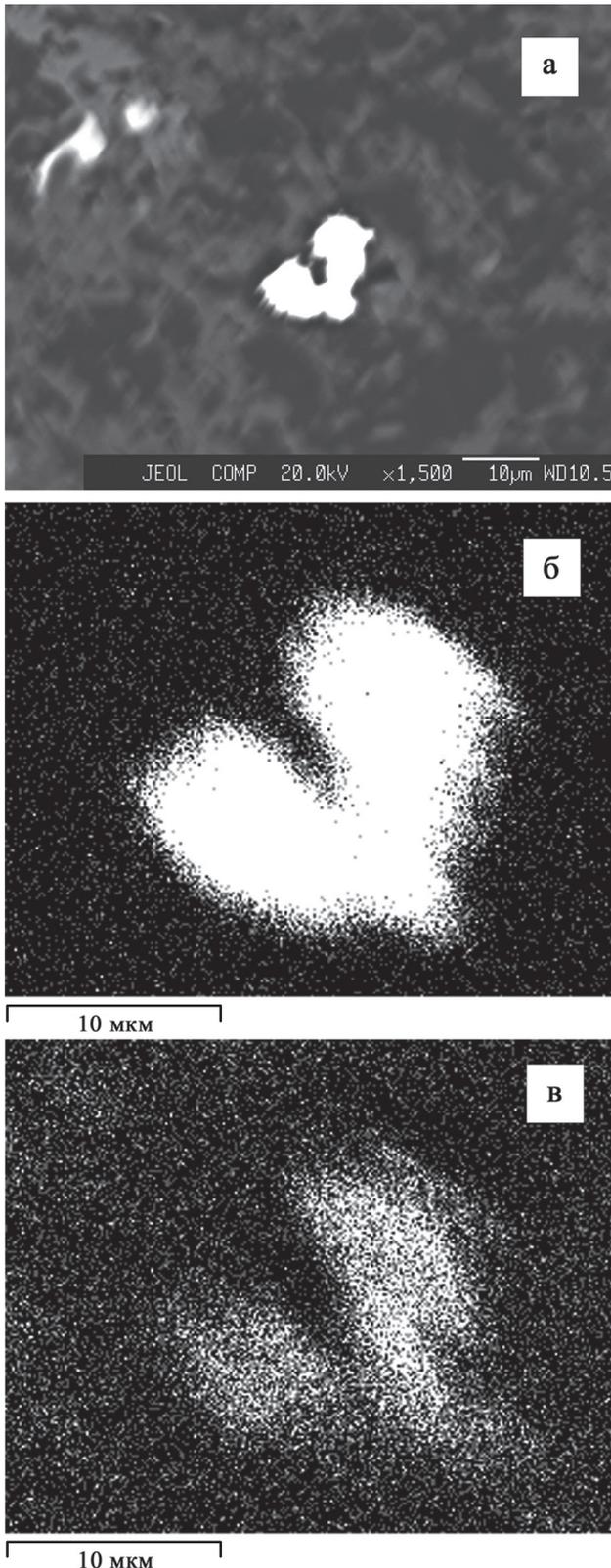


Рис. 5. Золотосодержащий самородный никель в метаморфизованной углеродистой кремнисто-глинистой породе Широкопаднинской площади.

Обр. Ш-05-2. Вид в отраженных электронах (а) и в характеристическом излучении Ni (б) и Au (в).

Fig. 5. Gold-bearing native nickel in the metamorphosed carbonaceous silicic-clay rock of Широкопаднинская area.

Sample Ш-05-2. View in the reflected electrons (a) and in the characteristic radiation of Ni (б) and Au (в).

и бронзы, интерметаллидов Cu, Zn и Ni, самородных W, Zn, Fe, Bi, Sb, Sn, Au-Ag твердого раствора и медистого Au. Вариации состава медистого Au, связанного с системами минерализованных трещин в породах, ассоциированных с углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня, отвечают, за редким исключением, условно выделяемому здесь для удобства пересчета анализов ряда $CuAu-Cu_2Au$ или, в более удобной форме, $Cu_3(Cu,Au)Au_2$. Минералы благородных металлов представлены самородной платиной, самородным золотом без примесей, никелистым золотом, ютенбогардтитом, самородным серебром, пираргиритом, Ag-тетраэдритом и сульфидом Ag (табл. 4). Серебро в количестве нескольких мас. %, кроме того, присутствует в анализах ковеллина и вернадскита. Самородная Pt слагает кристаллы сечением 1×2 мкм или срастания сечением 2–3 мкм из нескольких кристаллов и обычно не содержит заметной примеси других элементов, кроме, возможно, небольшого количества Fe. В редких случаях в ее анализах отмечается немного Zn (см. табл. 4). Самородное Au без примесей образует редкие округлые кристаллы диаметром около 1 мкм. Никелистое Au (см. табл. 4) встречается в виде относительно многочисленных зерен и изометрических кристаллов диаметром до 5 мкм, тяготеющих или приуроченных к участкам и прожилкам, сложенным слоистыми силикатами, охрами Mn и Fe и органическим веществом. Его состав изменяется в небольших пределах. В этом минерале, как следует из результатов пересчета анализов на формулы $(Au_{0.90-0.88}Ni_{0.10-0.12})$, примерно каждый десятый атом Au замещен Ni.

Минералогия систем минерализованных трещин в “кремневой толще”

Системы минерализованных трещин в “кремневой толще” визуально наиболее хорошо фиксируются в яшмах по изменению вдоль трещин коричневой или красной окраски на зеленовато-светло-серую вследствие неравномерного “восстановления” пород. В таких участках гематит и гидрослюда замещены хлоритом или (гораздо реже) хлоритом и биотитом, а вместо рутила или наряду с ним присутствует ильменит или пирофанит. Кроме того, характерны многочисленные кварц-мусковит-хлоритовые прожилки, содержащие так же, как и измененные породы, органическое вещество, самородные элементы, интерметаллические и другие соединения многих (см. табл. 2), в том числе и благородных, металлов.

Таблица 3. Результаты изучения минералов благородных металлов в триасовых силицитах Широкопаднинской площади с помощью рентгеноспектрально-го микроанализатора, мас. %

Table 3. Results of the study of minerals of precious metals in the Triassic silicites of Shirokopadninskaya area using the X-ray-spectral microprobe, wt %

№ п. п.	O	Mg	Al	Si	K	S	Mn	Fe	Cu	Ni	Ag	Au	Сумма	Минерал	Формула
1	1.00			0.40				2.18		91.09		5.91	100.58	Никель	Ni _{0.98} Au _{0.02}
2	0.75							2.37		86.04		10.96	100.12	“—”	Ni _{0.96} Au _{0.04}
3	6.71	0.37	0.48	1.36				0.97					100.44	Серебро	Ag _{1.00}
4	30.80	5.39	5.39	14.92	5.23	6.14		0.34					100.43	Сульфид Ag	Ag _{1.93} S _{1.07}
5	32.31	0.52	0.80	24.94				0.65				38.47	97.69	Золото	Au _{1.00}
6	22.16	1.29	1.29	1.67							78.71		103.83	Серебро	Ag _{1.00}
7	36.77	8.82	8.28	14.11	0.70		0.39	9.80	7.12		1.37	10.13	97.49	“Медистое золото”	Cu _{3.00} (Cu _{0.84} Ag _{0.16}) _{1.00} (Au _{1.74} Ag _{0.26}) _{2.00}
8	36.09	7.59	7.28	11.66	0.62		0.39	7.53	9.05		2.02	15.85	98.08	То же	Cu _{3.00} (Cu _{0.54} Ag _{0.46}) _{1.00} (Au _{1.98} Ag _{0.02}) _{2.00}
9	20.30	1.04	1.06	9.00		8.12		2.75			57.01		100.00	Сульфид Ag	Ag _{2.03} S _{0.97}
10	1.15			1.10						92.89		4.82	100.05	Никель	Co _{0.001} Au _{0.02} Ni _{0.98}
11	34.57		0.45	31.13				0.36		14.02		15.89	96.42	Ni ₃ Au	Ni _{2.99} Au _{1.01}
12	2.72			1.10						67.44		29.43	100.69	Никель	Au _{0.12} Ni _{0.88}
13	15.17			13.43						41.41		29.27	99.28	“—”	Au _{0.17} Ni _{0.83}
14											13.44	86.56	100.00	Золото	Ag _{0.03} Au _{0.97}
15	18.67		0.92	18.12		13.72		2.69	14.63		13.45		99.54	Тетраэдрит	(Cu _{1.327} Ag _{1.18} Fe _{2.78} Zn _{1.19}) _{24.42} Sb _{7.57} S _{24.67} *
16	3.48			3.16							95.80		102.44	Серебро	Ag _{1.00}
17	14.88	0.73	0.64	4.43		10.26					67.87		98.81	Сульфид Ag	Ag _{1.99} S _{1.01}
18	26.95	0.98	5.69	16.74	2.54		0.27	2.76			3.65	40.71	100.29	Золото	Au _{0.86} Ag _{0.14}
19	29.25		1.38	22.42	0.52			0.48				44.55	98.60	То же	Au _{1.00}
20	34.86	0.39	3.62	20.84	0.40			1.07	10.54		2.77	25.53	100.02	“Медистое золото”	Cu _{3.00} (Cu _{0.10} Au _{0.42} Ag _{0.48}) _{1.00} Au _{2.00}
21	28.96	0.56	3.02	20.47	0.34			0.65	12.57		3.26	29.89	99.99	То же	Cu _{3.00} (Cu _{0.12} Au _{0.40} Ag _{0.48}) _{1.00} Au _{2.00}
22	29.54	0.42	1.66	23.10		5.86		1.24			37.51		99.33	Сульфид Ag	Ag _{1.96} S _{1.04}
23	25.76	0.93	2.70	10.33	1.10	7.40		2.35			46.92		97.49	То же	Ag _{1.96} S _{1.04}
24	19.74		0.40	14.60			1.13		14.00		5.60	41.54	100.21	“Медистое золото”	(Cu _{2.45} Zn _{0.55}) _{3.00} (Cu _{0.04} Au _{0.58} Ag _{0.38}) _{1.00} Au _{2.00}
25	6.97			2.98					28.07		7.88	55.75	101.65	То же	Cu _{3.00} (Cu _{0.32} Au _{0.13} Ag _{0.55}) _{1.00} Au _{2.00}
26	29.38			23.86		8.23					26.77		99.66	Пираргирит	Ag _{2.96} Sb _{0.98} S _{3.06}

Примечание. В ан. 4, кроме того, 0.44 мас. % Na; в ан. 9 и 21 – 0.72 и 0.27 Ca соответственно; ан. 10 – 0.09 Co; ан. 15 – 1.35 Zn и 15.99 Sb; ан. 24 – 3.2 Zn; ан. 26 – 1.48 Cr и 9.94 Sb. Породы: 1–4 – метаморфизованная углеродистая кремнисто-глинистая порода “глинисто-кремнистой толщи”; 5–26 – яшмы (5–23) и кремни (24–26) “кремневой толщи”, расщепленные системами минерализованных трещин; 14 – из протолопки. Образцы: 1–4 – Ш-05-2; 5, 6 – Ш-05-16; 7–9 – Ш-05-33; 10–13 – Ш-05-74; 14 – Ш-86-178; 15, 16 – Ш-05-5; 17 – Ш-86-23; 18–22 – Ш-06-13; 23 – Ш-06-8; 24–26 – П-80-8.

*Формула рассчитана на 32 атома катионов.

Note. In addition, in analysis 4 there are 0.44 wt % Na; 9 and 21 – 0.72 and 0.27 Ca, correspondingly; 10 – 0.09 Co; 15 – 1.35 Zn and 15.99 Sb; 24 – 3.2 Zn; 26 – 1.48 Cr and 9.94 Sb. Rocks: 1–4 – metamorphosed carbonaceous siliceous siliceous clay rock of the “clay-silicic bed”; 5–26 – jaspers (5–23) and silicons (24–26) of the “silicium bed”, cut by the systems of the mineralized fractures; 14 – from crushed rocks. Samples: 1–4 – Ш-05-2; 5, 6 – Ш-05-16; 7–9 – Ш-05-33; 10–13 – Ш-05-74; 14 – Ш-86-178; 15, 16 – Ш-05-5; 17 – Ш-86-23; 18–22 – Ш-06-13; 23 – Ш-06-8; 24–26 – P-80-8.

*The formula is calculated for 32 atoms of cations.

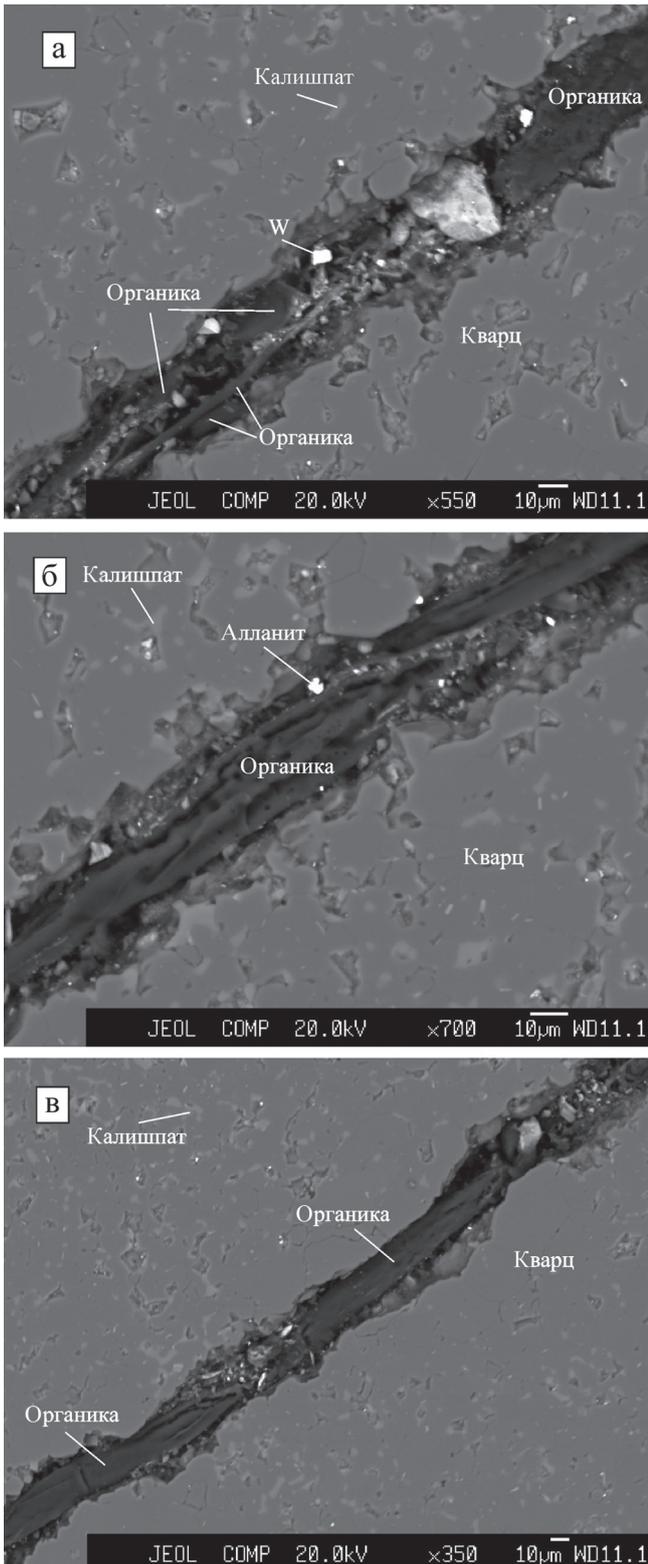


Рис. 6. Прожилки органического вещества в измененной яшме Горной площади.

Обр. Эк-06-17. Вид в отраженных электронах, W – самородный вольфрам. Белые (до светло-серых) (в том числе и очень мелкие) участки в прожилках и в породе соответствуют включениям рудных минералов.

Fig. 6. Streaks of organic matter in the altered jasper of Gornaya area.

Sample Эк-06-17. View in the reflected electrons. W – native tungsten. White (up to light-grey) (including also very fine) plots in streaks and in rock correspond to the inclusions of ore minerals).

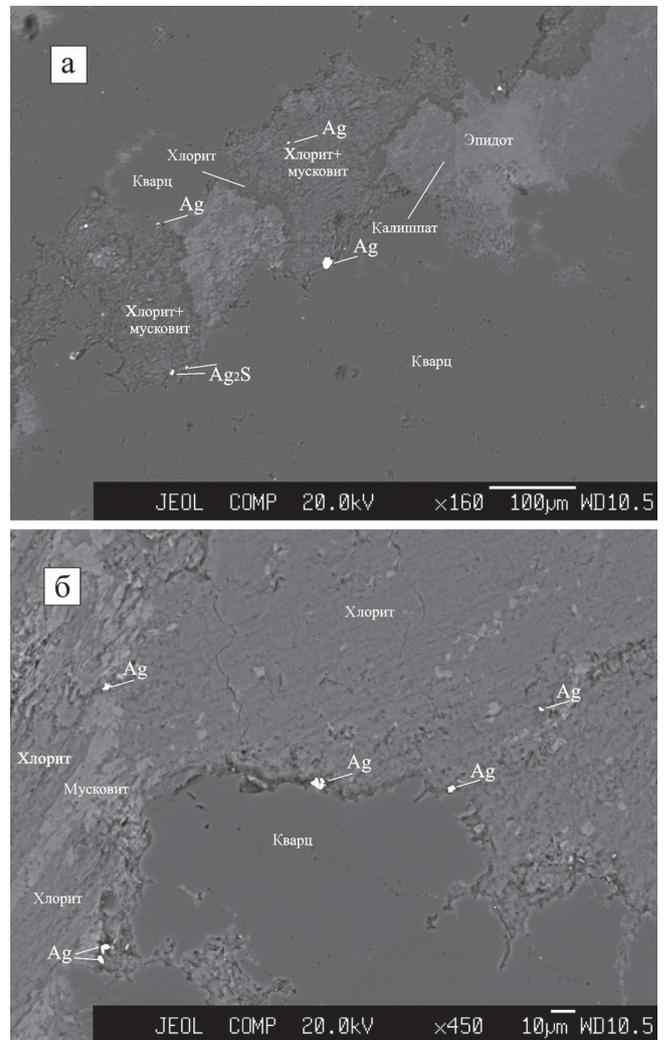


Рис. 7. Включения зерен самородного серебра и аргентита в яшме Широкопаднинской площади, тяготеющие к зальбандам калишпат-хлорит-мусковитовых (с эпидотом) прожилков (а) и к контактам мусковит-хлоритовых и кварцевых участков породы (б).

Обр. Ш-86-23. Вид в отраженных электронах.

Fig. 7. Inclusions of grains of native silver and argentite in jasper of Shirokopadninskaya area, gravitating to the salvages of the kalispas-chlorite-muscovite (with epidote) veinlets (a) and to the contacts of muscovite-chlorite and quartz plots of the rock (б).

Sample Ш-86-23. View in the reflected electrons.

Таблица 4. Результаты изучения минералов благородных металлов в силицитах “глинисто-кремнистой толщи” Горной площади, рассеченных системами минерализованных трещин, полученных с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, мас. %

Table 4. Results of the study of minerals of precious metals in silicites of the “clay-silicic bed” of Gornaya area cut by the systems of the mineralized fractures using the X-ray-spectral microprobe, wt %

№ п. п.	Образец	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Ni	Zn	Cu	Ag	Sb	Au	Pt	Сумма	Формула
1	Эв-01-13	20.47		0.35	1.48	7.90		4.53	1.08				98.94				100.42	Ag _{1.00}
2		15.52	0.26	0.60	3.07	8.08		0.89	1.42			0.76	49.09		24.60		96.17	Ag _{1.95} S _{1.05}
3		33.17	0.71	1.93	23.58		0.93	0.57			0.59		37.72				96.47	(Ag _{2.78} Cu _{0.10} Pb _{0.12}) _{3.00} Au _{1.00} S _{2.00}
4	Эв-01-3	30.72	0.38	1.14	27.00		0.51	0.62	0.66							44.57	106.05	Pt _{0.96} Zn _{0.04}
5		30.96		1.05	18.23	6.24							48.24			35.87	97.18	Pt _{1.00} *
6		17.99		1.88	3.65	10.01					0.96		63.65				104.72	Ag _{2.09} S _{0.91}
7		35.72		0.56	27.93												98.14	Ag _{1.99} S _{1.01} **
8		24.51		0.56	27.93												97.42	Au _{1.00}
9		24.51		0.56	27.93											50.92	97.56	Pt _{1.00}
10	Эв-01-33	25.42	1.18	1.76	15.73	7.04			3.16				46.11				100.40	Ag _{1.98} S _{1.02}
11		12.50	0.36	0.36	7.24				0.71				76.71				98.27	Ag _{1.99} Te _{0.01}
12		37.40	0.45	1.10	27.02	6.23			1.38				19.33	6.35			99.26	Ag _{2.95} Sb _{0.86} S _{3.19}
13		34.81	0.54	1.37	24.70	6.15			1.70				20.51	6.55			96.33	Ag _{2.05} Sb _{0.87} S _{3.08}
14		7.93		4.36	22.12				2.96		4.04	27.84	7.64	21.66			100.43	(Cu _{16.94} Ag _{2.74} Fe _{2.05} Zn _{2.39}) _{24.14} (Sb _{6.89} As _{0.99}) _{7.88} S _{26.71}
15		5.64		0.47	2.08	22.62			3.68		3.01	27.18	9.06	23.99			98.46	(Cu _{16.48} Ag _{3.23} Fe _{3.54} Zn _{1.78}) _{24.03} (Sb _{7.60} As _{0.37}) _{7.97} S _{27.18}
16	Эв-01	15.91		1.11	7.24				0.68	1.87			75.90				100.16	Ag _{1.00}
17	Эв-01-29	22.75		0.44	18.67				0.99	2.55					52.92		97.33	Au _{0.89} Ni _{0.11}
18		17.93	0.33	0.96	9.51	0.31			0.69	3.20				65.33			97.91	Au _{0.88} Ni _{0.12}
19		6.41		0.49	4.42				0.64	3.48				83.92			99.13	Au _{0.89} Ni _{0.11}
20		7.10		0.39	2.09				0.57	2.45				84.80			98.50	Au _{0.88} Ni _{0.12}
21		16.65			14.82				0.57	2.45				66.01			100.50	Au _{0.89} Ni _{0.11}
22		10.77			9.56				0.45	2.53				73.45			96.76	Au _{0.90} Ni _{0.10}

Примечание. В ан. 3, кроме того, 3.23 мас. % Рь и 0.32 Тi, ан. 5 – 0.28 К, ан. 11 – 0.75 Те, ан. 14 и 15 – 1.88 и 0.73 Аs. Минералы: серебро – 1, 16; сульфид Ag – 2, 6, 7, 10, 11; ютенбогартит – 3; платина – 4, 5, 9; золото – 8, 17–22; пираргирит – 12, 13; тетраэдрит – 14, 15.

*В минерале может присутствовать Fe, количество которого невозможно учесть при расчете формулы из-за наличия “прихваченных” чужеродных породообразующих элементов (в том числе и Fe). **Исключена S, связанная, предположительно, с Zn в сфалерите.

Note. In addition, in analysis 3 there are 3.23 wt % Pb and 0.32 Ti, 5 – 0.28 K, 11 – 0.75 Te, 14 and 15 – 1.88 and 0.73 As. Minerals: silver – 1, 16; sulfide Ag – 2, 6, 7, 10, 11; yutenbo-gaardite – 3; platinum – 4, 5, 9; gold – 8, 17–22; pyrrargyrite – 12, 13; tetrahedrite – 14, 15.

*In the mineral, Fe may be present, whose amount is impossible to be taken into account in the formula calculation because of the availability in the analysis of the “seized up” allogenetic rock-forming elements (including also Fe). **Sulphur supposedly bound with Zn in sphalerite is excluded.

Яшмы обычно представляют собой радиоляриты или глинисто-кремнистые породы с остатками радиолярий, содержащие рутил, гематит, гидрослюда, титанит, апатит (иногда много) с включениями зерен монацита, барит, баритоцелестин, а также ксенотим, циркон, таусонит и другие минералы. Присутствуют прожилки Ва-содержащего калиевого полевого шпата. Яшмы и кремни, непосредственно вмещающие тела или отдельные прослои марганцево-силикатных пород, иногда обогащены Mn. Такие породы на Широкопаднинской и Горной площадях содержат многочисленные кристаллы пиррофанита и спессартина (из-за относительно высокой температуры метаморфизма), а на Высокогорской – родохрозита (из-за низкой температуры метаморфизма). Характерным минералом является калиевый полевой шпат, слагающий мелкие (0.1 мм) гнезда и маломощные прожилковидные зонки и обычно содержащий небольшое количество (первые мас. %) Ва. Кроме того, нередко присутствуют альбит, гидрослюда, биотит или хлорит. Обычными являются алланит, монацит, касситерит, циркон и рутил. Встречаются также барит, оксид Zr и Sc и другие минералы. Спессартин образует россыпь мельчайших (микронной размерности) включений или гораздо более крупные, но редкие кристаллы, приуроченные к прожилкам и наиболее перекристаллизованным участкам породы. Особенностью яшм Высокогорской площади, наряду с интенсивным расщеплением и системами минерализованных трещин, является присутствие маломощных прослоев, изначально обогащенных дисперсным родохрозитом и образующих серии общей мощностью десятки см. Вследствие экзогенных процессов визуально они фиксируются как зоны значительного обогащения оксидами Mn в виде “прожилков” мощностью до 3 мм. Кремнистая масса тоже богата оксидами Mn, образующими скопления радиально-лучистой и более сложной формы.

Широкопаднинская площадь. Для систем минерализованных трещин и “восстановленных” участков в породах “кремневой толщи” характерно присутствие минералов Au и Ag. Минералы Pt пока не обнаружены, однако ее наличие установлено атомно-абсорбционным методом и подтверждено результатами изучения стекла, полученного при пробирной плавке яшм. Минералы Au представлены самородным Au, не содержащим примеси других элементов, Au-Ag твердым раствором, медистым золотом и интерметаллическим соединением Ni₃Au (см. табл. 3). Кроме того, иногда встречается Au-содержащий самородный Ni. Минералы Ag представлены самородным Ag, сульфидом Ag и тетраэдритом. Самородное золото без примеси других элементов встречается в виде мелких (диаметром до 1 мкм) рассеянных в прожилках и измененной породе кристаллов

(рис. 8а). Золотосеребряный твердый раствор с высокой пробой (970) в виде относительно крупных (диаметром десятые доли мм) зерен обнаружен лишь при шлиховании протолок штучных проб яшм. Кроме того, этот минерал образует мельчайшие зерна (рис. 8б). Медистое золото (рис. 8в) встречается в виде отдельных кристаллов размером до 1 × 2 мкм.

Зерна Au-содержащего Ni, иногда с небольшим количеством Co, неоднородны по составу. В них присутствуют мелкие включения богатой Au фазы (рис. 9а–в). Содержание золота в Au-содержащем Ni (после исключения “чужеродных” порообразующих элементов и нормирования анализов на 100 мас. %) изменяется от 4.93 (Co_{0.001}Au_{0.02}Ni_{0.98}) до 41.41 (Au_{0.17}Ni_{0.83}) мас. %. Возможно, верхний предел содержания Au превышен из-за присутствия в минерале субмикроскопических включений упомянутой выше фазы. Ее состав (см. табл. 3), определенный в наиболее крупном включении, почти точно отвечает формуле Ni₃Au (по анализу – Ni_{2.99}Au_{1.01}).

Основное количество Ag присутствует в самородном состоянии, а также в виде сульфида Ag, пираргирита и в составе тетраэдрита. Сульфид Ag и самородное Ag наблюдались в виде зерен, нередко имеющих относительно крупные (до 15 × 15 мкм) размеры и приуроченных главным образом к зальбандам калишпат-хлорит-мусковитовых (±эпидот) прожилков (см. рис. 7а) или тяготеющих к контактам кварцевых и хлоритовых участков породы (см. рис. 7б). Кроме того, отмечались гнезда, выполненные кристаллами самородного Ag и барита, а также зерна, видимо представляющие собой тонкие сростания сульфида Ag и галенита. Иногда в анализах самородного Ag отмечается небольшое количество Cl, связанное, очевидно, с его замещением хлораргиритом в результате экзогенных процессов. Тетраэдрит встречается в виде отдельных мелких зерен и представлен богатой Ag разновидностью (см. табл. 3). В нем присутствует небольшое количество Zn и Fe и совсем нет As.

Горная площадь. Характерными минералами благородных металлов систем минерализованных трещин, секущих породы “кремневой толщи”, являются разнообразные соединения Au и Ag. Собственные минералы Pt, Pd и других элементов платиновой группы не установлены, однако в одном из анализов виоларита отмечен Pd (табл. 5). В яшмах присутствуют мельчайшие гнезда углеродистого вещества, в котором иногда содержится немного Ag и Cu. Отличительной особенностью яшм является постоянное присутствие очень мелких, но довольно многочисленных зерен и кристаллов самородного Au и медистого золота. Самородное Au не содержит примеси других элементов или представлено твердыми растворами Au и Ag; Au, Ag и Bi; Au, Ag и Pb. Кроме того, характерной особенно-

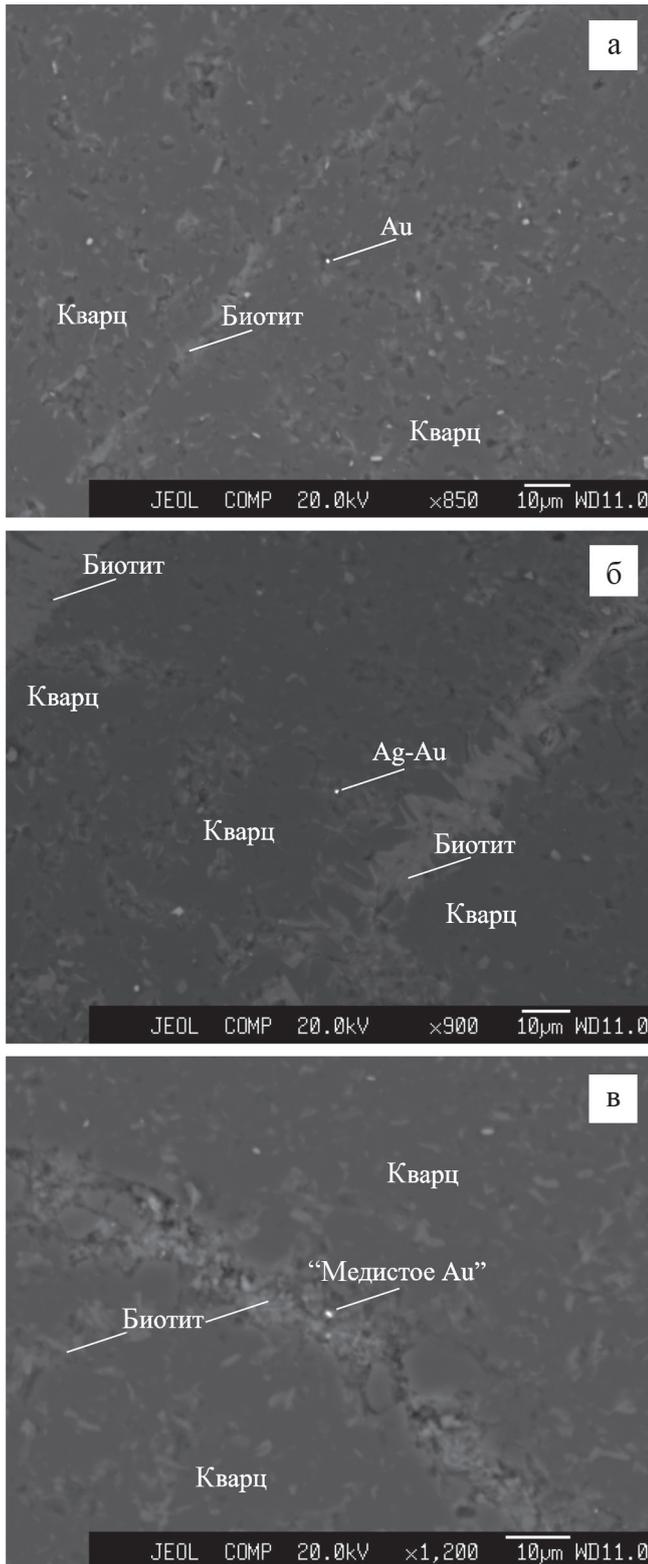


Рис. 8. Самородное золото без примесей (а), Au-Ag твердый раствор (б) и “медистое золото” (в) в ассоциации с органическим веществом (темно-серое) в измененных яшмах с прожилками биотита.

Широкопаднинская площадь, обр. Ш-06-13. Вид в отраженных электронах.

Fig. 8. Native gold free of admixtures (a), Au-Ag solid solution (б), and cupriferous gold (в) in association with organic matter (dark-grey) in the altered jaspers with biotite streaks.

Широкотаднинская area, sample Ш-06-13. View in the reflected electrons.

стью яшм является почти постоянное присутствие никелистого Au. Самородное Au без примеси других элементов и Au-Ag твердый раствор образуют в породе отдельные кристаллы или их срастания диаметром до 4 мкм (рис. 10а). Иногда они наблюдаются в тесной ассоциации с органическим веществом (рис. 10б) или с самородными Cu или Fe в составе хлоритовых прожилков (рис. 10в). Реже эти минералы приурочены к зальбандам прожилков органического вещества (см. рис. 10б). Состав Au-Ag твердого раствора (см. табл. 5) большей частью отвечает формуле $Au_{0.76-0.87}Ag_{0.24-0.13}$. Иногда он содержит изоморфную примесь Bi или Pb ($Au_{0.84-0.78}Ag_{0.13-0.19}Pb_{0.02-0.03}$). Встречаются, кроме того, зерна, почти не содержащие Ag – $Au_{0.96}Ag_{0.04}$. Количество Ag в этом минерале непостоянно даже в одном шлифе. Наряду с рассмотренными разновидностями самородного Au изредка встречается неупорядоченный твердый раствор Au, Cu и Ag, состав которого отвечает формуле $Au_{0.73}Cu_{0.15}Ag_{0.12}$.

Никелистое Au присутствует в виде относительно многочисленных зерен и изометричных кристаллов диаметром до 5 мкм. Его состав изменяется в небольших пределах – $Au_{0.91-0.88}Ni_{0.09-0.11}$.

Медистое золото встречается совместно с самородным Au и сопутствующими ему минералами. Оно слагает рассеянные в породе бесформенные зерна и кристаллы сечением от 1×1 до 2×3 мкм, иногда приуроченные к органическому веществу. Кроме того, встречаются агрегаты из кристаллов этого минерала сечением до 2×5 мкм. Медистое золото содержит немного Ag (см. табл. 5) и отличается непостоянством состава. Содержание Cu и Au в этом минерале изменяется довольно значительно. Из содержащих Ag минералов в яшмах Горной площади встречаются самородное Ag и сульфид Ag, как правило, вместе с самородным Au и медистым золотом, а также хлораргирит экзогенного происхождения. Самородное Ag, присутствующее в виде зерен диаметром до 10 мкм, содержит небольшую примесь Te (см. табл. 5). Кроме того, встречается медистая разновидность этого минерала.

Сульфид Ag встречается в виде бесформенных зерен, кристаллов и их срастаний сечением до 8×15 мкм. Этот минерал иногда содержит немного Te (см. табл. 5). Встречаются очень тонкие срастания зерен сульфида Ag и киновари. Хлораргирит образовался по зернам самородного Ag и, очевидно, имеет экзогенное происхождение.

Высокогорская площадь. Яшмы и другие породы “кремневой толщи” содержат маломощные

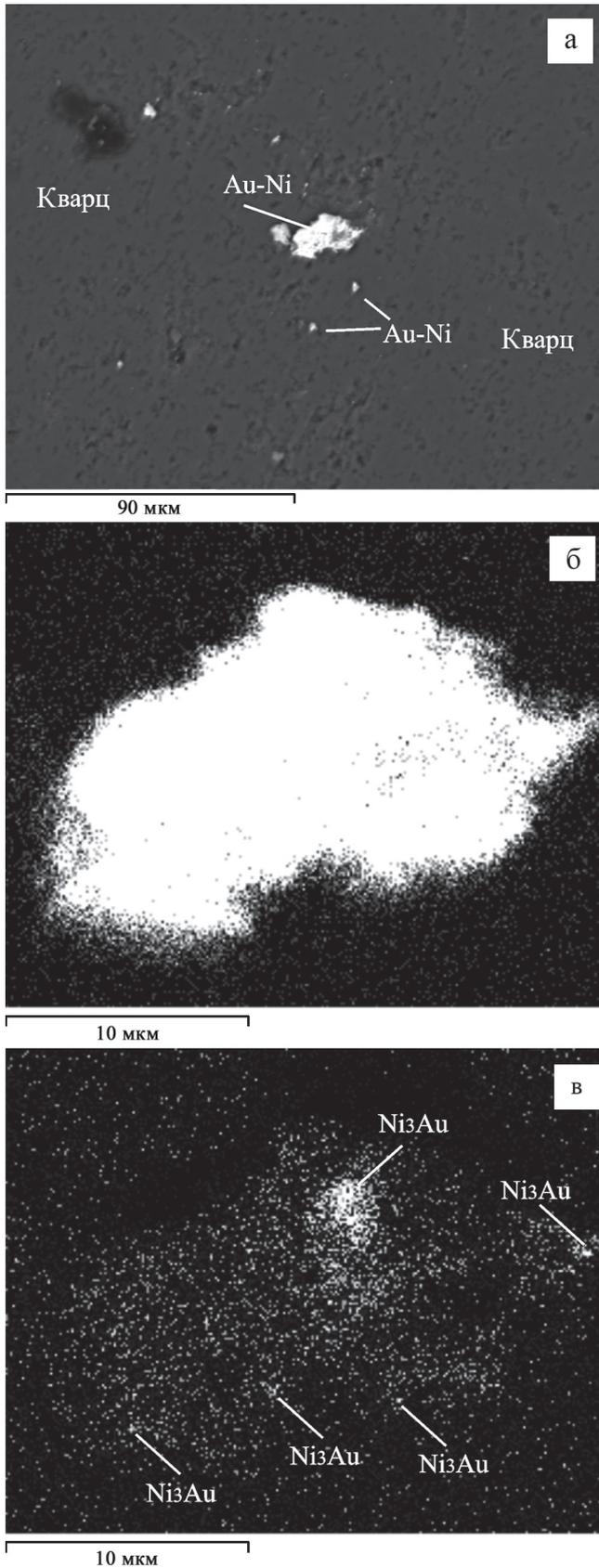


Рис. 9. Золотосодержащий самородный никель с включениями интерметаллического соединения

Ni_3Au в измененной яшме Широкопаднинской площади.

Вид в отраженных электронах (а), а также в характеристическом излучении Ni (б) и Au (в). Au-Ni – золотосодержащий самородный никель, Ni_3Au – интерметаллическое соединение.

Fig. 9. Gold-bearing native nickel with inclusions of the Ni_3Au intermetallic compound in the altered jasper of Shirokopadninskaya area.

View in the reflected electrons (a) and in the characteristic radiation of Ni (б) and Au (в). Au-Ni is a gold-bearing native nickel, Ni_3Au is an intermetallic compound.

прожилки и гнезда с органическим веществом, содержащим Cl и S и образующим лентоподобные (рис. 11а) и относительно изометричные выделения. В прожилках и в окружающей их измененной породе присутствуют самородные формы и интерметаллические соединения благородных и других элементов. Они обычно образуют мельчайшие (диаметром доли мкм–первые мкм) зерна и только в редких случаях – видимые невооруженным глазом кристаллы (рис. 12). Характерными минералами благородных металлов являются медистое золото, самородное Au, не содержащее примеси других элементов, Ag-Au твердый раствор, соединение Au_3Pd и сульфид Ag (табл. 6). Медистое золото присутствует в виде мелких, иногда многочисленных зерен диаметром до 4 мкм. Оно содержит Ag и характеризуется почти полным отсутствием Cu в “смешанной позиции” (0.00–0.11 ф.е.), более того, в двух случаях отмечался небольшой дефицит этого элемента в “основной позиции”. Иногда оно образует сростания с самородным Fe. Самородное Au представлено главным образом мелкими (диаметром до 3 мкм), но обильными зернами Ag-Au твердого раствора. Его состав изменчив, но в небольших пределах – $Au_{0.92-0.83}Ag_{0.08-0.17}$. Кроме того, присутствуют зерна самородного Au (\varnothing до 2.5 мкм), не содержащего примеси других элементов. Интерметаллическое соединение Au_3Pd встречается в виде единичных очень мелких зерен (см. рис. 11б). Состав этого минерала (см. табл. 6) отвечает формуле $Au_{2.96-2.92}Pd_{1.04-1.08}$. Самородное Ag иногда содержит немного Te (см. табл. 6). Его состав отвечает формуле $Ag_{0.99-1.00}Te_{0.01-0.00}$. В зернах сульфида Ag присутствуют включения киновари.

Минералогия систем минерализованных трещин в песчаниках

Горная площадь. Системы минерализованных трещин в песчаниках состоят из многочисленных прожилков, вдоль которых порода интенсивно изменена и содержит гнезда диаметром до нескольких см, выполненные экзогенными гидроокислами Mn и, в меньшей мере, Fe. Новообразованные

Таблица 5. Результаты изучения минералов благородных металлов в измененных яшмах и прожилках Горной площади с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, мас. %

Table 5. Results of the study of minerals of precious metals in the altered jaspers and veinlets of Gornaya area using the X-ray-spectral microprobe, wt %

№ п. п.	Образец	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Fe	Ni	Cu	Ag	Au	Сумма	Минерал	Формула
1	Эж-06-18	3.93		0.71	2.60			0.57		1.36		26.80	6.60	57.90	100.47	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Au _{0,27} Cu _{0,26} Ag _{0,47}) _{1,00} Au _{2,00}
2		21.08		2.18	10.39			0.29		11.99				53.94	99.87	Золото	Au _{1,00}
3		8.50		1.14	4.88			0.42		2.41	2.92			79.37	99.64	–”–	Au _{0,89} Ni _{0,11}
4		11.77	1.90	1.92	7.79			0.27		3.40			6.72	65.05	98.82	–”–	Au _{0,84} Ag _{0,16}
5		29.29	1.30	2.59	22.44		0.59	0.31	3.93	4.44		10.28	2.09	24.12	101.38	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Au _{0,42} Cu _{0,20} Ag _{0,38}) _{1,00} Au _{2,00}
6		4.40			1.08					0.42			95.35		101.88	Серебро	Ag _{0,99} Te _{0,01}
7	Эж-06-24	8.81	0.52	2.02	4.85		1.08			1.52		24.28	5.04	50.02	98.14	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Au _{0,23} Cu _{0,36} Ag _{0,41}) _{1,00} Au _{2,00}
8		29.09	0.43	1.71	15.43			0.80		9.77	1.52			40.67	100.58	Золото	Au _{0,89} Ni _{0,11}
9		32.05	0.49	1.86	16.30		0.28	1.01		2.58	1.31			43.93	101.06	–”–	Au _{0,91} Ni _{0,09}
10		24.62	1.79	2.51	15.36		0.42	3.45		1.87			3.79	45.73	102.44	–”–	Au _{0,87} Ag _{0,14}
11		21.99			17.85								7.08	52.41	101.01	–”–	Au _{0,78} Ag _{0,19} Pb _{0,03}
12		6.91	0.40		0.63					1.88		2.87	89.27		101.96	Серебро	Ag _{0,95} Cu _{0,05}
13		16.41		1.31	14.93	8.68		0.88		1.57			56.23		100.01	Сульфид Ag	Ag _{1,97} S _{1,03}
14	Эж-06-17	20.16		0.33	9.94			0.32		0.54			5.55	63.56	100.40	Золото	Au _{0,86} Ag _{0,14}
15		9.76		0.44	7.86		0.34		3.78			22.75	5.66	45.95	96.54	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Cu _{0,34} Au _{0,17} Ag _{0,49}) _{1,00} Au _{2,00}
16		22.28		0.62	3.76			0.32		0.45			10.45	58.78	96.66	Золото	Au _{0,76} Ag _{0,24}
17		20.40		0.72	5.76			0.94		0.55			1.55	70.03	99.95	–”–	Au _{0,96} Ag _{0,04}
18		24.41	1.60	2.59	17.46		0.41	0.31		4.28		12.91	3.50	32.47	100.34	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Cu _{0,04} Au _{0,47} Ag _{0,49}) _{1,00} Au _{2,00}
19		25.53		1.04	24.90		1.25	0.39					3.83	43.06	100.00	Золото	Au _{0,86} Ag _{0,14}
20		22.32		0.94	17.20		1.10			1.09			4.48	52.05	99.99	–”–	Au _{0,84} Ag _{0,13} Pb _{0,03}
21		19.55	0.88	4.82	10.86		2.41			1.16		17.27	4.53	39.00	100.48	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Cu _{0,19} Au _{0,32} Ag _{0,49}) _{1,00} Au _{2,00}
22		19.03		1.11	11.38					0.35			5.70	61.74	100.00	Золото	Au _{0,84} Ag _{0,14} Pb _{0,02}
23		20.77	0.99	1.11	13.51					1.09		19.27	5.15	41.06	102.95	“Медистое Au”	Cu _{3,00} (Cu _{0,25} Au _{0,24} Ag _{0,51}) _{1,00} Au _{2,00}
24		22.75		2.10	20.46		0.33			0.35		14.17	3.42	36.78	100.01	То же	Cu _{3,00} (Cu _{0,03} Au _{0,54} Ag _{0,43}) _{1,00} Au _{2,00}
25		11.56		8.56	9.35			1.69		63.77			63.77	95.57	95.57	Сульфид Ag	Ag _{2,00} (S _{0,98} Te _{0,02}) _{1,00}
26		7.30		4.42	11.14			1.14		74.55			74.55	98.55	98.55	То же	Ag _{2,00} S _{1,00}
27		17.05	0.82	1.31	14.65	27.89	0.32			17.44	22.04			102.06	102.06	Виоларит	(Ni _{1,68} Fe _{1,40} Pd _{0,02}) _{3,10} S _{3,90}

Примечание. В ан. 6 и 25, кроме того, 0.63 и 0.64 мас. % Te; в ан. 8, 9, 18 – 1.16, 1.25 и 0.40 Mn; ан. 10 – 1.47 Na и 1.43 Ti; ан. 11, 20, 22 – 1.68, 1.90 и 1.80 Pb; ан. 27 – 0.54 Pd.

Note. In addition, in analyses 6 and 25 there are 0.63 and 0.64 wt % Te; in an. 8, 9, 18 – 1.16, 1.25 and 0.40 Mn; an. 10 – 1.47 Na and 1.43 Ti; an. 11, 20, 22 – 1.68, 1.90 and 1.80 Pb; an. 27 – 0.54 Pd.

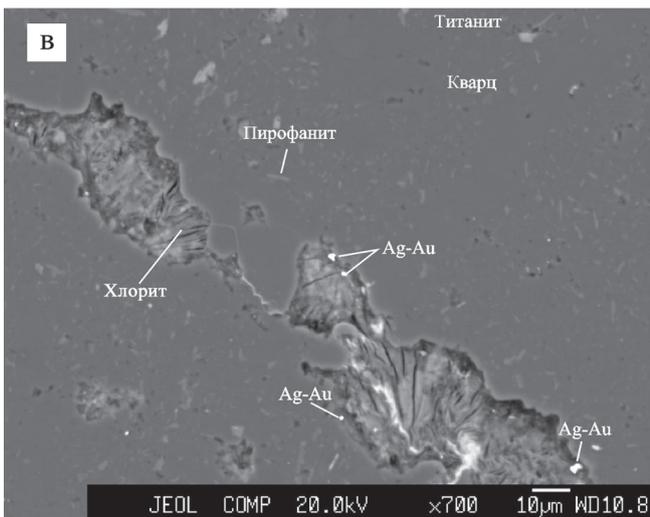
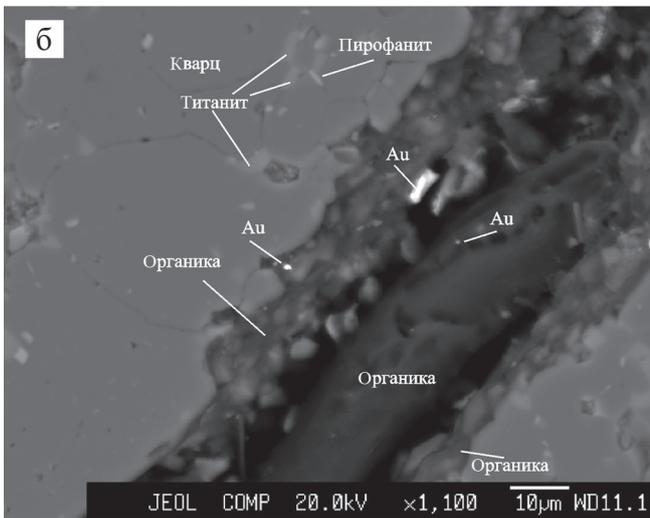
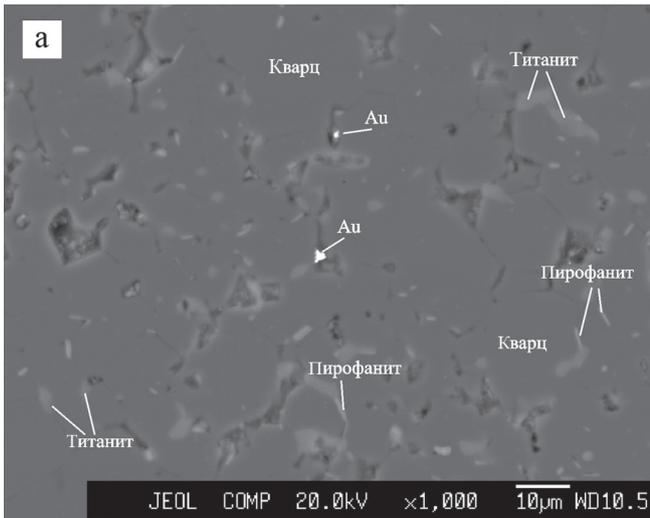


Рис. 10. Зерна самородного золота в измененной яшме Горной площади.

а, б – обр. Эк-06-17, в – обр. Эк-06-18. Вид в отраженных электронах.

Fig. 10. Grains of native gold in the altered jasper of Gornaya area.

а, б – sample Эк-06-17, в – sample Эк-06-18. View in the reflected electrons.

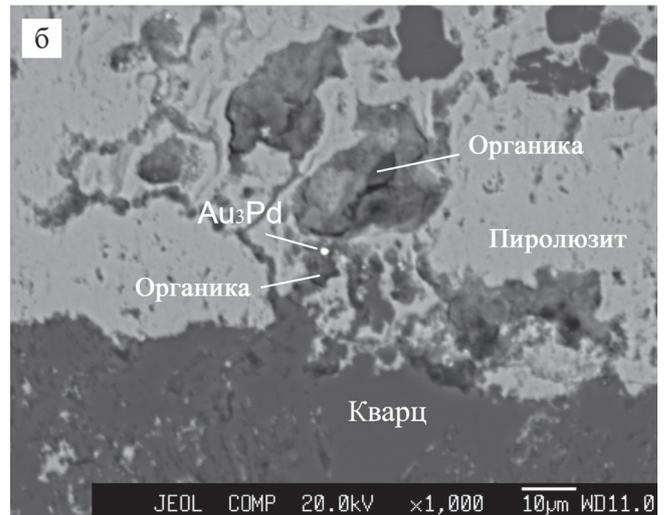
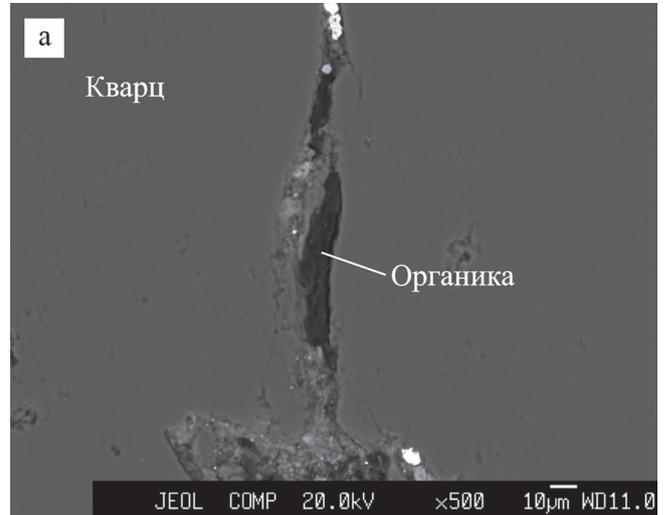


Рис. 11. Прожилок с органическим веществом и включениями рудных минералов (белое) (а) и включение соединения Au_3Pd (б) в измененной яшме Высокогорской площади.

Вид в отраженных электронах.

Fig. 11. A veinlet with organic matter and inclusions of ore minerals (white) (а) and the inclusion of the Au_3Pd compound (б) in the altered jasper of Vysokogorskaya area.

View in the reflected electrons.

минералы измененной породы и минералы прожилков представлены в основном хлоритом, мусковитом, амфиболом и Ва-содержащим калиевым полевым шпатом. В небольшом количестве присутствуют рутил, монацит, F-апатит, циркон и

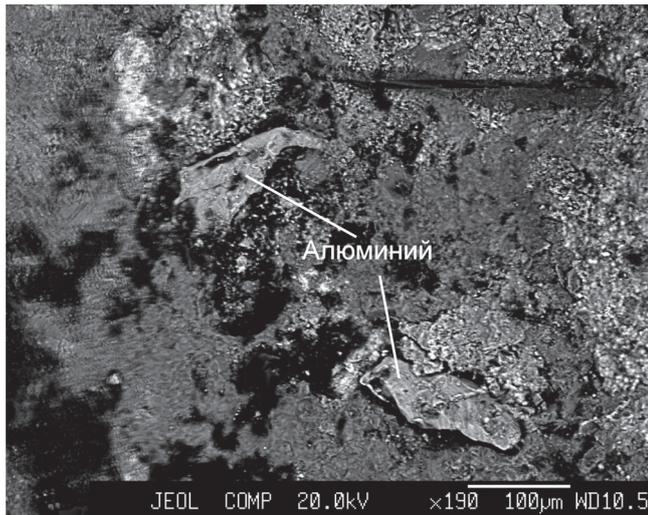


Рис. 12. Кристаллы самородного алюминия в гидротермально-измененной кремнистой породе Высокогорской площади (фото естественной поверхности образца).

Светло-серое – гидроксиды Mn, серое – кварц, черное – органика. В образце, кроме того, присутствуют самородные олово и железо. Вид в отраженных электронах.

Fig. 12. Crystals of native aluminium in the hydrothermally altered silicic rock of Vysokogorskaya area (photo of the natural surface of the sample).

The light-grey – Mn hydroxides, grey – quartz, black – organic matter. In addition, in the sample the native tin and iron are present. View in the reflected electrons.

Zn-содержащий барит. В виде мельчайших зерен встречаются разнообразные рудные минералы (см. табл. 2), в том числе самородные элементы и интерметаллические соединения. Присутствуют сульфид серебра и самородная платина. Самородная платина не содержит заметной примеси других элементов, кроме, возможно, небольшого количества Fe (см. табл. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из изложенного, метаморфизованные углеродистые силициты, а также ассоциирующие с ними осадочные породы, рассеченные системами минерализованных трещин, содержат Au-Ag-Pd-Pt минерализацию. Она отличается распространением Pb-, Cu-, или Zn-содержащих разновидностей самородного Au и Zn-содержащей платины, твердых растворов Au и Ni, редкого сульфида Au и Ag – ютенбогартита, сульфида Ag, пираргирита и богатого Ag тетраэдрита. Au-Ag-Pd-Pt минерализация ассоциирует с органическим веществом, самородными формами других металлов, интерметаллидами и неупорядоченными твердыми растворами Pb, Zn, Cd, Ni, Co, Cu, Hg, Sn, Bi, As, Sb, Te, Se, Fe, Al и других элементов.

Ассоциации предельно восстановленных форм металлов являются характерной особенностью черносланцевых формаций и ассоциированных с ними разнообразных месторождений. Например, на крупнейшем золоторудном месторождении Сухой Лог в самородном состоянии присутствуют Au, Ag, Pt, Fe, Sn, Pb, Cu, Ti, W, Cr и Al. Кроме того, распространены неупорядоченные твердые растворы металлов и интерметаллические соединения [Дистлер и др., 1996]. Разнообразные металлы в самородном состоянии, в том числе Au, Cu и Al, выявлены в графитоносных метаморфитах Ханкайского террейна [Ханчук и др., 2007]. Широко представлены разнообразные самородные элементы и интерметаллические соединения в кимберлитах и алмазах [Горшков и др., 2003; Петровский и др., 2003, 2004; Тищенко, 2003, 2005; Титков и др., 2005, 2006]. Известны их находки в родингитах, серпентизированных гипербазитах и других продуктах изменения основных и ультраосновных пород [Ashley, 1975; Жмодик и др., 1998; Спиридонов, Плетнев, 2002; Кудрявцева, Кудрявцев, 2003; Дамдинов и др., 2004; Ерохин и др., 2004; Ерохин, Шагалов, 2005; Deluga, 2005; Мурзин и др., 2006]. Обзор литературы свидетельствует о том, что разнообразные самородные элементы, неупорядоченные твердые растворы металлов и интерметаллические соединения распространены в черносланцевых формациях и ассоциирующих с ними месторождениях, в метеоритах, в продуктах гидротермального изменения ультраосновных пород и горения углей, в кимберлитах, алмазах, в лунном реголите, углях, гидротермальных рудах [Новгородова, 1983], корах выветривания [Park, 1981], зонах окисления [Clarc, Sillitoe, 1970] и в некоторых других породах и обстановках.

Самородные элементы, неупорядоченные твердые растворы металлов и интерметаллические соединения в осадочных породах, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня, встречаются совместно с органическим веществом, что свидетельствует об активном участии углерода и, вероятно, водорода, обеспечивавших высоко- и ультравосстановительный характер процессов минералообразования. С этим обстоятельством, по-видимому, связаны такие особенности Au-Ag-Pd-Pt минерализации, как широкое распространение Ni-, Cu- и Pb-содержащих разновидностей самородного Au и Zn-содержащей платины. Согласно приведенным данным, окислительно-восстановительные условия метаморфизма вблизи микротрещин и в остальном объеме осадочных пород, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами, резко различались. Можно полагать, что присутствие минеральных форм различных предельно восстановленных металлов обусловлено влиянием органического вещества “глинисто-кремнистой толщи”. Оно связано с удалением из

Таблица 6. Результаты изучения минералов благородных металлов в измененных яшмах и прожилках Кавалеровского и песчаниках Малиновского рудных районов с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, мас. %

Table 6. Results of the study of minerals of precious metals in the altered jaspers and veinlets of Kavalеровsky and in the sandstones of Malinovsky ore districts using the X-ray – spectral microprobe, wt %

№ п. п.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Pd	Ag	Au	Pt	Сумма	Минерал	Формула
1	29.22		0.65	23.52		0.63	4.59		11.75		2.42	30.48		101.98	“Медистое Au”	$Cu_{3,00}(Cu_{0,06}Au_{0,57}Ag_{0,37})_{1,00}Au_{2,00}$
2	13.82		5.56	3.50			15.32			10.57		55.60		100.09	Au ₃ Pd	$Au_{2,96}Pd_{1,04}$
3	14.56		0.42	1.87		0.37	6.15	1.03	19.44		5.13	46.69		100.02	“Медистое Au”	$Cu_{3,00}(Cu_{0,11}Au_{0,41}Ag_{0,48})_{1,00}Au_{2,00}$
4	9.33		0.69	20.89		2.61	1.41	1.30			9.07	79.12		102.90	Золото	$Au_{0,83}Ag_{0,17}$
5	32.56	0.53	0.62	7.56		1.86	1.87	0.80			2.36	35.77		100.30	“–”	$Au_{0,89}Ag_{0,11}$
6	14.38	0.47		1.64			1.25	0.75				71.89		99.94	“–”	$Au_{1,00}$
7	4.39			2.01	10.48		0.56				96.30			103.49	Серебро	$Ag_{0,99}Te_{0,01}$
8	20.98		2.77	30.66		1.73	1.47	2.89			66.21			101.15	Сульфид Ag	$Ag_{1,96}S_{1,04}$
9	40.51	1.17	4.45	17.32		0.66		7.90	5.08		0.89	14.04		100.00	“Медистое Au”	$Cu_{3,00}(Cu_{0,01}Au_{0,68}Ag_{0,31})_{1,00}Au_{2,00}$
10	23.29	3.23	4.14	9.19		1.21		9.56	12.04		2.12	26.55		103.21	То же	$Cu_{3,00}(Cu_{0,31}Au_{0,35}Ag_{0,34})_{1,00}Au_{2,00}$
11	35.73	3.23	0.54	16.72		0.30		0.49	11.99		0.56	27.60		99.98	“–”	$Cu_{3,00}(Cu_{0,39}Au_{0,52}Ag_{0,09})_{1,00}Au_{2,00}$
12	21.45	0.30	2.27	23.21		1.56		2.29	13.97		2.24	34.26		103.00	“–”	$Cu_{3,00}(Cu_{0,13}Au_{0,27}Ag_{0,60})_{1,00}Au_{2,00}$
13	21.58	0.89	3.36	26.32		0.49	0.73	2.29				40.93		103.33	Золото	$Au_{1,00}$
14	30.98		0.95	13.78	6.83			6.54			41.65			100.00	Сульфид Ag	$Ag_{1,95}S_{1,07}$
15	30.25	0.33	17.02	14.48		2.76		3.39	1.51		97.26			102.15	Серебро	$Ag_{1,00}$
16	1.99		8.23	14.95	3.28			2.65			15.76			99.99	Сульфид Ag	$(Ag_{1,61}Cu_{0,26})_{1,87}S_{1,13}$
17	39.08	2.71	8.04	15.49				2.04				39.75		103.20	Платина	$Pt_{1,00}^*$
18	32.45	0.95	6.87	9.93	6.62			2.04				40.70		102.43	“–”	$Pt_{1,00}^*$
19	31.41	0.94						1.03			42.56			100.36	Сульфид Ag	$Ag_{1,97}S_{1,03}$
20	32.48	0.87														

Примечание. В ан. 5, кроме того, 1.62 мас. % Ti; в ан. 6 – 1.26 Na; ан. 7 – 0.60 Te; ан. 9 – 0.26 K; ан. 10 – 0.35 K и 2.06 Cr; ан. 12 – 2.07 Cr; ан. 14, 18, 19, 20 – 1.25, 4.22, 3.82 и 3.00 K. Породы: 1–17 – яшма (1–8 – обогащенная Mn); 18–20 – песчаник. Образцы: 1–3 – ВС-05-5(1); 4–8 – ВС-05-5(2); 9–17 – ВС-06-3(2); 18–20 – Эв-01-39.
 *В минерале может присутствовать Fe, количество которого невозможно учесть при расчете формулы из-за наличия “прихваченных” чужеродных породообразующих элементов (в том числе и Fe).

Note. In addition, in analysis 5 there are 1.62 wt % Ti; in an. 6 – 1.26 Na; an. 7 – 0.60 Te; 9 – 0.26 K; 10 – 0.35 K and 2.06 Cr; 12 – 2.07 Cr; 14, 18, 19, 20 – 1.25, 4.22, 3.82 and 3.00 K. Rocks: 1–17 – jasper (1–8 – enriched in Mn); 18–20 – sandstone. Samples: 1–3 – BC-05-5(1); 4–8 – BC-05-5(2); 9–17 – BC-06-3(2); 18–20 – Эв-01-39.
 *In the mineral, Fe may be present, whose amount is impossible to be taken into account in the formula calculation, because of the availability in the analysis of the “seized up” allogenic rock-forming elements (including also Fe).

углеродистых пород при нагревании наиболее летучих компонентов, в первую очередь плохо связанной воды и углеводородов, и возникновению таким образом некоторого объема флюида с высоко- и ультравосстановительными способностями, мигрировавшего по трещинам в другие породы.

Источником металлов в минерализованных микротрещинах являлось, очевидно, органическое вещество “глинисто-кремнистой” толщи. Этот вывод подтверждается повышенными содержаниями “рудных” элементов в углеродистых силицитах [Волохин, Иванов, 2007] и присутствием в контактово-метаморфизованных аналогах углеродистых силицитов Au-Ag-Pd-Pt минерализации и предельно восстановленных форм различных металлов [Мирошниченко, Перевозникова, 2010], впоследствии обнаруженных и в углеродистых силицитах без явных признаков метаморфизма [Волохин, Карабцов, 2016].

Au-Ag-Pd-Pt минерализация является общей особенностью некоторых типов триасовых изначально осадочных образований Таухинского и Самаркинского террейнов Сихотэ-Алиня. Она присутствует в триасовых углеродистых силицитах и их метаморфизованных аналогах, в породах железорудных, полиметаллических и боросиликатного месторождений Ольгинского и Дальнегорского рудных районов, традиционно относимых к скарнам, а также в залегающих непосредственно над углеродистыми силицитами (в стратиграфической колонке) метаморфизованных триасовых металлоносных осадках – марганцево-силикатных породах и силикатно-магнетитовых рудах [Казаченко и др., 2008; Перевозникова, 2010].

В триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадках Сихотэ-Алиня и скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов (в статье используется традиционное название этих пород, несмотря на то что имеющиеся данные, как будет видно далее, противоречат генетическому содержанию термина) фиксируются геохимические и изотопные “метки” габброидов сергеевского, калиновского и владими́ро-александровского комплексов, офиолитов [Казаченко и др., 2015], а также вещества континентальной окраины, предположительно Ханкайского массива [Казаченко и др., 2016]. Габброиды этих комплексов слагали две цепочки островов, располагавшихся по меньшей мере с середины девона до конца триаса вблизи окраины Ханкайского массива. Триасовые метаморфизованные металлоносные осадки, скарны и яшмы Сихотэ-Алиня изначально являлись продуктами размыва латеритной коры выветривания (поздний анизий–конец триаса) островов, накапливавшимися в лагунах (в нынешнем виде скарны) и в прилегающих к островам акваториях (яшмы, марганцево-силикатные породы и силикатно-магнетитовые руды) [Казаченко и др., 2016]. Обогащение благород-

ными и другими металлами триасовых метаморфизованных металлоносных осадков, скарнов и триасовых углеродистых силицитов было обусловлено, вероятно, их сорбированием гидроксидами Mn и Fe, а также органическим веществом в процессе экзогенного выветривания габброидов. С учетом имеющихся в настоящее время данных [Reith et al., 2016] можно предполагать и участие биоты в переносе и накоплении металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Au-Ag-Pd-Pt минерализация в осадочных породах, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами Сихотэ-Алиня, приурочена к системам минерализованных трещин и по многим особенностям аналогична благороднометалльному оруденению черносланцевых формаций. Она встречается совместно с самородными формами, неупорядоченными твердыми растворами и интерметаллическими соединениями различных металлов. Особенностью Au-Ag-Pd-Pt минерализации является широкое распространение Ni-, Cu- и Pb-содержащего золота и Zn-содержащей платины. Самородные элементы и интерметаллические соединения, в том числе и благородные металлы, нередко ассоциируют с органическим веществом, что может свидетельствовать об активном участии углерода и, вероятно, водорода, обеспечивших высоко- и ультравосстановительный характер процессов минералообразования.

Окислительно-восстановительные условия метаморфизма вблизи трещин и в остальном объеме осадочных пород, ассоциирующих с триасовыми углеродистыми силицитами, резко различались. Можно полагать, что присутствие минеральных форм различных предельно восстановленных металлов обусловлено влиянием органического вещества “глинисто-кремнистой толщи”. Оно связано с удалением из углеродистых пород при нагревании наиболее летучих компонентов, в первую очередь плохо связанной воды и углеводородов, и возникновению таким образом некоторого объема обогащенного металлами флюида с высоко- и ультравосстановительными способностями, мигрировавшего по трещинам в другие породы. Источником металлов являлось, очевидно, органическое вещество “глинисто-кремнистой” толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волохин Ю.Г., Иванов В.В. (2007) Геохимия и металлоносность углеродистых силицитов триаса Сихотэ-Алиня. *Литология и полез. ископаемые*, (4), 406-425.
 Волохин Ю.Г., Карабцов А.А. (2016) Минералы в углеродистых силицитах триаса Сихотэ-Алиня. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 465-484.
 Волохин Ю.Г., Михайлик Е.В., Бурый Г.И. (2003) Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня. Владиво-

- сток: Дальнаука, 252 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1 (Под ред. А.И. Ханчука). (2006) Владивосток: Дальнаука, 572 с.
- Горшков А.И., Бершов Л.В., Титков С.В., Винокуров С.Ф., Рябчиков И.Д., Магазина Л.О., Сивцов А.В., Тейлор В.Р. (2003) Особенности минеральных включений и примесей в алмазах из лампроитов трубки Аргайл (Западная Австралия). *Геохимия*, (12), 1251-1261.
- Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Миронов А.Г., Очиров Ю.Ч. (2004) Благороднометалльная минерализация в родингитах юго-восточной части Восточного Саяна. *Геология и геофизика*, **45**(5), 577-587.
- Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Семейкина Л.К., Немеров В.К., Коваленкер В.А., Мохов А.В., Юдовская М.А. (1996) Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия). *Геология рудн. месторождений*, **38**(6), 467-484.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Козлов П.С., Шагалов Е.С. (2004) Самородное железо из ультраосновных обломочных пород (Петровский рудник, Средний Урал). *Уральская минералогическая школа-2004 "Под знаком щелочных пегматитов"*. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн. ун-та, 84-85.
- Ерохин Ю.В., Шагалов Е.С. (2005) Аваруит из Баженовского офиолитового комплекса. *VI Всерос. науч. чт. памяти Ильменского минералога В.О. Полякова*. Мисс: Изд-во ИМин УрО РАН, 23-26.
- Жмодик С.М., Миронов А.Г., Деревенец В.Г., Агафонов Л.В., Очиров Ю.Ч. (1998) Новый тип олово-золото-(ртуть)-платиноталльной рудной минерализации в Восточном Саяне. *Докл. АН*, **361**(4), 510-513.
- Казаченко В.Т., Лаврик С.Н., Перевозникова Е.В., Скосарева Н.В. (2015) Габброиды сергеевского и калиновского комплексов Сихотэ-Алиня: геохимия и изотопные отношения самария, неодима, стронция и свинца. *Вестн. Кольского науч. центра РАН*, **3**(22), 21-39.
- Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Перевозникова Е.В., Карабцов А.А. (2008) Минеральные формы благородных металлов в металлоносных отложениях триасово-юрской углеродистой толщи Сихотэ-Алиня. *Докл. АН*, **421**(3), 383-386.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Лаврик С.Н. (2016) Геохимические и изотопные "метки" древних габброидов в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках, скарнах и рудах скарновых месторождений Сихотэ-Алиня. *Вестн. Кольского науч. центра РАН*, **4**(27), 16-36.
- Казаченко В.Т., Сапин В.И. (1990) Минералогия и генезис железо-марганцевого оруденения Прибрежной зоны Приморья. Владивосток: ДВО АН СССР, 248 с.
- Кудрявцева А.И., Кудрявцев В.И. (2003) Проявление медистого и серебристого золота в благороднометалльном оруденении Южно-Тувинского гипербазитового пояса. Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. *Геоэкология природной среды и общества*. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 45-48.
- Мирошниченко Н.В., Перевозникова Е.В. (2010) Интерметаллическое соединение Ni₃Au и твердые растворы золота и никеля в метаморфизованных металлоносных осадках трассовой кремневой формации Сихотэ-Алиня. *Тихоокеан. геология*, **29**(1), 60-66.
- Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Варламов Д.А., Шанина С.Н. (2006). Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов. *Литосфера*, (1), 113-134.
- Новгородова М.И. (1983) Самородные минералы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 288 с.
- Перевозникова Е.В. (2010) Марганцевосиликатные породы Южного Сихотэ-Алиня: минералогия и генезис. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 192 с.
- Петровский В.А., Карфункель И., Мартинс М., Лютоев В.П., Глухов Ю.В., Сухарев А.Е., Филиппов В.Н., Магазина Л.О. (2004) Морфологическое и субструктурное строение природных карбонадо. *Поверхность. Рентген. синхротрон. и нейтрон. исслед.*, (9), 73-85.
- Петровский В.А., Мартинс М., Карфункель И., Самойлович М.И., Белянкин А.Ф., Лютоев В.П., Сухарев А.Е., Глухов Ю.В. (2003) Карбонадо: физические свойства, минеральные включения и условия образования. *Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства электронной техники)*. Мат-лы 9 Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. Москва, 206-220.
- Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. (2002) Месторождение медистого золота Золотая Гора (о "золотородингитовой" формации). М.: Науч. мир, 220 с.
- Титков С.В., Горшков А.И., Солодова Ю.П., Рябчиков И.Д., Магазина Л.О., Сивцов А.В., Гасанов М.Д., Самосоров Г.Г. (2005) Включения карбонатов в несовершенных алмазах из Якутских месторождений по данным аналитической электронной микроскопии. *"Минералогические исследования в решении геологических проблем"*. Мат-лы Годичного собрания МО РМО. М.: Изд-во ВИМС, 124-125.
- Титков С.В., Горшков А.И., Солодова Ю.П., Рябчиков И.Д., Магазина Л.О., Сивцов А.В., Гасанов М.Д., Седова Е.А., Самосоров Г.Г. (2006) Минеральные микровключения в алмазах кубического габитуса из месторождений Якутии по данным аналитической электронной микроскопии. *Докл. АН*, **410**(2), 255-258.
- Тищенко А.И. (2003) Самородные металлы в кимберлитах Восточного Приазовья. *"Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований"*. Тез. докл. Всерос. совещ., посвящ. 100-летию со дня рождения академика Ю.А. Кузнецова. Новосибирск: Филиал ГЕО, 329-330.
- Тищенко А.И. (2005) Находка самородного алюминия в Украине. *Минерал. журн.*, **27**(1), 38-43.
- Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П., Медведев Е.И. (2007) Самородные металлы в графитоносных породах Ханкайского террейна. *"Чтения, посвященные памяти академика К.В. Симакова"*. Тез. докл. Всерос. конф. Магадан, 107-108.
- Ashley P.M. (1975) Opaque mineral assemblage formed during serpentinization in the Coolac ultramafic belt, New South Wales. *J. Geol. Soc. Australia*, **22**, 91-102.
- Clarc A.H., Sillitoe R.H. (1970) Native Zn and α -Cu, Zn from mina Dulcinea de Llampos, Copiapo, Chile. *Amer. Miner.*, **55**(5-6), 1019-1021.

- Delura K. (2005) Magnetite-nickel sulphides-awaruite associations in serpentinites from Braszowice-Brzeznicza massif (Sudetic ophiolite, SW Poland). 12 Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland. "Crystalline Rocks of the East-European Craton", *Scientific Communications*. Krakow: Univ. SI, 147-150.
- Park J. (1981) Occurrence of Native Zinc at Hape Creek, Thames. *Trans. N.Z. Inst.*, **XXIV**, 386.
- Reith F., Zammit C.M., Shar S.S. et al. (2016) Biological role in the transformation of platinum-group mineral grains. *Nat. Geosci.*, **9**(4), 294.

REFERENCES

- Ashley P.M. (1975) Opaque mineral assemblage formed during serpentinization in the Coolac ultramafic belt, New South Wales. *J. Geol. Soc. Australia*, **22**, 91-102.
- Clarc A.H., Sillitoe R.H. (1970) Native Zn and α -Cu, Zn from mina Dulcinea de Llampos, Copiapo, Chile. *Amer. Miner.*, **55**(5-6), 1019-1021.
- Damdinov B.B., Zhmodik S.M., Mironov A.G., Ochirov Yu.Ch. (2004) Precious-metal mineralization in rodingites of the southwestern part of the East Sayan. *Geol. Geofiz.*, **45**(5), 577-587. (In Russian)
- Delura K. (2005) Magnetite-nickel sulphides-awaruite associations in serpentinites from Braszowice-Brzeznicza massif (Sudetic ophiolite, SW Poland). 12 Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland. "Crystalline Rocks of the East-European Craton", *Scientific Communications*. Krakow, Univ. SI, 147-150.
- Distler V.V., Mitrofanov G.L., Semeikina L.K., Nemirov V.K., Kovalenker V.A., Mokhov A.V., Yudovskaya M.A. (1996) Forms of occurrence of the platinum group metals and their genesis at the Sukhoy Log gold deposit (Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **38**(6), 467-484. (In Russian)
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S., Kozlov P.S., Shagalov E.S. (2004). Native iron from ultrabasic detrital rocks (Petrovsky mine, the Middle Urals). *Ural'skaya mineralogicheskaya shkola-2004 "Pod znakom shchelochnykh pegmatitov"* [Urals Mineralogical School-44 "Under Signe of alkaline pegmatites"]. Ekaterinburg, Urals St. Univ. Publ., 84-85. (In Russian)
- Erokhin Yu.V., Shagalov E.S. (2005). Awaruite from the Bazhenovo ophiolite complex. *VI Vserossiiskie nauchnye chteniya pamyati Il'menskogo mineraloga V.O. Polyakova* [IV Oll-Russian sci. Conf. in memory Ilmeny mineralogist V.O. Polyakov]. Miass, IMin UrO RAN Publ., 23-26. (In Russian)
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism, and metallogeny of East Russia]. (2006) Book 1 (Ed. A.I. Khanchuk). Vladivostok, Dal'nauka Publ., 572 p. (In Russian)
- Gorshkov A.I., Bershov L.V., Titkov S.V., Vinokurov S.F., Ryabchikov I.D., Magazina L.O., Sivtsov A.V., Teilor V.R. (2003) Features of mineral inclusions and admixtures in diamonds from lamproites of Argail Pipe (West Australia). *Geokhimiya*, (12), 1251-1261. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Lavrik S.N., Perevoznikova E.V., Skosareva N.V. (2015) Gabbroids of the Sergeevsky and Kalinovskiy complexes of the Sikhote-Alin: geochemistry and isotope ratios of samarium, neodymium, strontium, and lead. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, **3**(22), 21-39. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Miroschnichenko N.V., Perevoznikova E.V., Karabtsov A.A. (2008) Mineral forms of precious metals in metal-bearing deposits of the Triassic-Jurassic carbonaceous bed of the Sikhote-Alin. *Dokl. Akad. Nauk*, **421**(3), 383-386. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Lavrik S.N. (2016) Geochemical and isotopic "marks" of ancient gabbroids in the Triassic metamorphosed metal-bearing sediments, skarns, and ores of skarn deposits of the Sikhote-Alin. *Vestn. Kol'skogo NTs RAN*, **4**(27), 16-36. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Sapin V.I. (1990) *Mineralogiya i genesis zhelezo-margantsevoogo orudneniya Pribrezhnoy zony Primor'ya* [Mineralogy and genesis of the iron-manganese mineralization of Pribrezhnaya zone of Primorye]. Vladivostok, DVO AN SSSR Publ., 248 p. (In Russian)
- Khanchuk A.I., Plyusnina L.P., Molchanov V.P., Medvedev E.I. (2007) Native metals in graphite rocks of Khanka terrane. *Chteniya, posvyashchennye pamyati akademika K.V. Simakova*. Tezisy dokl. Vserossiiskoi konf. [Conf. in memory Akademician K.V. Simakov. Thesis of reports]. Magadan, 107-108. (In Russian)
- Kudryavtseva A.I., Kudryavtsev V.I. (2003) Occurrence of copper and silver gold in precious-metal mineralization of the South Tuva ultrabasite belt. *Geoecologiya prirodnoi sredy i obshchestva* [Geoecology of the natural environment and society]. Kyzyl, TuvIKOPR, SO RAN Publ., 45-48. (In Russian)
- Miroschnichenko N.V., Perevoznikova E.V. (2010) Ni₃Au intermetallic compound and solid solutions of gold and nickel in the metamorphosed metal-bearing sediments of the Triassic silicic formation of the Sikhote-Alin. *Tikhookean. Geol.*, **29**(1), 60-66. (In Russian)
- Murzin V.V., Sazonov V.N., Varlamov D.A., Shanina S.I. (2006) Gold mineralization in rodingites of the massifs of alpine-type ultrabasites. *Litosfera*, (1), 113-134. (In Russian)
- Novgorodova M.I. (1983) *Samorodnye mineraly v gidrotermal'nykh rudakh* [Native minerals in hydrothermal ores]. Moscow, Nauka Publ., 288 p. (In Russian)
- Park J. (1981) Occurrence of Native Zinc at Hape Creek, Thames. *Trans. N.Z. Inst.*, **XXIV**, 386.
- Perevoznikova E.V. (2010) *Margantsevosilikatnye porodny Yuzhnogo Sikhote-Alinya: mineralogiya i genesis*. Dis. kand. geol.-min. nauk [Manganese-silicated rocks of the South Sikhote-Alin: mineralogy and genesis. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Vladivostok, 192 p. (In Russian)
- Petrovskii V.A., Karfunkel' I., Martins M., Lyutoev V.P., Glukhov Yu.V., Sukharev A.E., Filippov V.N., Magazina L.O. (2004) Morphological and substructural structure of natural carbonado. *Poverkhnost'. Rent., sikhrotron. neitron. Issled.*, (9), 73-85. (In Russian)
- Petrovskii V.A., Martins M., Karfunkel' I., Samoilovich M.I., Belyankin A.F., Lyutoev V.P., Sukharev A.E., Glukhov Yu.V. (2003) Carbonado: physical properties, mineral inclusions, and formation conditions. "Vysokie tekhnologii v promyshlennosti Rossii (materialy i ustroystva elektronnoi tekhniki)". Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii ["High technologies in the industry of Russia (materials and devices of electronic equipment)". Materials 9 Intern. scientific-techn. Conf. V. 2]. Moscow, 206-220. (In Russian)

- Reith F., Zammit C.M., Shar S.S. et al. (2016) Biological role in the transformation of platinum-group mineral grains. *Nat. Geosci.*, **9**(4), 294.
- Spiridonov E.M., Pletnev P.A. (2002) *Mestorozhdenie medistogo zolota Zolotaya gora (o "zoloto-rodingitovoi" formatsii)* [Zolotaya Gora copper-gold deposit (about "gold-rodingite" formation)]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 220 p. (In Russian)
- Titkov S.V., Gorshkov A.I., Solodova Yu.P., Ryabchikov I.D., Magazina L.O., Sivtsov A.V., Gasanov M.D., Samosorov G.G. (2005) Carbonate inclusions in imperfect diamonds from the Yakutia deposits on the data of the analytical electron microscopy. "*Mineralogicheskie issledovaniya v reshenii geologicheskikh problem*". Materialy Godichnogo sobraniya MO RMO [Mineralogical researches in the solution of geological problems. Materials of the Annual Meeting of Moscow Department Russ. Mineral. Soc.]. Moscow, VIMS Publ., 124-125. (In Russian)
- Titkov S.V., Gorshkov A.I., Solodova Yu.P., Ryabchikov I.D., Magazina L.O., Sivtsov A.V., Gasanov M.D., Sedova E.A., Samosorov G.G. (2006) Mineral microinclusions in diamonds of cubic habit from the deposits of Yakutia from the data of the analytical electron microscopy. *Dokl. Akad. Nauk*, **410**(2), 255-258. (In Russian)
- Tishchenko A.I. (2003) Native metals in kimberlites of the East Azov area. "*Sovremennye problemy formatsionnogo analiza, petrologiya i rudonosnost' magmaticheskikh obrazovaniy*". Tezisy dokl. Vserossiiskogo soveshchaniya, posvyashchennogo 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Ju.A. Kuznetsova [Modern problems of formation analysis, petrology and ore-bearing magmatic formations. Abstracts of rep. All-Russia Conf., dedicated 100th anniversary of the birth of Academician Yu.A. Kuznetsov]. Novosibirsk, Branch of GEO Publ., 329-330. (In Russian)
- Tishchenko A.I. (2005) Finding of native aluminium in Ukraine. *Mineralogicheskii zhurnal*, **27**(10), 38-43. (In Russian)
- Volokhin Yu.G., Ivanov V.V. (2007) Geochemistry and metal content of the Triassic carbonaceous silicites of the Sikhote-Alin. *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 406-425. (In Russian)
- Volokhin Yu.G., Karabtsov A.A. (2016) Minerals in the Triassic carbonaceous silicites of the Sikhote-Alin. *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 465-484. (In Russian)
- Volokhin Yu.G., Mikhailik E.V., Buriy G.I. (2003). *Triasovaya kremnevaya formatsiya Sikhote-Alinya* [The Triassic silicic formation of the Sikhote-Alin]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 252 p. (In Russian)
- Zhmodik S.M., Mironov A.G., Derevenets V.G., Agafonov L.V., Ochirov Yu.Ch. (1998) A new type of the tin-gold-(mercury)-platinum-bearing ore mineralization in the East Sayan. *Dokl. Akad. Nauk*, **361**(4), 510-513. (In Russian)