

УДК 553.491(551.761+571.63)

**МИНЕРАЛОГИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
В МАРГАНЦЕВО-СИЛИКАТНЫХ ПОРОДАХ
ТРИАСОВОЙ КРЕМНЕВОЙ ФОРМАЦИИ СИХОТЭ-АЛИНЯ**

В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова
ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

Аннотация

Особенностью минералогии Au в марганцево-силикатных породах (метаморфизованных металлоносных осадках) являются редкие минеральные формы, такие как так называемое «медистое Au» и порпезит. Минералы Pt и Pd представлены самородными формами, а также твердыми растворами Pt, Pd, Bi, Ag и Sn. Основное количество Ag присутствует в виде сульфида и в самородном состоянии. Размерность частиц минералов благородных металлов изменяется от долей миллиметров до коллоидно-дисперсной. Минералы Au, Pt, Pd и Ag образовались (в нынешнем виде) в процессе метаморфизма за счет вещества протолита, а также благородных металлов триасовых углеродистых силицитов, мигрировавших по трещинам в другие породы в составе флюида с высоко-, ультравосстановительными способностями. Марганцево-силикатные породы Сихотэ-Алиня изначально являлись продуктами размыва латеритной коры выветривания (поздний анизий — конец триаса) габброидов островов, накапливавшимися в прилегающих к островам акваториях. Обогащение благородными и другими металлами протолитов марганцево-силикатных пород и триасовых углеродистых силицитов обусловлено, вероятно, их сорбированием гидроксидами Mn и Fe, а также органическим веществом в процессе экзогенного выветривания габброидов.

Ключевые слова:

благородные металлы, минералогия, марганцево-силикатные породы, углеродистые силициты, триас, Сихотэ-Алинь.

**MINERALOGY OF PRECIOUS METALS IN MANGANESE SILICATE ROCKS
OF THE TRIASSIC SILICON FORMATION OF THE SIKHOTE-ALIN**

Valentin T. Kazachenko, Elena V. Perevznikova
Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

Abstract

Specific feature of the Au mineralogy in manganese silicate rocks (metamorphosed metalliferous sediments) are the rare mineral forms, such as so called “copper Au” and porpezite. Pt and Pd minerals are represented by native forms and solid solutions of Pt, Pd, Bi, Ag, and Sn. The main Ag amount is present in the form of sulfide and in native state. Particle sizes of minerals of precious metals vary from the millimeter shares to colloid-dispersion. The Au, Pt, Pd, and Ag minerals originated (in present form) in the process of metamorphism at the expense of the protolith matter and precious metals of the Triassic carbonaceous silicites that migrated along the fractures to other rocks in the composition of the fluid with high- and ultra-reduction abilities. The manganese silicate rocks of the Sikhote-Alin were initially the products of the washout of the laterite crust of weathering (Late Anisian — Triassic end) of gabbroids of islands accumulated in the water areas adjacent to the islands. The enrichment of the manganese silicate rocks and the Triassic carbonaceous silicites in precious and other metals of protoliths was, probably, governed by sorption of them by Mn and Fe hydroxides and organic matter through the exogenic weathering of gabbroids.

Keywords:

precious metals, mineralogy, manganese silicate rocks, carbonaceous silicites, Triassic, the Sikhote-Alin.

Введение

Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня сложена кремнями, кремневыми аргиллитами, аргиллитами и алевроаргиллитами [1]. 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-Бикийский террейны), а также меловой (Таухинский) аккреционных призм (рис. 1).

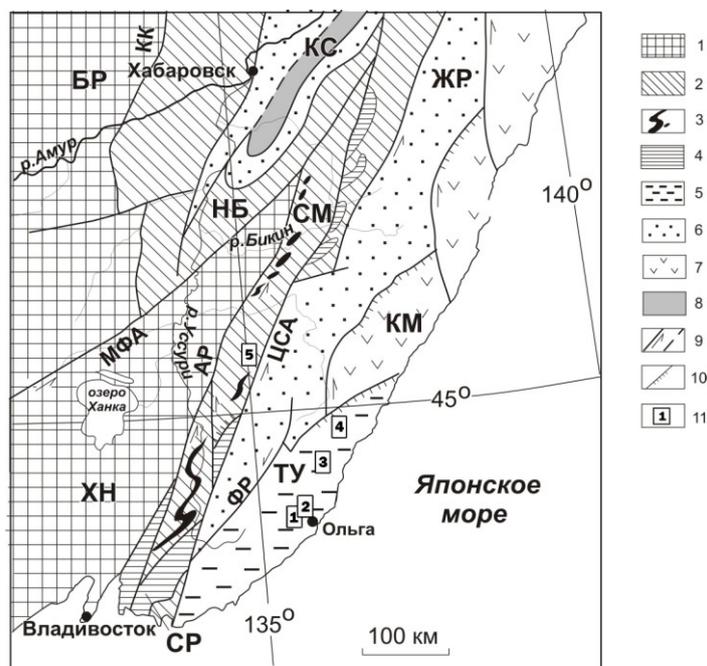


Рис. 1. Положение изученных объектов в Сихотэ-Алине. Тектоническая основа по А. И. Ханчуку [30] с небольшими изменениями:

- 1 — ХН — Ханкайский массив, БР — Буреинский массив; 2 — юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): СМ — Самаркинский, НБ — Наданьхада-Бикийский; 3 — калиновские габброиды (девон?); 4 — Окраинско-Сергеевский террейн (СР) и его фрагменты; 5–8 — раннемеловые террейны: 5 — неокомовской аккреционной призм (ТУ — Таухинский), 6 — турбидитового бассейна (ЖР — Журавлевско-Амурский); 7 — баррем-альбской островодужной системы (КМ — Кемский); 8 — альбской аккреционной призм (КС — Киселевско-Маноминский); 9 — левые сдвиги: КК — Куканский, АР — Арсеньевский, МФА — Мишань-Фушуньский (Алчанский), ЦСА — Центральный Сихотэ-Алинский, ФР — Фурмановский; 10 — надвиги; 11 — изученные площади: 1 — Широкопаднинская, 2 — Мокрушинская, 3 — Высокогорская, 4 — Садовая, 5 — Горная

Особенностью формации является наличие яшм и углеродистых разностей кремнистых и кремнисто-глинистых пород, приуроченных к определенным стратиграфическим горизонтам. Они сформировались в узкие интервалы времени, поэтому являются маркирующими отложениями [1]. Нижняя часть формации сложена «глинисто-кремнистой» толщей [2]. Она обогащена прослоями углеродистых разностей пород. Интервал максимального развития таких прослоев выделен в качестве «фтанитовой» пачки [1]. Возраст «глинисто-кремнистой» толщи отвечает верхам нижнего триаса (оленок) — среднему триасу (средний анизий) [1]. Она перекрыта «кремневой» толщей, сложенной светло-серыми плитчатыми кремнями. В основании толщи присутствует горизонт яшм мощностью более 3 м. Уровень их появления — верхний анизий-ладинский ярус [1]. Вышележащие кремни относятся к карнию и норю. Обе толщи

легко узнаются в Таухинском и Самаркинском террейнах Сихотэ-Алиня по литологии и маркирующим горизонтам. Марганцево-силикатные породы вместе с яшмами и силикатно-магнетитовыми рудами слагают единую пачку или фашиально замещающие друг друга линзы и пласты в основании «кремневой» толщи. Триасовые метаморфизованные металлоносные осадки обогащены Au, Ag, Pt, Pd, содержат минералы этих элементов, самородные формы других металлов и интерметаллические соединения.

С метаморфизованными металлоносными осадками триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня пространственно ассоциируют крупные объемы вмещающих пород, рассеченных многочисленными минерализованными трещинами с аномально высоким содержанием благородных и других металлов и разнообразными минералами Au, Ag, Pt, Pd (условно, «штокверковые тела»). Целью данной работы являлось выяснение особенностей минералогии и генезиса благороднометалльной минерализации в марганцево-силикатных породах Малиновского (Самаркинский террейн), Ольгинского и Дальнегорского (Таухинский) рудных районов (рис. 1).

Методика исследований

Для оценки содержания благородных металлов в триасовых металлоносных осадках были использованы пробирный (П) (с атомно-абсорбционным окончанием), атомно-абсорбционный (АА) и масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой (ИСП МС) (с кислотным разложением проб и последующим восстановлением благородных металлов SnCl_2 и концентрированием на элементарном теллуре) методы, а также растворение проб в кислотах. Пробоподготовка для аналитических исследований проводилась по стандартной методике. Анализы П-методом выполнены в лаборатории анализа благородных металлов ДВГИ ДВО РАН, АА — в лабораториях аналитической химии и анализа благородных металлов ДВГИ ДВО РАН с использованием спектрометра АА-6800 (Shimadzu, Япония), ИСП МС — в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН на приборе ICP-MS 7500c (Agilent Technologies, Inc.) и ХИАЦ ИТИГ ДВО РАН (ICP-MS Elan DRC II Perkin Elmer, США). Всего изучено 288 штучных проб. Результаты АА-анализа частично были заверены путем измерения концентраций благородных металлов (в тех же растворах) рентгено-флюоресцентным методом в ИХ ДВГИ ДВО РАН. Полученные данные частично приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Содержание благородных металлов в марганцево-силикатных породах
Ольгинского рудного района

№ п/п	Проба	Au	Pd	Pt	Rh	№ п/п	Проба	Au	Pd	Pt	Rh
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ф-04-2	0,007	0,006	0,113	–	18	Ф-80-10	0,103	0,000	0,151	0,00
2	Ф-04-3	0,003	0,015	0,142	–	19	Ш-80-183	26,329	0,010	0,097	2,78
3	Ф-04-1	0,005	0,000	0,125	–	20	Ф-04-16	0,189	0,000	8,386	0,00
4	Ш-86-41	0,004	0,000	0,31	–	21	Ф-04-3а	0,236	0,000	0,039	0,00
5	Ш-86-183	0,011	0,005	0,138	–	22	Ф-04-5	0,161	0,000	0,065	0,00
6	К-80-14	0,023	0,005	0,334	–	23	К-80-5/19	0,118	0,000	0,162	0,00
7	Р-80-8	(1,147)	–	0,087	–	24	К-80-13	0,482	0,000	0,673	0,00

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	К-80-11	0,000 (0,993)	0,068	0,022	–	25	Р-80-40	1,077	2,603	4,272	368,3
9	К-80-13	0,032 (1,547)	0,010	0,014	–	26	Ар-80-1	0,485	0,000	0,019	0,00
10	Р-80-18	(1,732)	–	–	–	27	Р-80-27	24,106	0,000	1,015	0,00
11	К-80-20	(2,932)	–	0,205	–	28	Ф-80-10а	0,143	0,027	0,045	0,13
12	Мт-81-11	0,131	0,000	0,000	0,00	29	Ф-80-5а	0,017	0,001	0,005	0,00
13	М-81-3	0,233	0,000	0,000	0,00	30	Ф-80-10в	0,134	0,002	0,013	1,20
14	М-81-17	3,839	0,017	0,275	0,00	31	Ш-86-96	0,076	0,022	0,003	0,00
15	Р-80-100	0,551	0,009	0,022	0,00	32	Ш-80-12	0,003	0,000	0,010	0,00
16	К-80-21	0,005	0,000	0,016	0,00	33	Ш-86-62	1,262	0,000	5,489	0,00
17	Мт-81-8	0,051	0,000	3,102	0,00	34	Ф-80-2	0,025	0,000	0,004	0,00

Примечание. Au, Pd, Pt указаны в граммах на тонну, Rh — в миллиграммах на тонну. Анализ выполнен методом ИСП МС: 1–11 — ДВГИ ДВО РАН; 12–34 — ХИАЦ ИТИГ, в скобках — АА-методом с экстракцией дибутилсульфидом (ДВГИ ДВО РАН).

Таблица 2

Содержание благородных металлов в марганцево-силикатных породах Малиновского рудного района, г/т

№ п/п	Проба	Au, I	Pd, I	Pt, I	Au, a	Au, п	№ п/п	Проба	Au, I	Pd, I	Pt, I	Au, a	Au, п
1	Эв-04-1	0,250	0,002	0,283	–	0,18	7	Эв-01-22	0,006	0,004	0,010	4,426	0,05
2	Эв-04-4	0,004	0,102	0,702	–	0,06	8	Эв-01-45	0,047	5,333	1,222	–	0,04
3	Эв-04-12	0,000	0,004	0,116	–	0,12	9	Эв-01-55	0,160	0,052	0,657	–	0,01
4	Эв-04-16	0,000	0,125	1,542	–	0,01	10	Эв-93-507	0,005	0,227	0,038	5,169	0,02
5	Эв-04-18	0,000	0,007	0,135	–	0,10	11	Эв-93-511	0,000	0,001	0,009	3,212	0,04
6	Эв-01-13	0,006	0,130	0,028	–	3,06	12	Эв-93-512	8,432	0,005	1,294	–	1,17

Примечание. I — ИСП МС (ДВГИ ДВО РАН); а — АА-метод с экстракцией дибутилсульфидом; п — П-метод.

Таблица 3

Серебро в марганцево-силикатных породах Широкопаднинской площади

Пробирный метод			Атомно-абсорбционный метод		
№ п/п	Проба	Содержание, г/т	№ п/п	Проба	Содержание, г/т
1	2	3	4	5	6
1	К-80-13	27,74	12	Ш-80-2	5,0
2	К-80-13	25,74	13	Ш-80-1	1,25
3	К-80-11	30,27	14	Р-80-4	5,0
4	К-80-11	30,1	15	Р-80-19	2,5
5	Ш-80-8	18,94	16	Р-80-41	2,5
6	Ш-80-8	22,74	17	Ш-80-8	8,75
7	К-80-20	13,18	18	Р-80-42	2,5

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6
8	К-80-20	9,82	19	К-80-21	52,5
9	Р-80-18	8,39	20	Ш-80-7	6,25
10	Р-80-18	5,67	21	К-80-1	7,5
11	Б-79-102	2,5	22	К-80-14	2,5

Примечание. Анализы выполнены в лабораториях анализа благородных металлов (П-методом) и аналитической химии (АА-методом) ДВГИ ДВО РАН.

Анализы минералов (в аншлифах и неполированных зернах) выполнены в ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральных микроанализаторах JXA-5A и JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight (табл. 4–7) по методикам, принятым в этой организации. Присутствующие в анализах (табл. 5–7) примеси порообразующих элементов при расчете формул не принимались во внимание.

Таблица 4

Состав самородного золота из марганцево-силикатных пород
Широкопаднинской площади, мас. %

№ п/п	Проба	Зерно	Au	Ag	Сумма	Пробность золота	Цвет
1	Р-80-19	1	87,05	13,60	100,65	865	Желтый
2		2	88,90	12,30	101,20	878	То же
3	Р-80-41	1	71,94	27,40	99,34	724	«
4		2	67,90	29,99	97,89	694	«
5		3 (а)	99,62	0,00	99,62	1000	«
6		3(б)	80,14	19,03	99,17	808	«
7		4	70,35	29,56	99,91	704	«
8		5	67,51	32,91	100,42	672	«
9		6	98,77	1,31	100,08	987	«
10		7	62,84	36,89	99,73	630	«
11		8	88,37	11,79	100,16	882	«
12		9	87,41	12,22	99,63	877	«
13		10	76,50	23,45	99,95	765	«
14		11	80,72	18,31	99,03	815	«
15		12	88,00	11,95	99,95	880	«
16	13	54,21	46,83	101,08	536	Бледно-желтый (почти белый)	
17	Ф-04-5	1	94,68	5,32	100,00	947	Желтый
18		2	95,15	4,85	100,00	952	То же
19	Ш-86-41	1	85,42	14,58	100,00	854	«
20	К-80-13	1	94,08	5,92	100,00	941	«

Примечание. Зерна выделены растворением проб в кислотах. Состав определен на электронных микроанализаторах JXA-5A (1–16) и JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight (17–20) в ДВГИ ДВО РАН. Анализы 17–20, выполненные на неполированных зернах, нормированы на 100 % (аналитики: В. И. Сапин и А. А. Карабцов). По результатам анализа АА-методом, содержание Au в пробе Р-80-41 составляет 32,7–42,3 г/т.

Результаты изучения минералов благородных металлов
в марганцево-силикатных породах Садовой площади, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
O	12,05	8,92	32,76	33,44	9,95	24,21	21,86	18,19	24,77	28,57	26,28
Mg	0,68	0,44	0,47	1,83	–	1,11	0,82	–	–	0,4	0,35
Al	0,31	–	0,98	0,42	0,90	1,24	1,06	–	–	–	–
Si	8,6	5,50	13,12	18,77	4,70	10,22	9,17	10,78	10,59	9,57	8,49
S	–	–	–	–	5,88	5,90	6,38	3,51	3,16	5,35	–
Ca	6,47	4,98	6,33	11,07	3,25	7,21	6,93	3,04	3,24	2,12	2,31
Mn	2,24	2,22	2,85	5,42	2,45	2,82	2,71	1,43	1,48	14,92	12,66
Fe	5,29	5,28	6,87	8,19	3,37	5,47	5,22	6,17	6,09	0,57	0,54
Cu	–	23,22	9,92	6,42	8,88	–	–	–	–	–	–
Zn	–	–	0,78	–	12,33	–	–	–	–	–	–
Se	–	–	–	–	–	1,96	2,46	10,84	9,89	–	–
Ag	6,02	4,64	1,76	1,11	4,25	39,85	43,40	46,03	41,67	0,97	–
Au	62,22	44,79	24,16	15,65	44,04	–	–	–	–	–	–
Pb	–	–	–	–	–	–	–	–	–	34,37	43,27
Сумма	103,89	99,99	100,00	102,32	100,00	99,99	100,01	99,99	101,40	99,47	94,68

Примечания: 1 — золото; 2–5 — «медистое золото» (5 — в сростании со сфалеритом); 6, 7 — сульфид серебра; 8, 9 — агвиларит; 10 — галенит; 11 — церуссит. Формулы: 1 — $Ag_{0,15}Au_{0,85}$; 2 — $Cu_{3,00}[(Cu_{0,45}Au_{0,14})Ag_{0,41}]_{1,00}Au_{2,00}$; 3 — $Cu_{3,00}[(Cu_{0,05}Zn_{0,24}Au_{0,40})Ag_{0,32}]_{1,00}Au_{2,00}$; 4 — $Cu_{3,00}[(Cu_{0,17}Au_{0,50})Ag_{0,33}]_{1,00}Au_{2,00}$; 5 — $Cu_{1,04}(Au_{1,66}Ag_{0,30})_{1,96}$; 6 — $Ag_{1,92}(S_{0,95}Se_{0,13})_{1,08}$; 7 — $Ag_{1,91}(S_{0,94}Se_{0,15})_{1,09}$; 8 — $Ag_{1,90}(S_{0,49}Se_{0,61})_{1,10}$; 9 — $Ag_{1,90}(S_{0,49}Se_{0,61})_{1,10}$; 10 — $(Pb_{0,97}Ag_{0,05})_{1,02}S_{0,98}$; 11 — $(Pb_{0,96}Rh_{0,04})_{1,00}CO_3$.

Состав определен на электронном микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight в ДВГИ ДВО РАН. Кроме того, в анализах 9–11 содержание Na, Cr и Rh — 0,51, 2,64 и 0,78 мас. %.

Результаты исследований

Главными элементами марганцево-силикатных пород, выходы которых изучены на Горной (Самаркинский террейн), Широкопаднинской, Мокрушинской и Садовой (Таухинский террейн) площадях, являются Mn^{+2} и Si, в подчиненном количестве присутствуют Al, Ca, Mg, Fe, щелочи, Ti и P [3, 4]. По результатам изучения ИСП МС методом марганцево-силикатные породы обогащены Ba, REE, Ni, Co, Pb, Zn, Cu, As, Nb, Sb, Sn, Mo и др. Родонит — один из основных минералов марганцево-силикатных пород всех изученных площадей. Пироксмангит является обычным минералом на Горной площади (Малиновский рудный район) и относительно редко встречается на Широкопаднинской (Ольгинский рудный район) и Садовой (Дальнегорский рудный район) площадях. Бустамит, пироксен и манганаксинит характерны только для марганцево-силикатных пород Широкопаднинской площади.

Недосыщенные и бедные кремнием минералы — тефроит и манганпиромалит — не встречаются только в марганцево-силикатных породах Горной площади. Сульфид марганца — алабандин, обнаружен только на Садовой площади. Минералы глинозема представлены в основном спессартином, но на Горной площади, кроме того, распространены полевые шпаты и флогопит. Для марганцево-силикатных пород характерно присутствие V-содержащих разновидностей спессартина и пиррофанита, а также Ba-содержащих флогопита и полевых шпатов.

Таблица 6

Результаты изучения минералов благородных металлов в марганцево-силикатных породах Широкопадинской и Мокрушинской площадей, мас. %

№ п/п	Образец	O	Mg	Al	Si	S	Na	Ca	Mn	Fe	Cu	Co	Ni	As	Pd	Ag	Te	Pb	Au	Сумма
1	Ф-80-1	12,67	1,18	—	4,04	—	—	0,97	3,79	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	78,04	102,98
2		18,71	0,84	0,83	12,32	—	0,74	0,76	5,46	2,18	1,40	—	—	—	—	—	—	—	55,60	99,45
3	Ф-79-32	19,68	0,43	0,65	8,45	—	0,29	0,90	5,55	1,17	—	0,40	—	—	—	—	—	—	62,17	99,69
4		20,34	0,48	0,82	8,39	—	—	1,03	6,14	1,36	0,46	0,41	—	—	—	—	—	—	60,18	99,61
5	Р-80-60	—	0,32	—	—	—	—	—	1,86	—	—	—	—	—	—	96,22	0,74	—	—	99,13
6		5,72	0,37	—	1,39	12,17	—	—	2,43	0,47	—	—	—	—	—	80,6	—	—	—	103,14
7	Ф-80-1	7,67	—	—	1,03	8,59	—	—	1,49	4,92	—	—	—	—	—	72,69	—	—	—	99,40
8		2,76	—	—	0,32	18,15	—	—	2,77	2,37	—	19,88	12,48	40,52	—	1,22	—	—	—	100,47
9		19,38	0,48	—	11,92	—	—	2,25	16,26	2,02	—	—	—	—	—	1,12	18,55	30,93	—	102,91
10	Р-80-15	2,29	—	—	1,19	1,27	—	—	2,72	0,51	—	0,88	0,65	2,31	—	1,23	33,78	55,41	—	102,24
11		17,13	0,45	—	3,98	9,02	—	0,71	6,22	1,26	—	—	—	—	—	62,11	0,67	—	—	101,53
12		10,71	—	—	3,73	—	—	0,57	5,51	1,04	—	—	—	—	—	2,18	29,34	41,77	—	100,00
13	Ф-80-10	7,2	0,41	—	1,03	0,87	—	0,33	—	1,24	—	—	—	—	—	80,78	0,68	—	—	98,85
14		30,99	6,82	3,23	17,13	—	—	1,13	2,88	5,86	8,21	—	—	—	—	2,11	—	—	20,66	99,02
15	Ш-86-129	7,76	—	—	2,47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	89,14	—	—	—	99,36
16		2,2	—	—	0,87	12,34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,32	—	—	—	95,56
17		8,11	—	—	2,67	11,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,66	—	—	—	103,00
18		16,92	—	—	7,45	—	—	0,76	7,25	0,77	—	—	—	—	4,43	3,81	—	—	57,97	102,60
19		15,38	—	0,58	1,24	—	0,79	2,28	8,64	1,13	0,64	—	—	—	2,78	5,88	—	—	60,69	100,03
20	М-86-27	25,00	—	—	—	—	—	—	8,67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85,60	98,75
21		2,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101,69
22		8,05	—	1,48	—	10,95	—	—	3,02	—	—	—	—	—	—	79,1	—	—	—	102,60

Примечание. Состав определен на электронном микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight в ДВГИ ДВО РАН. Площади — Широкопадинская (1–17) и Мокрушинская (18–22).

Золото — 1–4, 18–21; «медное золото» — 14; серебро — 5, 13, 15; сульфид Ag — 6, 11, 22; смесь сульфидов и хлорида Ag — 7; кобальтин-герседорфит с включениями самородного серебра (?) — 8; галенит — 16 и 17 (с включениями самородного серебра (?)); аллит — 9, 10 (с включениями кобальтин-герседорфита) и 12.

Формулы: 1 — $Al_{1,05}S_2$; 2 — $Al_{0,95}Cu_{0,07}S_3$; 3 — $Al_{0,96}Cu_{0,02}Co_{0,02}S_5$; 4 — $Al_{0,96}Cu_{0,02}Co_{0,02}S_5$; 5 — $Ag_{0,95}Te_{0,05}S_6$; 6 — $Ag_{1,99}Si_{1,01}S_8$; 7 — $(Co_{0,61}Ni_{0,38})As_{0,98}Si_{1,05}S_9$; 8 — $(Pb_{0,98}Ag_{0,07})_{1,05}Te_{0,95}S_{10}$; 9 — $(Pb_{0,98}Ag_{0,04})_{1,02}Te_{0,97}S_{11}$; 10 — $(Pb_{0,98}Ag_{0,04})_{1,02}Te_{0,97}S_{11}$; 11 — $Ag_{2,00}(S_{0,98}Te_{0,02})_{12}$; 12 — $(Pb_{0,83}Bi_{1,10}Ag_{0,08})_{1,03}Te_{0,96}S_{13}$; 13 — $Ag_{0,98}Rh_{0,01}Te_{0,01}S_{14}$; 14 — $Cu_{3,00}(Cu_{0,05}Au_{0,48}Ag_{0,47})_{1,00}Au_{2,00}S_{15}$; 15 — $Ag_{1,05}S_{16}$; 16 — $Pb_{0,99}S_{1,01}S_{17}$; 17 — $Pb_{0,96}S_{1,04}S_{18}$; 18 — $Pd_{0,11}Ag_{0,10}Au_{0,79}S_{19}$; 19 — $Cu_{0,03}Pd_{0,07}Ag_{0,13}Au_{0,77}S_{20}$; 20 — $Au_{1,05}S_{21}$; 21 — $Al_{0,88}Ag_{0,07}Pd_{0,05}Pb_{0,05}S_{22}$; 22 — $Ag_{2,05}S_{0,95}$.

Кроме того, ан. 1 и 7 содержат 0,61 и 3,00 мас. % Cl соответственно, ан. 4 — 0,50 мас. % K; ан. 12 — 5,15 мас. % Bi; ан. 13 — 0,53 Rh и 5,79 Cr мас. %.

Таблица 7

Результаты изучения минералов благородных металлов в марганцево-силикатных породах Горной площади, мас. %

№ п/п	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Pd	Ag	Sb	Pb	Au	Pt	Сумма
1	37,72	—	0,37	36,50	—	—	—	—	7,23	—	—	2,82	—	—	15,37	—	100,01
2	32,61	—	—	30,57	—	—	—	—	10,27	—	—	4,31	—	—	22,24	—	100,00
3	36,49	2,31	1,93	29,17	—	—	0,91	1,20	8,55	—	—	1,67	—	—	16,87	—	99,99
4	12,38	0,44	—	6,22	—	0,26	10,53	0,39	20,72	—	—	4,65	0,29	—	44,96	—	100,85
5	11,35	0,36	—	6,03	—	0,41	10,5	—	19,9	—	—	5,26	—	—	46,09	—	99,89
6	6,55	0,25	—	4,16	—	0,46	10,09	0,89	—	—	1,17	—	—	—	—	79,63	103,21
7	4,95	—	—	2,57	—	0,31	8,11	0,9	—	—	1,56	—	—	—	—	83,34	102,48
8	15,01	—	—	8,74	0,65	0,32	13,08	0,52	—	—	—	—	—	—	—	61,86	100,18
9	26,44	—	—	23,74	—	0,31	0,60	—	—	—	8,02	—	—	—	—	40,89	100,00
10	36,26	—	—	34,08	—	—	0,55	—	—	—	4,84	—	—	—	—	23,36	99,99
11	36,69	—	—	33,96	—	—	0,44	—	—	—	4,95	—	—	—	—	23,96	100,00
12	9,25	—	—	3,36	—	—	0,73	—	—	—	17,5	1,89	—	—	—	58,19	97,33
13	6,36	—	—	3,54	—	—	0,8	—	—	—	14,85	—	—	—	—	69,29	94,84
14	22,71	—	—	17,52	—	—	1,89	—	—	—	7,08	—	—	—	—	47,92	97,13
15	13,03	—	—	7,66	—	—	2,05	—	—	—	10,13	—	—	—	—	62,26	95,13
16	21,25	0,28	—	11,49	7,23	—	5,6	—	—	—	—	53,32	—	—	—	—	99,17
17	27,05	—	1,56	20,37	11,83	—	5,45	2,28	15,33	3,13	—	3,99	9,68	—	—	—	100,94
18	20	—	0,89	18,76	14,92	—	0,65	1,85	16,54	3,55	—	6,49	15,18	—	—	—	98,82
19	1,55	0,39	—	1,16	—	—	1,16	—	5,16	1,28	—	92,89	—	—	—	—	103,6
20	3	0,33	—	1,12	—	—	0,82	—	4,47	—	—	92,42	—	—	—	—	104,84
21	37,12	—	—	16,4	6,26	—	0,32	0,4	—	—	—	2,12	—	—	—	—	101,91
22	46,82	—	0,21	25,75	4,37	—	—	0,46	—	—	—	18,59	—	—	—	—	105,34
23	10,48	—	—	4,53	—	—	—	—	—	—	—	80,73	—	—	—	—	99,18
24	16,26	—	—	11,1	17,02	0,39	17,83	1,89	30,6	—	—	0,55	—	—	—	—	98,88
25	19,31	—	—	11,17	9,19	—	4,87	—	—	—	—	55,04	—	—	—	—	100,17
26	31,07	—	0,28	20,42	9,16	—	—	—	—	—	—	29,29	9,61	—	—	—	99,60

Примечание. Состав определен на электронном микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight в ДВГИ ДВО РАН.

«Медистое золото» — 1-5; платина — 6-15; пштинна — 6-15; сульфид Ag — 16, 25; тетраэдрит — 17, 18; серебро — 19, 20, 23; англезит — 21; сульфат Pb и Ag(?) — 22; ковеллин — 24; иридарит — 26.

Формулы: 1 — Cu₃[Cu_{0,13}(Au_{0,15}Ag_{0,72})]Au₅; 2 — Cu₃[Cu_{0,08}(Au_{0,15}Ag_{0,76})]Au₅; 3 — Cu₃[Cu_{0,27}(Au_{0,29}Ag_{0,43}Pb_{0,01})]Au₅; 5 — Cu₃[Cu_{0,15}(Au_{0,36}Ag_{0,49})]Au₅; 6 — Pt_{0,97}Pd_{0,03}; 7 — Pt_{0,97}Pd_{0,03}; 8 — Pt_{0,06}; 9 — Pt_{0,74}Pd_{0,26}; 10 — Pt_{0,70}Pd_{0,30} или (Pt_{2,83}Bi_{0,10}Zn_{0,03}Pd; 11 — Pd_{0,97}Pt_{0,03} или Pt_{3,90}Pd_{1,10}; 12 — Ag_{0,04}Bi_{0,06}Pd_{0,32}Pt_{0,58} или (Pt_{1,75}Bi_{0,13}Ag_{0,10}Zn_{0,03}Pd_{0,97}; 13 — Pd_{0,28}Pt_{0,72} или Pt_{2,32}Pd_{1,13}; 14 — Pt_{0,79}Pd_{0,21}; 15 — Pt_{0,77}Pd_{0,23}; 16 — Ag_{2,06}Sb_{0,04}; 17 — (Cu_{17,29}Ag_{2,65}Fe_{3,94}Zn_{3,43})Sb_{5,69}S_{26,45}; 18 — (Cu_{1,56}Ag_{3,69}Fe_{1,99}Zn_{2,25})Sb_{7,49}S_{27,97}; 19 — Ag_{0,90}Cu_{0,08}Zn_{0,02}; 20 — Ag_{0,90}Cu_{0,07}Rh_{0,02}Te_{0,01}; 21 — 0,95PbSO₄·0,05Ag₂SO₄; 22 — 0,34PbSO₄·0,66Ag₂SO₄; 23 — Ag_{0,96}Ni_{0,04}; 24 — (Cu_{0,90}Ni_{0,10}Ag_{0,01})_{1,01}Sb_{0,96}; 25 — Ag_{1,91}(S_{1,07}Te_{0,02})_{0,96}; 26 — Ag_{3,00}Sb_{0,86}S_{3,14}.

Номера образцов: 1, 2, 16 — Эв-01-24; 3, 17, 18 — Эв-01-5; 4-7, 19, 20 — Эв-93-206; 8-13, 23-26 — Эв-93-210; 14 и 15 — Эв-93-213; 21, 22 — Эв-01-31.

Кроме того, ан. 3 и 17 содержат 0,89 и 0,26 мас. % Si соответственно, ан. 7 — 0,74 Sn, ан. 10, 12 — 0,90 и 6,41 Bi, ан. 20 — 0,43 Cl, 1,51 Rh и 0,74 Te; ан. 23, 24 — 1,76 и 3,23 Ni; ан. 25 — 0,59 Te.

На Горной площади широко распространен гиалофан, на Широкопаднинской изредка встречается цельзиан. Флогопит Широкопаднинской площади отличается высоким содержанием бария [5] и отсутствием никеля, а во флогопите Горной площади присутствуют оба элемента, в виде изоморфной примеси (0,1 % массы). Распространены также марганцовистые амфиболы тремолит-ферроактинолитового и куммингтонит-грюнеритового рядов (Широкопаднинская и Мокрушинская площади Ольгинского рудного района, Горная площадь Малиновского рудного района), марганцовистый хлорит, манганаксинит и тинценит (Широкопаднинская площадь), а также родохрозит (Широкопаднинская и Горная площади).

Марганцево-силикатные породы образовались в результате нескольких последовательных событий [4]:

1) накопление обогащенных благородными и другими металлами, гидроокислами Mn и органическим веществом кремнистых и глинисто-кремнистых илов (поздний анизий);

2) диагенез восстановительного типа, обусловившего преобразование металлоносных осадков в кремнисто-родохрозитовые породы;

3) контактовый метаморфизм (мел-палеоген) с участием метаморфогенной флюидной фазы, при котором в результате реакций между кремнистым, глинистым и карбонатным веществом образовались породы, сложенные в основном силикатами и алюмосиликатами Mn⁺² [3].

Триасовые метаморфизованные металлоносные осадки обогащены благородными металлами. Всеми использованными методами (см. выше) были выявлены высокие содержания (до десятков граммов на тонну) в отдельных пробах, однако результаты пробирного анализа оказались в противоречии с данными ИСП МС и атомно-абсорбционного методов, растворения проб в кислоте и микронзондовых исследований аншлифов. Платина и палладий были почти полностью потеряны (в нескольких пробах определены десятые доли граммов на тонну, а в остальных сотые и тысячные доли). Золото утеряно в меньшей мере: примерно в 25 % проб установлены десятые доли грамма на тонну и лишь в нескольких пробах — первые граммы.

Сравнение результатов анализов, выполненных разными методами, позволило более или менее достоверно оценить уровень содержания благородных металлов. В породах Малиновского рудного района содержится, г/т: Au — до 8,43, Pt — 1,54 и Pd — 5,33, Дальнегорского района — до 2,48, 11,27 и 2,12 соответственно. Породы Ольгинского района содержат, г/т: Au — до 35,38, Pt — 8,39, Rh — 0,37, Pd — 2,60 и Ag — 52,5. Полученные данные приведены в табл. 1–3.

В результате растворения проб в кислотах и изучения аншлифов под микроскопом и на микроанализаторе установлено широкое распространение разнообразных минералов благородных металлов в марганцево-силикатных породах всех изученных площадей. Наиболее распространены минералы Au, Ag, Pt и Pd. Для пород *Широкопаднинской площади* наиболее характерны минералы Au и Ag. Широко распространено *самородное* Au, относящееся к нескольким разновидностям. Относительно крупное самородное Au (рис. 2), выделенное растворением проб в кислотах, представлено исключительно твердым раствором Au и Ag или (в редких случаях) оно совсем не содержит примесей других элементов. Твердый раствор Au и Ag большей частью имеет высокую пробу (см. табл. 4). Зерна крупного Au из одной и той же пробы различаются по содержанию Ag, иногда значительно.

При растворении проб марганцево-силикатных пород в кислотах наряду с зернами крупного Au изредка встречаются зерна богатой Au разновидности самородного Ag состава Ag_{0,61}Au_{0,43}. Мелкое самородное Au (десятые доли микрона — микроны), наблюдаемое только под микроскопом, не содержит Ag и представлено твердыми растворами Au и Cu, Au и Co, а также Au, Co и Cu (см. табл. 6). Мелкое Au нередко совсем не содержит примесей.

Медьсодержащее самородное Au в виде рассеянных зерен размером около 1×2 мкм обнаружено в образцах, содержащих шеелит, сфалерит, галенит, халькопирит, блеклую руду, молибденит, брейгауптит, миллерит, твердые растворы кобальтин-гесдорфитового ряда, уранинит и другие минералы. Зерна этого минерала нередко приурочены к микротрещинам в породе, выполненным органическим веществом или марганцевыми охрами экзогенного происхождения. Медьсодержащее самородное Au характеризуется невысоким содержанием Cu. Формульный коэффициент этого элемента изменяется от 0,02 до 0,07. Кобальтсодержащее самородное Au встречается редко, совместно с медьсодержащим Au. Формульный коэффициент Co в этой разновидности составляет всего лишь около 0,02. Кобальт- и медьсодержащее самородное Au тоже очень бедно примесями, его состав отвечает формуле $Au_{0,96}Cu_{0,02}Co_{0,02}$. Золото, не содержащее примеси других элементов, обнаружено совместно с галенитом, халькопиритом, шеелитом, вольфрамитом, магнетитом, блеклой рудой (не содержащей Ag), молибденитом и другими минералами, однако сростаний с ними не образует. Для образцов, содержащих такую разновидность самородного Au, характерно присутствие большого количества зерен сульфида Ag размером до 10×20 мкм.

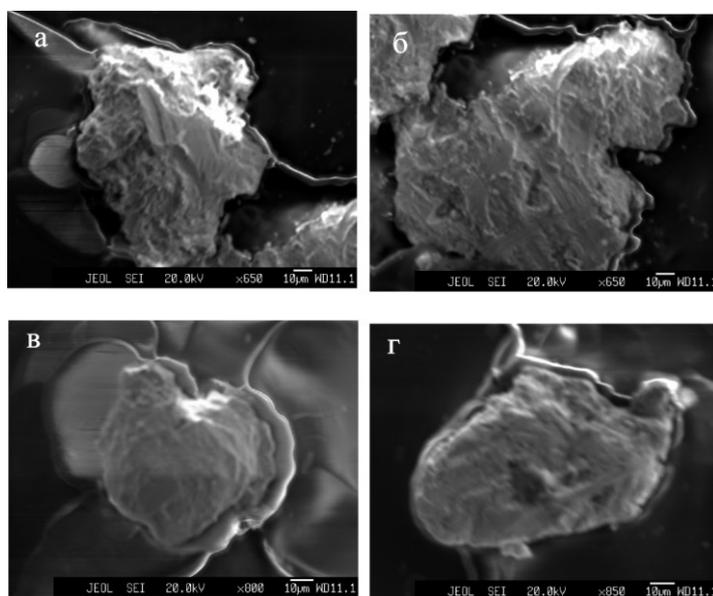


Рис. 2. Частицы самородного золота (на углеродистой пленке), выделенные растворением проб марганцево-силикатных пород в плавиковой кислоте. BSE-изображение. Образцы: Ф-05-5 (а, б), Ш-86-41 (в) и К-80-13 (г)

Кроме самородного Au в марганцево-силикатных породах Широкопаднинской площади встречается так называемое «медистое золото». Непрерывный твердый раствор золота и меди с неограниченной смесимостью, как следует из диаграммы фазового состояния, с понижением температуры распадается на несколько твердых растворов с ограниченной смесимостью. К ним относятся твердые растворы с небольшими количествами золота в меди и меди в золоте, а также несколько (с учетом полиморфных модификаций) фаз, состав которых в точках температурных максимумов отвечает формулам $CuAu$ и Cu_3Au . Природные аналоги таких фаз упоминаются в геологической литературе под общим названием «медистое золото» или, в зависимости от состава, под собственными названиями — аурикуприд, купроаурид, тетрааурикуприд и другими. Ниже температурных максимумов вследствие разупорядочения структур этих минералов характерны значительные вариации составов, что вызывает трудности в диагностике

и пересчетах анализов на идеальные формулы. Вариации состава «медистого золота» в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках Сихотэ-Алиня и «штокверкоподобных телах» отвечают, за редким исключением, условно выделяемому здесь для удобства пересчета анализов изоморфному ряду $\text{CuAu-Cu}_2\text{Au}$, или, в более удобной форме, $\text{Cu}_3(\text{Cu,Au})\text{Au}_2$. На Широкопаднинской площади «медистое золото» встречается в образцах марганцево-силикатных пород, содержащих арсенопирит, галенит, сфалерит, станнин, касситерит и вольфрамит. Кроме того, присутствуют самородное Ag, цинкит, крокоит, самородные Zn и Ni, промежуточные члены никелин-брейтгауптитового ряда, ураноторит и многие другие минералы. «Медистое золото» образует мелкие (1×2 мкм) кристаллы. Этот минерал всегда содержит небольшое количество Ag (см. табл. 6). Он представлен разновидностью, близкой по составу к купроауриду. Рассмотренные выше разновидности самородного Au и «медистого золота» нередко встречаются совместно.

Основное количество Ag в марганцево-силикатных породах Широкопаднинской площади присутствует в самородном состоянии и в виде сульфида этого металла. Самородное Ag встречается в виде отдельных зерен диаметром до 15 мкм или их скоплений. Иногда этот минерал образует эмульсионную вкрапленность в родоните и пиросмалите. Нередко самородное Ag содержит незначительную примесь Te (см. табл. 6) или мельчайшие включения халькопирита. Сульфид Ag встречается в образцах совместно с арсенопиритом, станнином, самородными Ag, Pb и Zn, сфалеритом, касситеритом, кобальтином, герсдорфитом и промежуточными членами кобальтин-герсдорфитового ряда, никелином, ульманитом, алтаитом и другими минералами. Сульфид Ag присутствует как в виде отдельных зерен диаметром до 20 мкм, так и в виде скоплений таких зерен, рассеянных в родоните и в других минералах марганцево-силикатных пород или приуроченных к гнездам и прожилкам с углеродистым веществом. Иногда сульфид Ag образует включения в магнетите и халькопирите, а также встречается в виде сростаний со сфалеритом или хлораргиритом. Сульфид Ag, как правило, содержит небольшое количество Te (см. табл. 6). В некоторых анализах присутствует Cl, иногда в значительном количестве. Такие анализы, по-видимому, относятся к тонкой механической смеси сульфида и хлорида Ag. Встречаются также зерна, представляющие собой тонкую смесь сульфида Ag и хлорида двухвалентной меди. Иногда в анализах таких зерен фиксируется небольшое количество Hg. Довольно часто в марганцево-силикатных породах Широкопаднинской площади встречается Ag-содержащий алтаит (см. табл. 6). Совместно с ним в образцах присутствуют пирротин, халькопирит, сфалерит, шеелит, кобальтин, промежуточные члены кобальтин-герсдорфитового ряда, ульманит, твердые растворы мелонит-брейтгауптитового состава, сульфид Ag, никелин и другие минералы. В некоторых зернах алтаита отмечается небольшое количество Co, Ni, As и S, связанное с присутствием мельчайших включений твердого раствора кобальтин-герсдорфитового ряда. Наряду с Ag этот минерал иногда содержит Bi. Галенит, в анализах которого отмечается Ag (см. табл. 6), встречается довольно часто. Совместно с ним присутствуют самородное Ag, цинкит, арсенопирит, станнин, касситерит, самородные Zn и Ni и многие другие минералы. Галенит отличается слишком высоким для этого минерала содержанием Ag, связанным, очевидно, с присутствием мельчайших включений самородного Ag или сульфида этого металла.

Особенностью марганцево-силикатных пород *Мокрушинской площади* является присутствие многочисленных зерен самородного Au, имеющих размерность от коллоидно-дисперсной до 10–25 мкм в диаметре (рис. 3). Большинство мелких (диаметром до нескольких микрометров) зерен представлено палладистой разновидностью (порпечитом), содержащей

небольшое количество Ag (см. табл. 6). Нередко в анализах порпечита фиксируется Pb или Cu. Зерна более крупного Au представлены разновидностью, не содержащей примеси других элементов. Самородное Au частично присутствует в виде относительно редких включений в минералах, слагающих марганцево-силикатную породу, в частности, в гранате и родоните. Однако основное количество его зерен сосредоточено в прожилковидных зонках, выполненных охрами Mn и Fe экзогенной природы, и, кроме того, в участках сплошного экзогенного изменения породы. Такие участки, состоящие из пиролюзита и других оксидов марганца, при наблюдении на рентгеноспектральном микроанализаторе в режиме «COMP» имеют сложную волнисто-полосчатую текстуру и нередко содержат зерна порпечита, избирательно приуроченные к тем или иным полоскам. Отдельные полоски насыщены мельчайшими включениями этого минерала. Из других минералов благородных металлов в марганцево-силикатных породах встречаются мелкие (диаметром до 25 мкм) зерна сульфида Ag. Наряду с минералами благородных металлов, в образцах присутствуют ураноторит, пирротин, пирит, сфалерит, станнин, галит, кобальтин, паракостибит или костибит CoSbS , паркерит, самородная сурьма и др.

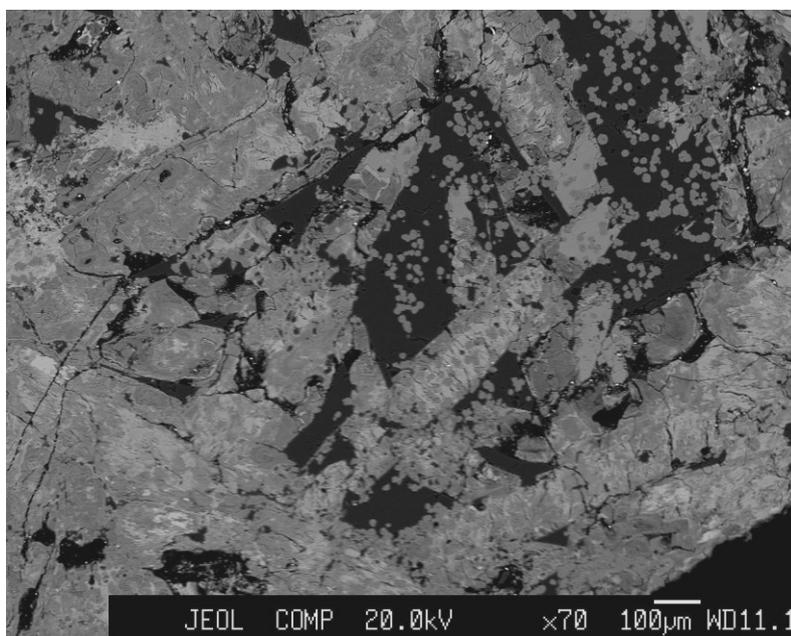


Рис. 3. Частицы палладистого золота (белые, большей частью округлые выделения и точки, приуроченные преимущественно к прожилковидным участкам черного цвета, выполненным охрами марганца и железа) в марганцево-силикатных породах Мокрушинской площади. Крупные кристаллы и участки черного цвета — кварц, мелкие округлые выделения серого цвета — спессартин, остальное — в разной степени измененный гипергенными процессами родонит. Обр. М-86-27. BSE-изображение

Характерными минералами благородных металлов в марганцево-силикатных породах *Садовой площади* являются разнообразные соединения Au и Ag. Минералы Au представлены многочисленными мелкими зернами самородного (диаметром до 2 мкм) и «медистого» золота (размером до 2—7 мкм) (рис. 4). Совместно с ними присутствуют пирит, сфалерит, касситерит, уранинит, квенселит, сульфат свинца с небольшим количеством Ag, сульфид Ag и агвиларит. Широко представлены арсениды и сульфоарсениды Ni и Co (кобальтин, кобальтин-герсдорфит, герсдорфит, зигенит, никелин), самородные элементы (Bi с небольшим количеством Pb; W) и

твердые растворы Cu, Zn и Ni. Кроме того, встречаются разнообразные минералы экзогенного происхождения, такие как вульфенит, арсенат-ванадат свинца $Pb_4[(P,As,V)O_4]_2(SO_4,Cl_2)$, коронадит, миметизит и миметизит-ванадинит(?) $Pb_5(TeO_4,AsO_4,VO_4)_3Cl$. «Медистое золото» иногда встречается в виде мелких включений в сфалерите, самородное представлено твердым раствором Au и Ag (см. рис. 4, табл. 5).

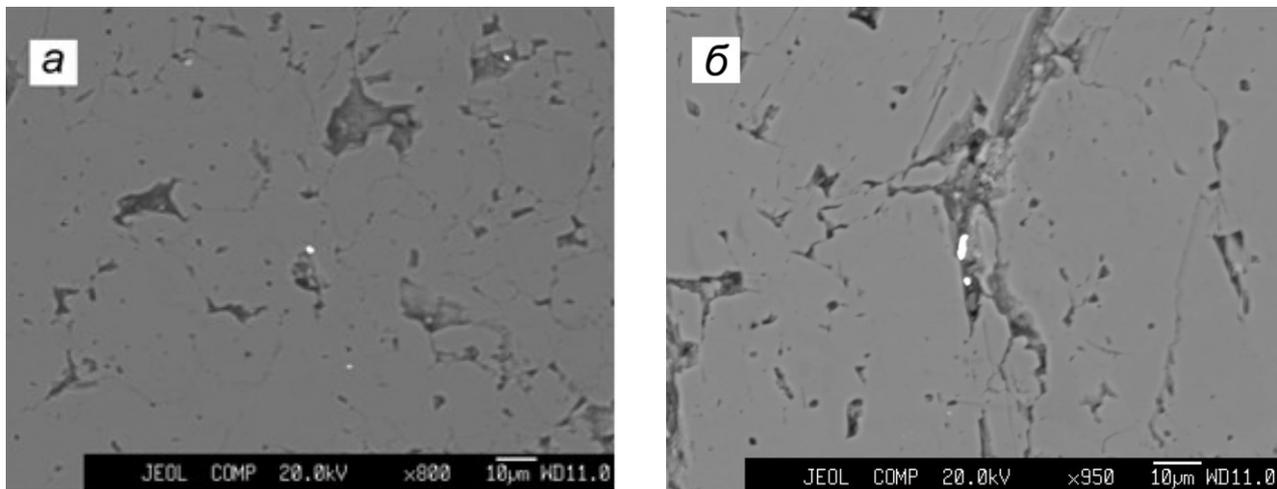


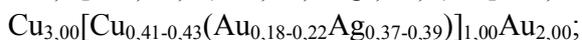
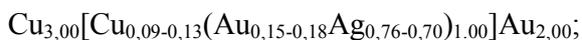
Рис. 4. Самородное золото $Au_{0,85}Ag_{0,15}$ (а — яркое в центре и в правом верхнем углу) и «медистое золото» $(Cu_{1,72}Ag_{0,29})_{1,92}Au_{1,07}$ (б — яркое в центре и ниже) в марганцево-силикатных породах Дальнегорского района. Серое поле соответствует родониту. Обр. Сд-06-1(2). BSE-изображение

«Медистое золото» представлено двумя минералами. Один из них относится к условному изоморфному ряду $Cu_3[Cu,(Au,Ag)]Au_2$ и содержит Ag от 0,33 до 0,41 ф. е. (см. табл. 5). Кроме того, в нем иногда присутствует немного Zn. Второй минерал встречается реже первого и является соединением с идеальной формулой $CuAu_2$.

Минералы Ag представлены самородным Ag, сульфидом Ag и агвиларитом. Кроме того, присутствует англезит с небольшим количеством Ag. Все перечисленные минералы встречаются вместе в аншлифах, содержащих самородное и «медистое» золото. В аргентите присутствует Se (см. табл. 5). Агвиларит встречается в виде редких рассеянных кристаллов размером около 1×2 мкм. В рассчитанных формулах этого минерала Se в количественном отношении преобладает над S.

В марганцево-силикатных породах *Горной площади* распространены как собственные минералы Au, Ag, Pt и Pd, так и минералы, содержащие эти элементы в качестве изоморфной примеси. Минералы Au представлены исключительно «медистым золотом». Оно присутствует в виде рассеянных зерен и кристаллов размером до 4×2 мкм. Совместно с ним в образцах марганцево-силикатных пород обнаружены арсенопирит, сфалерит, шеелит, гюбнерит, касситерит и молибденит. Обычными минералами являются киноварь, бурнонит, антимонит. Кроме того, для образцов с «медистым золотом» характерны уранинит и ураноторит, сульфид серебра и серебрясодержащий тетраэдрит. Распространены арсенид марганца MnAs, минералы группы гаухекорнита (тучекит, гаухекорнит и их мышьяковистый аналог), $Ni_4(Sb,As)S_2$, орселит, самородные Ag, Pt, Fe, Zn, Sb, Ni, W и Bi, а также миллерит и маухерит. Часто встречаются также хизлевудит, герсдорфит, кобальтин-герсдорфит, кобальтин, брейтгауптит, интерметаллические соединения Cu_2Zn и Cu_5Zn_3 , твердые растворы Cu и Zn или Ni, Ag и Bi.

Встречаются также минералы экзогенного происхождения — добреит, окись свинца и англезит. «Медистое золото» содержит немного Ag (см. табл. 7), в редких случаях — изоморфную примесь Pb. Вариации состава отвечают формулам:



Последние две формулы отражают пределы изменения состава «медистого золота» в одном аншлифе.

Минералы Pt и Pd можно обнаружить почти в каждом аншлифе. Они встречаются в виде кристаллов или зерен неправильной формы, иногда вместе с зернами и кристаллами «медистого золота» и сопутствующих ему рудных минералов, бреггеритом, пиритом, пирротином, пираргиритом, зигенитом, (Cu,Ni)S, Cu_3Sn_2 , Cu_3Zn_2 , фосфидом Ni_{11}P_2 , а также каломелью и пироморфитом экзогенного происхождения. Зерна и кристаллы минералов Pt и Pd в несколько раз по размерам превосходят зерна и кристаллы «медистого золота». Из минералов Pt и Pd встречается главным образом самородная платина. Она представлена твердыми растворами Pt и Pd с размером зерен до 2×6 мкм (рис. 5, а), Pt, Pd и Sn (рис. 5, б), Pt, Pd и Bi, а также Pt, Pd, Bi и Ag (см. табл. 7). Твердый раствор Pt, Pd и Sn иногда образует довольно крупные обособления сложной формы вдоль границ зерен родонита и апатита (см. рис. 5, б). Реже отмечается самородная платина, не содержащая примеси других элементов, за исключением, возможно, железа в количестве до первых процентов (мас.). Встречается палладистая платина с низким и высоким содержанием палладия (см. табл. 7). Платина с низким содержанием палладия иногда содержит незначительную примесь олова. Платина с высоким содержанием палладия (или, возможно, интерметаллическое соединение типа Pt_3Pd) отмечается довольно часто. Иногда в ее составе присутствует висмут. Твердый раствор сложного состава или, возможно, интерметаллическое (?) соединение типа Pt_2Pd содержит, наряду с Pt и Pd, также Bi и Ag.

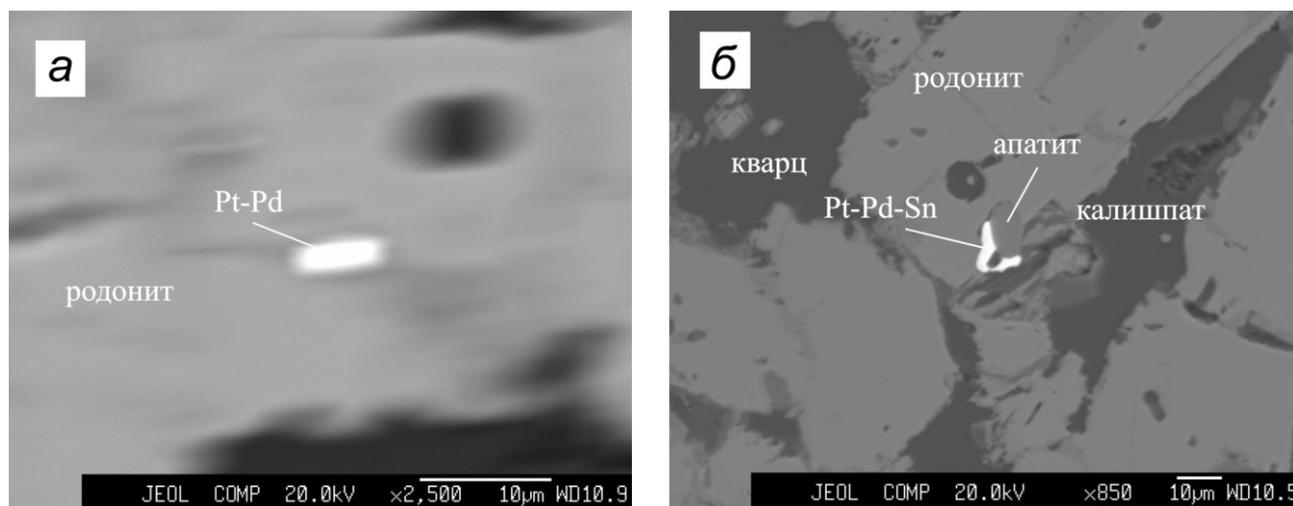
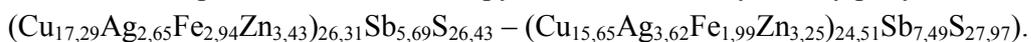


Рис. 5. Палладистая платина (а) и твердый раствор Pt, Pd и Sn (б) в марганцево-силикатной породе Малиновского рудного района. BSE-изображение. Обр. ЭВ-93-210 (а) и ЭВ-93-206 (б)

Из минералов Ag наиболее часто встречаются самородное серебро и сульфид серебра в виде рассеянных в породе, нередко относительно крупных (до 10×10 мкм) зерен или их скоплений. Несколько реже попадаются микроскопические зерна Ag-содержащей блеклой руды

и пираргирита. Присутствие Ag установлено в анализе никельсодержащего ковеллина (см. табл. 7). Самородное серебро и сульфид серебра постоянно присутствуют в образцах, содержащих «медистое золото» и самородную платину. Кроме того, эти минералы отмечались совместно с галенитом, киноварью, самородным свинцом, цумоитом, никелином, Cu_4Zn_3 , Sn_6Pb , SnPb_3 , Cu_4Sn , уранинитом, а также окисью свинца, крокоитом, ледгиллитом и другими минералами экзогенного происхождения. Самородное серебро иногда образует включения в сфалерите. В некоторых случаях в его составе отмечается существенная примесь меди, небольшое количество цинка или никеля. В сульфиде серебра иногда присутствует примесь теллура. Блеклая руда встречается в образцах, содержащих сфалерит, арсенипирит, касситерит, шеелит, киноварь, бурнонит, антимонит, самородные сурьму, вольфрам, цинк, никель, а также Cu_2Zn , «медистое золото», самородное серебро и сульфид серебра. Она представлена не содержащим мышьяк тетраэдритом (см. табл. 7). Количество цинка и железа невелико, причем первый обычно преобладает над вторым. Состав блеклой руды отвечает следующему ряду:



Пираргирит встречается редко в виде зерен микроскопических размеров вместе с пирротинном, сфалеритом, халькопиритом пиритом, минералами группы гаухекорнита и коронадитом экзогенного происхождения. В образцах с пираргиритом присутствуют также самородное серебро, сульфид серебра, самородные платина и никель, а также уранинит, брэггит, миллерит, герсдорфит, маухерит, хизлевудит, $(\text{Cu},\text{Ni})\text{S}$ и добреит экзогенного происхождения. Кроме того, широко представлены интерметаллические соединения Cu_3Sn_2 , CuSn_2 и Cu_3Zn_2 .

Обсуждение результатов

Рудные минералы, в том числе и минералы благородных металлов, присутствующие в метаморфизованных триасовых металлоносных осадках (табл. 8), по особенностям состава, характеру взаимоотношений с породообразующими минералами и, соответственно, генетическому признаку можно разделить на две группы. К первой группе относятся минералы благородных металлов и других элементов, образующие рассеянные включения в породообразующих минералах и сростания с ними без признаков реакционного взаимодействия. Они слагают относительно крупные зерна (до 0,5 мм) и образовались в процессе метаморфизма за счет вещества триасовых металлоносных осадков. Эти минералы представлены в основном самородными золотом и платиной без примесей, палладистой платиной или интерметаллидами Pt, Pd, Bi и Ag, Au-Ag твердым раствором, самородным серебром, сульфидом серебра и блеклой рудой.

Ко второй группе относятся, главным образом, Cu-, Pb-, и Co-содержащее золото, «медистое золото», Cu-, и Zn-содержащее Ag. Эти минералы, так же как и самородные формы других элементов и интерметаллиды, встречаются в виде мельчайших (доли микрометров — первые микрометры, редко первые десятки микрометров) частиц или их скоплений, иногда в ассоциации с органическим веществом. Они присутствуют в основном в минерализованных микротрещинах и прилегающих участках пород. Наряду с самородными формами и твердыми растворами многих других металлов, они формировались при метаморфизме в особых высоко-, и ультравосстановительных условиях. В марганцево-силикатных породах, как следует из приведенного выше материала, кроме минералов рассмотренных групп, встречаются минералы благородных металлов экзогенного происхождения.

Таблица 8

Минералы и минеральные фазы редких и благородных элементов в марганцево-силикатных породах Сихотэ-Алиня

Широкоплатинская площадь		Мокрушинская площадь		Садовая площадь		Горная площадь		
1	2	3	4	5	7	8	9	
монацит (н)	тетраэдрит (н)	Co ₃ Cr (н)	монацит (в)	(Ce,La,Nd,Pr) ₂ O ₃ (н)	Cu(Sn,Pb) (н)	монацит (в)	бравонт (в)	медь (н)
торианит (н)	буланжерит (н)	хромиды Fe (н)	торианит (н)	(Ce,La)O(OH) (н)	Cu ₃ Sn (н)	бадделит (н)	орселит (н)	цинк (н)
уранинит (с)	джермсонит (н)	хромиды Fe и Ni (н)	ураногорит (н)	бастнезит (н)	(Cu,Ni) ₃ Sn (н)	(Ce,La,Nd,Pr) ₂ O ₃ (н)	Ni ₄ (Sb,As) ₂ S ₂ (н)	свинец (н)
ураногорит (н)	леллинит (н)	Cu-Sn-Pb* (в)	вольфрамит (с)	CeZrO ₄ (н)	Cu ₄ (Sn,Hg) (р)	(La,Ce...)O(OH,F) (н)	пумоит (с)	графит (н)
алланит (в)	арсенопирит (в)	Ni-Cu-Zn* (в)	кобальтин (в)	бадделит (н)	Cu ₅ Sn (н)	бастнезит (н)	бретгерит (н)	Co-W (н)
касситерит (в)	Cu ₃ S ₂ (н)	PbBi (н)	паркерит (н)	уранинит (н)	Pb-Sn (с)	уранинит (с)	зипенит (н)	Cu-Sn* (в)
молибденит (с)	сфалерит (в)	Pb-Bi (н)	арсенопирит (с)	вольфрамит (н)	(Cu,Ni) ₃ Zn ₅ (н)	ураногорит (н)	Ni ₁₁ P ₂ (н)	Pb-Sn* (в)
кобальтин-герсдорфит (в)	галенит (в)	Bi ₂ (Pb,Sn,Cd) ₃ (н)	станнин (н)	касситерит (с)	маухерит (с)	торианит (н)	антимонит (н)	Cu-Zn* (в)
ульманит (с)	цинкит (н)	золото (без примесей) (в)	сфалерит (в)	вульфенит (н)	Аu-Ag (в)	алланит (н)	тетраэдрит (н)	Cu-Ni-Zn* (в)
коринт (н)	крокоит (н)	Ag-Au (в)	монганит (н)	кобальтин-герсдорфит (в)	«медистое золото» (в)	шеелит (с)	бурнонит (н)	(Cu,Zn) ₁₋₂ Al ₃ (н)
(Co,Ni)(As,Sb)S (в)	фосфиды Fe (с)	Cu-Au (н)	сурьма (н)	пентландит (в)	Серебро (в)	вольфрамит (с)	арсенопирит (с)	PbBi (н)
пентландит (н)	(La,Ce,Nd)Si ₂ (н)	Co-Au (н)	медь (н)	поллимит (с)	сульфид Ag (в)	тунгстенит (н)	сфалерит (в)	Ni-Bi (н)
никелин (в)	вольфрамит (с)	Cu-Co-Au (н)	вольфрамит (н)	никелин (в)	агвиларит (с)	касситерит (н)	галенит (в)	маухерит (с)
миллерит (в)	молибден (н)	«медистое золото» (в)	золото (без примесей) (в)	миллерит (в)	-	молибденит (в)	книоварь (н)	MnAs (н)
Ni ₂ (Te,Sb,As) ₂ (н)	олово (с)	Серебро (в)	порпечит (в)	зипенит (в)	-	кобальтин-герсдорфит (в)	(Cu,Ni)S (н)	«медистое золото» (в)
брейтгаупит (с)	никель (с)	Te-содержащее Ag (н)	сульфид Ag (в)	цумоит (н)	-	группа гаухекорнита (в)	Ni ₁₁ P ₂ (н)	Pt (с)
мелонит-брейтгаупит (н)	железо (с)	Rh- и Te-содержащее Ag (н)	-	тетраэдрит (н)	-	хивлевудит (н)	ZnSi ₂ (?) (н)	Pd-Pt (в)

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	7	8	9
$Ni_3(Te, Sb, As)_4$ (н) алтаит (с)	медь (н) цинк (н)	хлорид Ag (н) Ag-содержащий алтаит (н)	- -	вольфрам (н) висмут (н)	- -	вольфрам (н) олово (н)	Sp-Pd-Pt (н) Pd-Bi-Pt (с)
цумоит (с)	свинец (с)	Ag-содержащий галенит (с)	-	медь (н)	-	никель (н)	Pd-Bi-Ag-Pt (с)
висмутин (н) ангимоит (н)	селен (н) графит (с)	- -	- -	свинец (н) Co-W (н)	- -	железо (н) висмут (н) сурьма (н)	серебро (в) сульфид Ag (в) Ag-тетраэдрит (н)
-	-	-	-	-	брейтгаулит (с)	-	пираргирит (н)
-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Частота встречаемости: в — высокая; с — средняя; н — низкая.

* Неупорядоченные твердые растворы и интерметаллические соединения.

Ассоциации минеральных форм многих предельно восстановленных металлов, образовавшиеся в особых высоко-, и ультравосстановительных условиях, являются характерной особенностью черносланцевых формаций и ассоциированных с ними разнообразных месторождений. Например, на крупнейшем золоторудном с платиноидами 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 [6]. Разнообразные металлы в самородном состоянии, в том числе Au, Cu и Al, выявлены в графитоносных метаморфитах Ханкайского террейна [7]. Широко представлены разнообразные самородные элементы и интерметаллические соединения в кимберлитах и алмазах [8–14]. Известны их находки в родингитах и других продуктах изменения основных и ультраосновных пород [15–22]. Обзор литературных сведений свидетельствует о том, что ассоциации минералов, образующихся в высоко-, и ультравосстановительных условиях, распространены в черносланцевых формациях и ассоциированных с ними месторождениях, в метеоритах, продуктах гидротермального изменения ультраосновных пород и горения углей, в кимберлитах, алмазах, лунном реголите, углях и в некоторых других породах. В марганцево-силикатных породах они обнаружены впервые и представляют особый интерес в минералогическом и генетическом отношении.

Протолиты марганцево-силикатных пород (исходные осадки) изначально были обогащены разнообразными элементами, за счет которых при метаморфизме образовались минералы многих металлов [4], относимых в данной работе по генетическому признаку к первой группе. Особенностью благороднометалльной минерализации этой группы является полное отсутствие в ее составе «медистого золота», относительно крупные (диаметром до 0,5 мм) выделения самородного золота, представленного Au-Ag твердым раствором (рис. 6). Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений, относимых в данной работе ко второй генетической группе, нередко ассоциируют с органическим веществом, что свидетельствует об активном участии углерода и, вероятно, водорода, обеспечивавших высоко-, и ультравосстановительный характер процессов минералообразования. Особенностью благороднометалльной минерализации второй группы является широкое представительство «медистого золота», Cu-, Pb-, и Co-содержащего золота (см. рис. 6) и, как правило, очень мелкие (диаметром доли микрометров — первые микрометры) частицы минералов.

Согласно приведенным данным, окислительно-восстановительные условия метаморфизма вблизи микротрещин и в остальном объеме пород резко различались. Можно полагать, что присутствие минеральных форм различных предельно восстановленных металлов в марганцево-силикатных породах, так же как и в метаморфизованных триасовых металлоносных осадках других типов (силикатно-магнетитовых рудах и яшмах) [4, 23, 24], обусловлено влиянием органического вещества подстилающей глинисто-кремнистой толщи. Оно связано с удалением из углеродистых пород при нагревании наиболее летучих компонентов, в первую очередь плохо связанной воды и углеводородов, и с возникновением таким образом некоторого объема флюида с высоко- и ультравосстановительными способностями, мигрировавшего по трещинам в другие породы. Этот процесс, в частности, фиксируется по присутствию систем многочисленных маломощных (доли миллиметров — первые миллиметры) минерализованных трещин (прожилков), рассекающих породы «глинисто-кремнистой» и «кремневой» толщ и содержащих органическое вещество, благороднометалльную минерализацию и предельно восстановленные формы разнообразных металлов. Визуально следы такого процесса наиболее хорошо фиксируются по изменению коричневой окраски яшм вдоль трещин на зеленовато-светло-серую

из-за неравномерного восстановления пород (замещения дисперсного гематита и гидрослюда хлоритом). В прожилках в виде мельчайших зерен встречаются пирит, галенит, Ni-содержащий пирротин, сфалерит, халькопирит и арсенопирит.

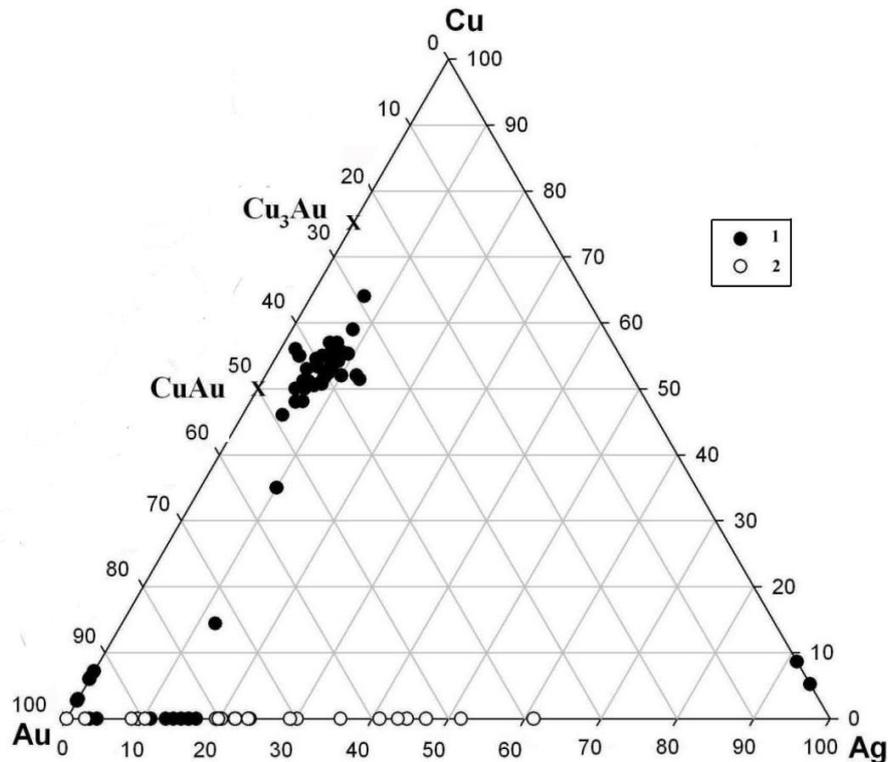


Рис. 6. Особенности состава минералов системы Au-Cu-Ag в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках Сихотэ-Алиня (марганцево-силикатных породах, силикатно-магнетитовых рудах и измененных яшмах):

1 — точки состава мелких (до 10 мкм) зерен, приуроченных к порам и микротрещинам с органикой; 2 — точки состава относительно крупных зерен, выделенных растворением проб в плавиковой кислоте. Крестиками отмечено положение на диаграмме теоретических составов аурикурида и купроаурида

Из других рудных минералов обнаружен хлоантит-смальтин, $(Ni,Co)As_3$, киноварь, аргентит, V- и Co-содержащий магнетит, антимонит, молибденит, шеелит, богатая серебром блеклая руда, буланжерит, тенорит, бравоит, колорадоит, галеновисмутит, бурнонит и пентландит. В самородном состоянии присутствуют Zn, Sb, Bi, Ni, Cu и Pb. Кроме того, встречаются самородные Cd, Cr, Sn, Fe, Al, W, Pt, Au и Ag [25, 26]. Широко представлены «медистое золото» и неупорядоченные твердые растворы и интерметаллические соединения, относящиеся к химической системе Cu-Ni-Zn. Источником металлов в минерализованных микротрещинах являлось, очевидно, органическое вещество «глинисто-кремнистой» толщи. Этот вывод подтверждается повышенными содержаниями многих элементов в углеродистых силицитах [27] и присутствием в контактово-метаморфизованных аналогах углеродистых пород благороднометалльной минерализации (в том числе «медистого золота») и предельно восстановленных форм разнообразных металлов [24], впоследствии обнаруженных и в углеродистых силицитах без явных признаков метаморфизма [28].

Заключение

Таким образом, аномально высокое содержание благородных и многих других металлов в металлоносных осадках, установленное пробирным, атомно-абсорбционным и ИСП МС методами, подтверждено результатами изучения аншлифов на микроанализаторе и растворения проб в кислотах. Как и следовало ожидать из результатов валового определения содержания благородных металлов, наиболее распространены минералы Au, Ag, Pt и Pd. Особенностью минералогии золота является распространение редких минеральных форм, таких как так называемое «медистое золото» и порпекит. Минералы Pt и Pd представлены самородными формами, а также твердыми растворами (или, возможно, интерметаллическими соединениями) Pt, Pd, Bi, Ag и Sn. Основное количество серебра в изученных породах присутствует в виде сульфида серебра и в самородном состоянии. Размерность частиц минералов благородных металлов изменяется от долей миллиметров до коллоидно-дисперсной.

Благороднометаллическая минерализация в марганцево-силикатных породах образовалась (в нынешнем виде) в процессе метаморфизма за счет вещества протолита марганцево-силикатных пород (триасовых металлоносных осадков), а также благородных металлов триасовых углеродистых силицитов, мигрировавших по трещинам в другие породы в составе флюида с высоко-, и ультравосстановительными способностями. В триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадках Сихотэ-Алиня фиксируются геохимические и изотопные «метки» габброидов сергеевского, калиновского и владими́ро-александровского комплексов, офиолитов, а также вещества пассивной континентальной окраины, предположительно Ханкайского массива. 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 Сихотэ-Алиня изначально являлись продуктами размыва латеритной коры выветривания (поздний анизий — конец триаса) островов, накапливавшимися в прилегавших к островам акваториях [29]. Обогащение благородными и другими металлами триасовых метаморфизованных металлоносных осадков и триасовых углеродистых силицитов было обусловлено, вероятно, сорбированием металлов гидроксидами Mn и Fe, а также органическим веществом в процессе экзогенного выветривания габброидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волохин Ю. Г., Михайлик Е. В., Бурый Г. И. Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2003. 252 с.
2. Казаченко В. Т., Сапин В. И. Минералогия и генезис железо-марганцевого оруденения Прибрежной зоны Приморья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 248 с.
3. Казаченко В. Т. Петрология и минералогия гидротермальных марганцевых пород Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.
4. Перевозникова Е. В. Марганцево-силикатные породы Южного Сихотэ-Алиня: минералогия и генезис: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2010. 192 с.
5. Manganous barium-rich phlogopite from Shirokopadninskoye deposit in Primorye, U.S.S.R. N / V. T. Kazachenko [et al.] // Jb. Miner. Mh. 1988. N. 2. P. 49–66.
6. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) / В. В. Дистлер [и др.] // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38, № 6. С. 467–484.
7. Самородные металлы в графитоносных породах Ханкайского террейна / А. И. Ханчук [и др.] // Чтения, посвященные памяти акад. К. В. Симакова: тез. докл. на Всерос. конф. Магадан, 2007. С. 107–108.
8. Тищенко А. И. Самородные металлы в кимберлитах Восточного Приазовья // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований: тез. докл. Всерос. совещ., посвященного 100-летию со дня рождения акад. Ю. А. Кузнецова, Новосибирск, 16-19 апр., 2003. Новосибирск: Филиал ГЕО. С. 329–330.
9. Тищенко А. И. Находка самородного алюминия в Украине // Минералог. журн. 2005. Т. 27, № 1. С. 38–43.
10. Особенности минеральных включений и примесей в алмазах из лампроитов трубки Аргайл (Западная Австралия) / А. И. Горшков [и др.] // Геохимия. 2003. № 12. С. 1251–1261.
11. Минеральные микровключения в алмазах кубического габитуса из месторождений Якутии по данным аналитической электронной микроскопии / С. В. Тутков [и др.] // ДАН. 2006. Т. 410, № 2. С. 255–258.
12. Карбонадо: физические свойства, минеральные включения и условия образования /

В. А. Петровский [и др.] // Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства электронной техники): материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. (Москва, 11–13 сентября 2003 г.). М.: Изд-во ЦНИТИ «Техномаш», 2003. Т. 2. С. 206–220. **13.** Морфологическое и субструктурное строение природных карбонадо / *В. А. Петровский* // Поверхность. Рентген. синхротрон. и нейтрон. исслед. 2004. № 9. С. 73–85. **14.** Включения карбонатов в несовершенных алмазах из Якутских месторождений по данным аналитической электронной микроскопии / *С. В. Тутков [и др.]* // Минералогические исследования в решении геологических проблем: материалы Годичного собрания МО РМО 2005 г. (Москва, 11 декабря 2005 г.). М.: Изд-во ВИМС, 2005. С. 24–125. **15.** Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов / *В. В. Мурзин [и др.]* // Литосфера. 2006. № 1. С. 113–134. **16.** *Спиридонов Э. М., Плетнев П. А.* Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой» формации). М.: Науч. мир, 2002. 220 с. **17.** *Кудрявцева А. И., Кудрявцев В. И.* 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, 2003. С. 45–48. **18.** Благороднометалльная минерализация в родингитах юго-восточной части Восточного Саяна / *Б. Б. Дамдинов [и др.]* // Геология и геофизика. 2004. № 45 (5). С. 577–587. **19.** Новый тип олово-золото-(ртуть)-платиноталльной рудной минерализации в Восточном Саяне / *С. М. Жмодик [и др.]* // ДАН. 1998. № 361 (4). С. 510–513. **20.** *Delura K.* 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”, Stary Folwark, Oct. 13–16, 2005: Scientific Communications. Krakow. Univ. Sl., 2005. P. 147–150. **21.** Самородное железо из ультраосновных обломочных пород (Петровский рудник, Средний Урал) / *Ю. В. Ерохин [и др.]* // Уральская минералогическая школа-2004 «Под знаком целочных пегматитов»: материалы Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей вузов геологического профиля (Екатеринбург, 5–9 июля 2004 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал, гос. горн. ун-та, 2004. С. 84–85. **22.** *Ерохин Ю. В., Шагалов Е. С.* Аваруит из Баженовского офиолитового комплекса // VI Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. (Миасс, 3–5 ноября 2005 г.). Миасс: Изд-во ИМин УрО РАН, 2005. С. 23–26. **23.** Минеральные формы благородных металлов в металлоносных отложениях триасово-юрской углеродистой толщи Сихотэ-Алиня / *В. Т. Казаченко [и др.]* // ДАН. 2008. № 421 (3). С. 383–386. **24.** *Мирошниченко Н. В., Перевозникова Е. В.* Интерметаллическое соединение Ni₃Au и твердые растворы золота и никеля в метаморфизованных металлоносных осадках трассовой кремневой формации Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 1. С. 60–66. **25.** Геохимия и минеральные формы золота, серебра, платины и палладия в металлоносных осадках триаса Дальнереченского, Дальнегорского и Кавалеровского районов Приморья / *Е. В. Перевозникова [и др.]* // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е. А. Радкевич). Владивосток: Дальнаука, 2008. 460 с. **26.** Геохимия и минералогия золота, серебра, платины и палладия в металлоносных осадках триаса Ольгинского рудного района (Сихотэ-Алинь) / *Н. В. Мирошниченко [и др.]* // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е. А. Радкевич). Владивосток: Дальнаука, 2008. 460 с. **27.** *Волохин Ю. Г., Иванов В. В.* Геохимия и металлоносность углеродистых силицитов триаса Сихотэ-Алиня // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 4. С. 406–425. **28.** *Волохин Ю. Г., Карабцов А. А.* Минералы в углеродистых силицитах триаса Сихотэ-Алиня // Литология и полезные ископаемые. 2016. № 5. С. 465–484. **29.** *Казаченко В. Т., Перевозникова Е. В., Лаврик С. Н.* Геохимические и изотопные «метки» древних габброидов в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках, скарнах и рудах скарновых месторождений Сихотэ-Алиня // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 4 (27). С. 16–36. **30.** *Геодинамика*, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А. И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.

Сведения об авторах

Казаченко Валентин Тимофеевич — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: vkazachenko@mail.ru

Перевозникова Елена Валериевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: elenavalper@yandex.ru

Author Affiliation

Valentin T. Kazachenko — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Head of Laboratory of the Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

E-mail: vkazachenko@mail.ru

Elena V. Perevznikova — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

E-mail: elenavalper@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Казаченко, В. Т. Минералогия благородных металлов в марганцево-силикатных породах триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня / *В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2017. — № 3 (9). С. 32–53.

Reference

Kazachenko Valentin T., Perevznikova Elena V. Mineralogy of Precious Metals in Manganese Silicate Rocks of the Triassic Silicon Formation of the Sikhote-Alin. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2017, vol. 3 (9), pp. 32–53. (In Russ.).