УДК: [553.22+549.27/.28](571.63)

ПЕРВАЯ НАХОДКА РОДИНГИТОВ С ЗОЛОТО-ПАЛЛАДИЙ-ПЛАТИНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ В СИХОТЭ-АЛИНЕ

©2017 г. Е. В. Перевозникова, В. Т. Казаченко

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостоку, 159, e-mail: elenavalper@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.12.2016 г.; принята к печати 15.02.2017 г.

Работа посвящена изучению геологических условий залегания, петрографии, минералогии, геохимии и особенностей образования родингитов, выходы которых обнаружены в Таухинском террейне на Мокрушинской и Широкопаднинской площадях. Родингиты образовались по основным и ультраосновным породам жерловой и интрузивной фаций палеоценового магматического комплекса. Возраст пород этого комплекса соответствует времени завершения формирования Восточно-Сихотэ-Алинского вулкано-плутонического пояса (маастрихт) в условиях субдукционного геодинамического режима и начала тектонических процессов, приведших в конечном итоге к раскрытию Японского моря. Последние протекали в режиме трансформной континентальной окраины. Родингиты Таухинского террейна характеризуются присутствием минералов Au, Ag, Pt, Pd и типичным для таких пород, содержащих благороднометальную минерализацию, распространением "медистого золота", а также самородных форм и интерметаллических соединений разнообразных металлов. Они сохранили некоторые геохимические характеристики протолитов, по которым надежно отличаются от скарнов с борным, полиметаллическим и железным оруденением Дальнегорского и Ольгинского рудных районов, а также от контактово-метаморфизованных триасовых металлоносных осадков Сихотэ-Алиня. Палеоценовый магматический комплекс Сихотэ-Алиня представляет особый интерес, так как с ним генетически связана благороднометальная минерализация, локализованная не только в родингитах, но и в других породах палеоценовых эксплозивных структур.

Ключевые слова: родингиты, благородные металлы, "медистое золото", платина, эксплозивные структуры, палеоцен, Сихотэ-Алинь

THE FIRST FINDING OF RODINGITES WITH A GOLD-PALLADIUM-PLATINUM MINERALIZATION WITHIN THE SIKHOTE-ALIN

Elena V. Perevoznikova, Valentin T. Kazachenko

Far East Geological Institute, FEB RAS, 159 Century of Vladivostok av., Vladivostok, 690022, Russia, e-mail: elenavalper@yandex.ru

Received 14.12.2016; accepted 15.02.2017

The subject of investigations were rodingites, whose outcrops were recently found in Taukha terrane of the Sikhote-Alin. The contents of the rock-forming oxides in rodingites were determined using the methods of chemical analysis as well as the gravimetry (SiO₂, H₂O, and LOI) and atomic-emission spectrometry with the induction-bound plasma at the iCAP 6500Duo spectrometer (Thermo Scientific Corporation, USA) (other oxides). The contents of the secondary elements were determined with the method of mass-spectrometry with the induction-bound plasma at the Agielent 7500 c spectrometer (Agielent Technologies, USA). Analyses of minerals were done using the JXA8100 microanalyser with three wave spectrometers and the INCAx-sight power-dispersion spectrometer. The contents of precious metals were determined with the atomic-absorption method. The paper presents the results of investigations of the geological conditions of occurrence, petrochemistry, geochemistry, and mineralogy of rodingites and the Au-Pd-Pt mineralization in them. The rock-forming minerals of rodingites of the Sikhote-Alin' are pyroxene, garnet, vesuvian, epidote, prehnite, amphibole, chlorite, plagioclase, potassium-feldspar, apatite, zircon, titanite, and others. In rodingites of the Sikhote-Alin' there were found the relatively high contents of Au, Ag, Pt, and Pd and the typical of such rocks "copper gold" and native forms and intermetallic compounds of diverse metals. The investigations carried out allowed the substantiation of the conclusion about the genetic relation of rodingites with the Paleocene ultrabasic-intermediate and alkaline-subalkaline complex of the Sikhote-Alin'. The rodingites were formed by metasomatic way on the basic and ultrabasic rocks of the vent and intrusive phases. They have preserved some geochemical characteristics of protoliths, in which they clearly differ from skarns with the boron, poly-

Для цитирования: Перевозникова Е.В., Казаченко В.Т. (2017) Первая находка родингитов с золото-палладий-платиновой минерализацией в Сихотэ-Алине. *Литосфера*, **17**(5), 127-146. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-127-146

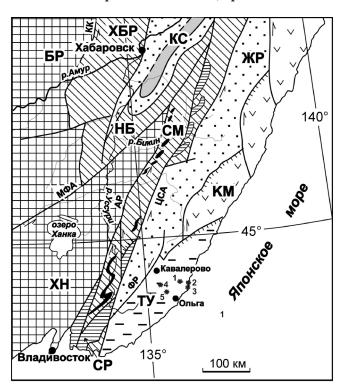
For citation: Perevoznikova E.V., Kazachenko V.T. (2017) The first finding of rodingites with a gold-palladium-platinum mineralization within the Sikhote-Alin. *Litosfera*, 17(5), 127-146. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-127-146

metal, and iron mineralization of the Dalnegorsky and Olginsky ore districts and from the contact-metamorphosed Triassic metal-bearing sediments of the Sikhote-Alin'. The Paleocene magmatic complex of the Sikhote-Alin' is of a special interest because with it the precious-metal mineralization is genetically related that is localized not only in rodingites but also in other rocks of the Paleocene explosive structures and in the alluvium of the springs draining them.

Keywords: rodingites, precious metals, "cupriferous gold", platinum, explosive structures, Paleocene, Sikhote-Alin'

ВВЕДЕНИЕ

Таухинский террейн Сихотэ-Алиня (рис. 1) является фрагментом неокомской аккреционной призмы, сложенной юрскими и раннемеловыми терригенно-турбидитовыми хаотическими образованиями. В его меланжевом комплексе присутствуют пермские, триасовые и юрские кремнисто-глинистые отложения, а также фрагменты триасовых и карбон-пермских рифовых массивов с широко известными, традиционно от-



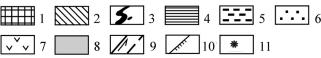


Рис. 1. Положение изученной площади в Сихотэ-Алине. Тектоническая основа по А.И. Ханчуку [Геодинамика ..., 2006].

1 — XH — Ханкайский массив, БР — Буреинский массив; 2 — юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): СМ — Самаркинский, НБ — Наданьхада-Бикинский, ХБР — Хабаровский; 3 — калиновские офиолиты (девон); 4 — фрагменты докембрийскогораннепалеозойского континента, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вме-

носимыми к скарновым, месторождениями боросиликатных и полиметаллических руд Дальнегорской группы, а также мелкими железорудными залежами Ольгинского рудного района. В меланжевом комплексе присутствуют также фрагменты Окраинско-Сергеевского террейна, включающего древние габброиды сергеевского и владимироалександровского комплексов. Габброиды сергеевского комплекса содержат блоки измененных офиолитов (базальтов, габбро и троктолитов) [Казаченко и др., 2015а].

сте с ними цикл син- и постаккреционных преобразований (СР – Окраинско-Сергеевский комплекс Самаркинского террейна); 5–8 – раннемеловые террейныфрагменты: 5 – неокомской аккреционной призмы (TУ – 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 - выходы пород эксплозивных структур на Мокрушинской площади (1), в гранитном и осадочном обрамлении залива Владимир (2) и бухты Южной (3), в окрестностях с. Серафимовка (на северо-западной и юго-восточной границах Широкопаднинской площади) (4, 5).

Fig. 1. Position of the studied area in the Sikhote-Alin. Tectonic base after A.I. Khanchuk [Geodinamika..., 2006].

 $1-XH-Khanka\,massif, EP-Bureinsky\,massif; 2-Jurassic$ terranes (fragments of accretionary prisms): CM - Samarkinsk, HB – Nadan'khada-Bikinsky, XBP – Khabarovsky; 3 - Kalinovsky ophiolites (Devonian); 4 - fragments of the Pre-Cambrian-Early Paleozoic continent incorporated into the structures of the Jurassic accretion prism and experienced together with them the cycle of syn- and postaccretion transformations (CP - Marginal-Sergeevsky complex of Samarkinsky terrane); 5-8 - the Early Cretaceous terranes-fragments: 5 - Neocomian accretion prism (TY – Taukhinsky), 6 – near-continental spreading turbidite basin (XP - Zhuravlev-Amursky), 7 - the Barremian-Albian island-arc system (KM – Kemsky), 8 – the Albian accretionary prism (KC - Kisilev-Manominsky); 9 - left-lateral displacements including: KK - Kukansky, AP - Arsen'evsky, MΦA - Mishan-Fushunsky (Alchansky), ЦСА - Central Sikhote-Alin'sky, ФР - Furmanovsky; 10 - thrusts; 11 - outcrops of rocks of explosive structures on Mokrushinskaya area (1), in granite and sedimentary surrounding of the Vladimir Gulf (2) and Yuzhnaya Bay (3) in the environs of Serafimovka village (on the north-western and south-eastern boundaries of Shirokopadninskaya area) (4, 5).

Породы Таухинского террейна прорваны и перекрыты позднемеловыми преимущественно кислыми образованиями Восточно-Сихотэ-Алинского вулкано-плутонического пояса и продуктами палеогенового кислого, бимодального и высокоглиноземистого базальтового вулканизма Хасано-Амурского ареала [Геодинамика..., 2006]. Кроме того, присутствуют эксплозивные структуры палеоценового комплекса ультраосновного-среднего и субщелочного-щелочного состава [Казаченко и др., 2013]. В Таухинском террейне – на Мокрушинской и Широкопаднинской (Ольгинский рудный район) и Высокогорской и Садовой (Кавалеровский и Дальнегорский рудные районы) площадях – распространены выходы контактово-метаморфизованных триасовых металлоносных осадков (кремней с дисперсным родохрозитом, марганцевосиликатных пород, силикатно-магнетитовых руд и яшм) [Казаченко, 2002; Перевозникова, 2010]. Эти образования, как и относимые к скарнам известковосиликатные породы упомянутых месторождений, первоначально являлись продуктами размыва латеритной коры выветривания габброидов сергеевского, владимиро-александровского и калиновского комплексов [Казаченко и др., 2012, 2015б]. Кроме того, на Мокрушинской и Широкопаднинской

площадях обнаружены выходы родингитов с благороднометалльной минерализацией. Целью исследований являлось изучение геологических условий залегания, петрографии, минералогии, геохимии и особенностей образования этих пород. Особое внимание уделялось минеральным формам благородных металлов.

Принятые в работе символы минералов (на рисунках): $A\kappa$ — актинолит, Am — амфибол, An — апатит, B3 — везувиан, Γp — гранат, Knu — калиевый полевой шпат, Ks — кварц, Mm — магнетит, On — оливин, Πu — пироксен, Pod — родонит, Cn — серпентин, Cnn — сперрилит, Tp — тремолит, Φn — флогопит, Tn — хлорит, Tn — циркон.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение содержаний породообразующих оксидов в родингитах выполнено в ДВГИ ДВО РАН методами традиционного количественного химического анализа, а также гравиметрии (SiO_2 , H_2O и п.п.п.) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США) (прочих оксидов) (табл. 1). В послед-

Таблица 1. Состав родингитов Таухинского террейна, мас. %

Table 1. Composition of rodingites of Taukha terrane, wt %

	M-86-4	M-86-5	M-86-6	M-86-29	M-86-30	M-86-14	M-11-10	M-11-11	M-11-12	M-11-13	Ш-86-91	М-11-31-Б	17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	49.8	45.8	48.03	51.3	49.26	46.26	45.7	47.9	49.5	52.4	50.82	61.51	50.16
TiO_2	0.28	0.37	0.24	0.67	0.34	0.04	0.96	0.64	0.87	0.17	0.14	0.98	0.32
Al_2O_3	5.81	6.54	2.89	6.7	1.9	3.07	5	5.01	3.7	1.98	1.63	6.88	1.37
Fe_2O_3	6.64	6.92	6.87	15	4.84	5.98	20.21**	20.80**	18.14**	19.91**	3.31	12.16**	5.85**
FeO	11.98	11.4	14.9	6.08	11.4	13.39	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	14.35	Н. о.	Н. о.
MnO	1.72	2.23	2.64	1.86	2	3.27	1.9	1.92	2	2.29	3.62	0.99	0.34
MgO	1.94	1.7	1.4	3.5	6.7	3.34	2.6	1.87	2.68	2.67	5.51	2.92	14.4
CaO	19	22.74	19.92	7.25	20.9	22.3	22.46	19.12	22.14	19.94	16.91	11.01	24.05
Na ₂ O	0.34	0.08	0.09	1.2	0.3	0.12	0.01	0.15	0.08	0.08	0.16	0.28	Не обн.
K_2O	0.14	0.04	0.63	0.28	0.06	0.06	0.04	0.31	0.03	0.03	0.11	1.3	Не обн.
P_2O_5	0.28	0.16	0.18	0.15	0.18	0.25	0.24	0.21	0.12	0.07	0.27	0.22	0.57
H_2O	0.36*	1.78	2.1	5.9	2.1	0.17*	0.58*	0.82*	0.35*	0.69*	0.81*	0.29*	Н. о.
CO_2	Н. о.	0	0	0	0	Н. о.	Н. о.						
П.п.п.	1.4	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	1.55	Не обн.	0.8	0.52	Не обн.	2.03	1.43	Н. о.
Σ	99.69	99.76	99.89	99.89	99.98	99.8	99.71	99.55	100.14	100.23	99.33	99.96	97.07

 $[*]H_2O^-; **все железо как трехвалентное.$

Примечание. 11 — Широкопаднинская площадь, прочие — Мокрушинская площадь; 1–11 — массивные родингиты (см. текст); 12, 13 — родингиты, образовавшиеся по амфибол-полевошпатовым породам (12) и горнблендитам (13) палеоценового возраста; 1–6, 11 — методом количественного химического анализа (аналитики Р.Н. Грицай, Ю.С. Бабаева); 13 — методом площадного сканирования на рентгеноспектральном микроанализаторе; прочие — методом атомно-эмиссионной спектрометрии и гравиметрии (п.п.п., H_2O^- , SiO₂) (аналитики Л.И. Алексеева, О.Е. Федорец). Особенности пробоподготовки: 7–10, 12 — сплавление с метаборатом лития. Н. о. — не определялось, не обн. — не обнаружено.

Note. 11 – Shirokopadninskaya area, others – Mokrushinskaya area; 1–11 – massive rodingites (see text); 12, 13 – rodingites developed on amphibole-feldspar rocks (12) and hornblendites (13) of Paleocene age; 1–6, 11 – method of quantitative chemical analysis (analysts R.N. Gritsay, Yu.S. Babaeva); 13 – method of areal scanning using the X-ray microanalyser; others – method of atomic-emission spectrometry and gravimetry (LOI, H_2O^- , SiO_2) (analysts L.I. Alekseeva, O.E. Fedorets). Specificity of the sample preparation:. 7–10, 12 – fusion with lithium metaborate. H. o. – not determined; H_2O^- , $H_$

^{*}H₂O-; **total iron is as ferric iron.

Таблица 2. Содержание второстепенных элементов в родингитах Сихотэ-Алиня, г/т

Table 2. Content of accessory elements in rodingites of the Sikhote-Alin, ppm

	3 5 4 4 4 0		3 5 4 4 4 6	3 5 4 4 4 4 4	3 5 4 4 6 4 5 10		
Эле-	M-11-10	M-11-11	M-11-12	M-11-13	М-11-31-Б*		
мент	1.220	1.2.40	2 120	0.014	1.100		
Be	1.230	1.240	2.130	0.914	1.180		
Sc	12.70	8.32	12.26	3.10	14.90		
V	69.10	44.40	29.90	16.70	163.30		
Cr	96.66	59.96	251.00	104.10	246.10		
Co	30.81	21.42	24.21	19.95	39.42		
Ni	92.60	75.30	79.60	48.40	111.30		
Cu	34.23	36.64	57.32	112.30	31.26		
Zn	361.30	349.10	337.10	347.10	118.30		
Ga	19.76	19.29	10.11	6.07	14.73		
Rb	3.92	9.19	3.29	2.89	36.97		
Sr	175.70	219.80	52.40	31.00	268.60		
Y	22.37	17.78	15.28	11.65	28.24		
Zr	127.20	87.05	93.05	27.25	132.80		
Nb	23.50	15.31	20.89	3.35	17.00		
Mo	1.86	1.55	21.96	5.02	10.93		
Cd	0.201	0.172	1.460	0.071	0.313		
Sn	18.77	9.88	22.36	11.12	2.97		
Cs	0.112	0.247	0.286	0.201	0.789		
Ba	12.42	67.56	6.46	5.53	344.10		
La	41.60	19.13	9.99	1.94	31.80		
Ce	56.36	29.00	16.56	2.82	48.72		
Pr	8.510	4.690	2.620	0.535	8.120		
Nd	32.04	19.87	10.53	2.79	31.64		
Sm	5.42	3.89	2.30	0.76	6.61		
Eu	1.810	1.530	1.050	0.228	2.130		
Gd	4.53	3.84	2.31	1.14	6.78		
Tb	0.725	0.557	0.370	0.193	1.100		
Dy	4.04	3.15	2.17	1.40	6.41		
Но	0.804	0.623	0.465	0.316	1.190		
Er	2.16	1.61	1.30	1.00	3.15		
Tm	0.259	0.204	0.169	0.120	0.414		
Yb	1.790	1.380	1.040	0.861	2.720		
Lu	0.284	0.228	0.173	0.108	0.373		
Hf	2.840	1.910	2.110	0.531	2.550		
Ta	1.350	0.947	1.350	0.187	0.957		
W	2.19	1.90	10.90	5.03	8.79		
Pb	5.21	6.26	9.78	7.31	17.43		
Th	3.360	1.800	2.100	0.611	4.010		
U	1.400	1.570	0.682	0.235	1.220		

^{*}Родингит по амфибол-полевошпатовым породам, прочие — массивные родингиты Таухинского террейна.

нем случае особенностью пробоподготовки являлось сплавление навески с метаборатом лития. Содержание второстепенных элементов в родингитах и магматических породах определяли в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Agielent 7500 с (Agielent Technologies, США) (табл. 2, 3) Особенностью про-

боподготовки являлось сплавление навески с метаборатом лития.

Анализы минералов (в аншлифах) выполнены в ДВГИ ДВО РАН на микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight по принятой в этом учреждении методике (табл. 4–6).

Содержание благородных металлов определяли атомно-абсорбционным методом в лабораториях аналитической химии (подготовка рабочего раствора) и анализа благородных металлов (измерения) ДВГИ ДВО РАН (табл. 7). Для приготовления рабочего раствора использовали кислотное разложение проб с утилизацией фильтров (путем так называемого "мокрого сжигания") с последующим восстановлением благородных металлов хлоридом двухвалентного Sn и соосаждением с Те. Для подтверждения достоверности концентраций выполнены повторные анализы (см. табл. 7, партия 1-1). Полученные значения частично заверены рентгенофлюоресцентным методом в ИХ ДВО РАН (см. табл. 7) измерениями в тех же растворах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На Мокрушинской и Широкопаднинской площадях распространены родингиты, генетически связанные с процессами формирования палеоценовых эксплозивных структур. Структуры сложены флюидолитами, горнблендитами, карбонатитоподобными, а также слюдисто-полевошпатовыми и амфибол-полевошпатовыми породами жерловой фации, которые по минеральному составу в основном соответствуют керсантитам, минеттам и амфиболовым лампрофирам, но отличаются от их классических представителей текстурными и структурными особенностями. К этому же комплексу относятся дайка флогопит-оливиновых пород и небольшой массив меланократовых амфиболовых габбро Мокрушинской площади. Родингитовые ассоциации развивались по раздробленным микрокристаллическим амфибол-полевошпатовым породам и горнблендитам жерловых фаций, магматическому цементу брекчий с обломками осадочных пород, а также по присутствующим в флюидолитах обломкам горнблендитов.

Кроме этих образований брекчиевой текстуры, геологическое положение которых не вызывает сомнений в генетической связи родингитовых ассоциаций с породами жерловых фаций (далее — родингиты палеоценовых эксплозивных структур), присутствуют тела массивных родингитов в осадочных отложениях (далее — массивные родингиты). Выходы одного из них наблюдались на Мокрушинской площади в русле и борту одного из притоков р. Мокруша в виде клиновидного тела с видимой максимальной шириной до 15 м и протяженностью до 25 м. Истинные размеры тела опреде-

^{*}Rodingite on amphibole-feldspar rocks, others – massive rodingites of Taukha terrane.

Таблица 3. Содержание некоторых второстепенных элементов в породах Мокрушинской площади, г/т

Table 3. Content of some accessory elements in rocks of Mokrushinskaya area, ppm

Проба,	M-86-32	M-86-31	17	M-11-31A	М-11-Л1	11-28	11-29	M-11-104	M-11-28	
элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Be	0.204	0.000	1.640	1.740	4.520	3.150	2.820	4.510	5.070	
Sc			26.32	26.30	17.27	14.30	16.06	16.09	15.68	
V	17.3	27.8	169.6	240.5	136.5	211.0	196.4	146.0	133.1	
Cr	39.01	68.48	843.80	362.20	37.34	68.82	25.52	56.96	38.81	
Co	58.10	67.84	42.37	34.74	21.14	23.73	22.13	23.07	24.85	
Ni	90.0	127.5	304.9	141.0	47.5	46.8	43.6	38.5	51.3	
Cu	6.97	16.56	33.92	59.37	16.76	18.94	33.41	31.99	5.00	
Zn	164.1	204.9	824.1	75.0	223.1	68.3	174.5	245.1	76.8	
Ga	3.57	4.74	12.19	20.88	31.00	19.53	19.16	24.01	21.49	
Rb	33.94	53.25	4.94	51.50	146.00	173.60	153.60	126.10	113.80	
Sr	2.6	4.8	100.2	465.4	392.0	384.5	510.6	263.2	376.1	
Y	6.51	6.65	22.59	45.24	40.15	58.17	88.92	42.59	47.23	
Zr	253.40	259.70	92.49	296.30	569.50	483.10	479.00	442.80	622.60	
Nb	7.88	9.54	17.74	47.63	87.94	79.34	80.49	72.30	94.65	
Mo	1.37	2.26	5.00	13.44	2.18	4.70	2.62	4.84	2.11	
Cd	Н. о.	0.134	0.690	0.227	0.433	0.341	0.108	0.403	0.470	
Sn	16.600	0.483	5.880	3.240	3.560	4.350	2.600	2.510	2.850	
Cs	2.420	1.270	0.385	0.973	8.120	9.050	9.580	2.970	3.230	
Ba	45.99	111.50	73.14	402.30	883.30	692.80	899.80	558.50	456.50	
La	0.368	0.670	5.100	53.160	46.160	73.050	82.600	44.220	125.800	
Ce	0.873	1.440	19.440	95.360	108.300	150.300	144.800	96.960	175.900	
Pr	0.096	0.203	3.520	13.930	12.440	18.600	21.500	12.550	16.530	
Nd	0.520	0.775	18.450	57.570	51.520	76.870	88.320	52.420	61.620	
Sm	0.116	0.222	5.040	12.440	10.860	15.390	17.640	11.520	12.340	
Eu	0.038	0.071	1.600	3.570	3.630	5.080	5.300	3.490	4.150	
Gd	0.290	0.299	5.510	11.820	10.170	13.880	16.990	9.940	10.820	
Tb	0.063	0.073	0.843	1.840	1.570	2.120	2.600	1.560	1.650	
Dy	0.483	0.658	4.800	10.930	8.800	12.110	14.360	8.410	9.670	
Но	0.189	0.187	0.900	1.910	1.540	2.230	2.950	1.570	1.730	
Er	0.733	0.903	2.380	4.980	4.010	5.940	7.830	4.090	4.630	
Tm	0.149	0.184	0.312	0.635	0.538	0.820	1.130	0.592	0.615	
Yb	1.38	1.97	1.79	3.63	3.50	4.97	6.76	3.43	4.03	
Lu	0.269	0.330	0.235	0.487	0.488	0.670	1.030	0.445	0.586	
Hf	2.37	3.08	2.81	5.72	12.71	11.02	10.83	9.52	13.71	
Та	0.409	0.579	1.070	2.640	5.690	4.440	4.900	4.100	6.020	
W	1.11	2.11	4.25	12.96	1.82	4.42	1.32	2.36	3.29	
Pb	2.84	2.67	14.59	11.92	10.45	8.03	6.54	8.46	7.03	
Th	0.608	1.520	1.640	6.010	7.580	6.750	7.160	6.410	7.910	
U	1.610	2.120	0.552	1.910	1.510	1.600	1.960	1.410	1.730	

Примечание. 1, 2 — флогопит-оливиновая порода; 3 — горнблендит; 4 —амфибол-полевошпатовая порода; 5—9 — слюдисто-полевошпатовая порода. Н. о. — не определялось.

Note. 1, 2 – phlogopite-olivine rock; 3 – hornblendite; 4 – amphibole-feldspar rock; 5–9 – micaceous-feldspar rock. H. o. – not determined.

лить не удалось из-за плохой обнаженности территории. Аналогичные по минеральному составу, текстурным и структурным особенностям породы в виде обломков многократно наблюдались в высыпках, вывалах и делювии осадочных пород на Мокрушинской и Широкопаднинской площадях. Судя по особенностям залегания, массивные родингиты могут являться частью меланжевого комплекса неокомской аккреционной призмы и, соответственно, продуктами метасоматической переработки сергеевских или владимиро-александровских габ-

броидов либо продуктами полного замещения небольших интрузивных тел палеоценового комплекса. Для решения этого вопроса из-за недостатка геологических данных потребовалось привлечение петрохимических, геохимических и минералогических материалов (см. далее).

Родингитизированные горнблендиты. Горнблендиты представлены микрозернистыми практически мономинеральными (паргаситовыми) породами, содержащими автолиты и местами рассеченными сетью микротрещин, вдоль которых состав

Габлица 4. Состав минералов родингитов палеоценовой эксплозивной структуры Мокрушинской площади, мас. % **Table 4.** Composition of the rodingite minerals of the Paleocene explosive structure of Mokrushinskaya area, wt %

п 0* Na Mg Al Si CI 42.23 - 8.52 1.54 23.96 0.21 42.26 - 9.63 0.53 24.81 - 43.22 - 9.55 - 25.17 - 42.11 - 9.24 0.95 23.98 0.30 41.34 - 7.64 0.73 24.23 - 41.66 - 9.38 0.59 24.67 - 44.26 1.04 9.16 5.61 21.46 0.21 44.86 - 12.06 1.12 25.74 - 36.86 3.70 - - - 0.8 36.55 - 4.11 - 24.31 - 36.55 - 4.11 - 24.86 - 40.25 - 5.28 - 24.86 - 40.25 - 2.48 - 22.58 <t< th=""></t<>
Na Mg Al Si Cl Ca Ti K Cr Mn Fe Cymma Cymma
Na
Na Mg Al Si Cl Ca Ti K Cr Mn
Na Mg Al Si Cl Ca Ti K Cr Ca Ti Al
Na
O* Na Mg Al Si Cl Ca Ti
O* Na Mg Al Si Cl Ca Ca 42.23 - 8.52 1.54 23.96 0.21 18.06 42.25 - 9.63 0.53 24.81 - 18.27 43.22 - 9.63 0.53 24.81 - 18.37 43.22 - 9.55 - 25.17 - 18.37 41.34 - 7.64 0.73 24.23 - 18.11 41.66 - 9.38 0.59 24.67 - 18.26 44.26 1.04 9.16 5.61 21.46 0.21 9.30 10.0* F Mg Al Si Cl Ca 44.86 - 12.06 1.12 25.74 - 9.12 36.86 27.16 - 2.4.86 - 18.84 37.16 - 5.28 - 16.31 40.25 - 2.48 - 16.31 40.25 - 2.48 - 16.31 41.46 - 2.75 - 22.58 - 16.91 39.51 - 2.47 - 22.58 - 16.91 39.51 - 2.47 - 22.56 - 16.47 41.46 - 2.47 - 22.56 - 16.48 42.43 - 3.07 - 22.25 - 16.46 41.10 - 2.47 - 22.25 - 16.48 42.43 - 3.07 - 22.25 - 16.48 42.43 - 3.07 - 22.25 - 16.46 41.10 - 2.47 - 22.25 - 16.48 42.43 - 3.07 - 22.25 - 16.46 41.10 - 2.47 - 22.25 - 16.48 42.43 - 3.07 - 22.25 - 16.46 41.10 - 2.3.64
O* Na Mg Al Si Cl 42.23
Na Mg Al Si 42.23 - 8.52 1.54 23.96 2
O* Na Mg Al 42.23
O* Na Mg
11 O* Na
П 0* 1 42.23 42.25 43.22 42.11 41.34 41.26 11.34 41.26 36.86 36.86 36.86 36.86 36.86 36.86 36.86 36.86 37.16 40.23 41.10 41.46 39.51 42.43 39.51 42.43 39.51 42.43 39.51 41.10

породам (10–12): пироксен (10, 11), эпидот (12); из родингитового цемента брекчий (13–35): пироксен (13–18), везувиан (19–29), титанит (30–32), пренит (33, 34) и эпидот (35). Анализь 10–12 выполнены П.П. Сафроновым на сканирующем электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой; в связи с особенностями программного обеспе-Примечание. Минералы из родингитов, заместивших горнблендиты (1-9): пироксен(1-6), амфибол (по пироксену) (7, 8), апатит(9); из родингитов по амфибол-полевошпатовым чения прибора содержания элементов нормированы на 100. Прочерк – элемент не обнаружен. *По результатам измерения.

By results of the measurement.

Note. Minerals from rodingites that replaced hormblendites (1–9): pyroxene (1–6), amphibole (on pyroxene) (7, 8), apatite (9); from rodingites on amphibole-feldspar rocks: (10–12): pyroxene (18–18), vesuvianite (19–29), sphene (30–32), prehnite (33–34), epidote (35). Analyses 10–12 have been performed by P.P. Safronov using the scanning electron microscope with the energy-dispersive attachment; in connection with the specificity of the instrument program software the element contents have been normalized to 100. Dash – item not found.

Габлица 5. Состав породообразующих минералов массивных родингитов Таухинского террейна, мас. %

Table 5. Composition of rock-forming minerals of massive rodingites of Taukha terrane, wt. %

Формула	$(Ca_{0.96}Mn_{0.04})_{1.00}(Mg_{0.34}Fe_{0.60}Mn_{0.04}A\overline{l}_{0.02})_{1.00}Si_{2.00}O_6$	$\mathrm{Ca_{1.03}(Mg_{0.13}Fe_{0.44}Mn_{0.40})_{0.97}Si_{2.00}O_{6}}$	${ m Ca_{1.01}(Mg_{0.11}{ m Fe}_{0.71}{ m Mn}_{0.15}{ m Al}_{0.02})_{0.99}{ m Si}_{2.00}{ m O}_6}$	${ m Ca_{0.99}(Mg_{0.03}{ m Fe_{0.52}Mn_{0.45})_{1.00}Si_{2.01}O_6}$	$\mathrm{Ca_{1.00}(Mg_{0.64}Fe_{0.32}Mn_{0.02}Al_{0.02})_{1.00}Si_{2.00}O_6}$	$(\mathrm{Na_{0.03}Ca_{0.97}})_{1.00}(\mathrm{Mg_{0.57}Fe_{0.36}Mn_{0.06}Al_{0.01}})_{1.00}(\mathrm{Si_{1.97}Al_{0.03}})_{2.00}\mathrm{O_6}$	$(Ca_{0.99}Mn_{0.01})_{1.00}(Mg_{0.62}Fe_{0.39}Mn_{0.01}Al_{0.03})_{1.00}(Si_{1.98}Al_{0.02})_{2.00}O_6$	${ m Ca_{1.01}(Fe_{0.83}Mg_{0.11}Mn_{0.09})_{1.03}Si_{1.96}O_6}$	${ m Ca_{1.02}(Fe_{0.42}Mg_{0.53}Mn_{0.04})_{0.99}Si_{1.99}O_6}$	${ m Ca_{1.00}(Fe_{0.51}Mg_{0.45}Mn_{0.05}Al_{0.01})_{0.99}Si_{1.98}O_6}$	$\mathrm{Ca_{1.03}(Fe_{0.71}Mg_{0.22}Mn_{0.08})_{1.02}Si_{1.96}O_6}$	$\mathrm{Ca_{1.01}(Fe_{0.27}Mg_{0.69}Mn_{0.06})_{1.02}Si_{1.95}O_{6}}$	$(Ca_{2.89}Mn_{0.09}Fe_{0.02})_{3.00}(Al_{1.71}Fe_{0.30})_{2.01}Si_{2.99}O_{12}$	$(Ca_{3.00}Mn_{0.06})_{3.06}(A1_{1.65}Ti_{0.07}Fe_{0.29})_{2.01}Si_{2.93}O_{12}$	$({\sf Ca}_{2.92}{\sf Mn}_{0.09})_{3.01}({\sf Al}_{1.50}{\sf Ti}_{0.04}{\sf Fe}_{0.53})_{2.07}{ m Si}_{2.92}{\sf O}_{12}$	$({ m Ca}_{2.78}{ m Mn}_{0.23})_{3.01}({ m Al}_{1.70}{ m Fe}_{0.38})_{2.08}{ m Si}_{2.91}{ m O}_{12}$	$({\sf Ca}_{2.97}{\sf Mn}_{0.07})_{3.04}({\sf Al}_{1.20}{\sf Ti}_{0.02}{\sf Fe}_{0.81})_{2.03}{\sf Si}_{2.93}{\sf O}_{12}$	$({\sf C}a_{2.77}{\sf M}n_{0.05}{\sf F}e_{0.18})_{3.00}({\sf A}I_{1.78}{\sf F}e_{0.15}{\sf T}i_{0.07})_{2.00}{\sf S}i_{3.00}{\sf O}_{12}$	$(Ca_{1.90}Mn_{0.10})_{2.00}(Fe_{2.72}Mg_{1.77}Mn_{0.10}Al_{0.41})_{5.00}(Si_{7.51}Al_{0.49})_{8.00}O_{22}(OH)_2$	Формула	$(Ca_{1.90}K_{0.04}Mn_{0.06})_{2.00}(Fe_{2.69}Mg_{1.77}Mn_{0.14}Al_{0.40})_{5.00}(Si_{7.65}Al_{0.35})_{8.00}O_{22}(OH)_{2}$	$(Ca_{1.95}K_{0.04}Mn_{0.01})_{2.00}(Fe_{2.72}Mg_{1.71}Mn_{0.23}Al_{0.34})_{5.00}(Si_{7.77}Al_{0.23})_{8.00}O_{22}(OH)_{2}$	$(\mathrm{Na}_{0.76}\mathrm{Ca}_{0.19})_{0.95}(\mathrm{Al}_{1.00}\mathrm{Fe}_{0.03})_{1.03}(\mathrm{Si}_{2.82}\mathrm{Al}_{0.20})_{3.02}\mathrm{O}_{8}$	$(Na_{0.61}Ca_{0.36})_{0.97}A1_{1.03} (Si_{2.66}A1_{0.34})_{3.00}O_8$	$(\mathrm{K}_{0.98}\mathrm{Na}_{0.07})_{1.05}(\mathrm{Al}_{0.99}\mathrm{Fe}_{0.01})_{1.00}\mathrm{Si}_{2.95}\mathrm{O}_{8}$	$\mathrm{Ca_{1.98}(Al_{1.96}Fe_{0.04})_{2.00}Si_{3.02}O_{10}(OH)_2}$	$100.26 \mid \mathrm{Ca}_{2.01}(\mathrm{Al}_{1.93}\mathrm{Fe}_{0.03})_{1.96}\mathrm{Si}_{3.03}\mathrm{O}_{10}(\mathrm{OH})_2$	$Ca_{1.02}(Al_{0.99}Fe_{0.03})_{1.02}Si_{1.96}O_6(OH)$
Сумма	99.74	100.65	100.35	92.66	101.06	99.55	98.37	101.52	101.10	100.72	100.84	99.46	101.56	101.25	101.75	101.27	102.41	99.47	102.23	Сумма	101.71	99.91	98.06	101.49	102.27	100.48	100.26	98.73
Fe	14.12	10.12	15.99	11.55	7.85	8.90	8.12	19.20	10.38	12.40	16.66	6.78	3.91	3.61	6.44	4.61	9.75	3.67	17.12	Fe	16.71	16.62	0.67	ı	0.29	0.55	0.46	0.84
Mn	1.74	8.87	3.37	9.95	0.43	1.36	0.59	2.16	1.06	1.30	1.76	1.45	1.11	0.71	1.04	2.80	0.83	0.56	1.22	иW	1.19	1.44	ı	ı	I	I	ı	I
Ti	1	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	0.75	0.46	ı	0.20	0.65	ı	K	0.17	0.19	ı	ı	14.31	ı	ı	I
Ca	16.04	16.89	16.59	16.03	17.72	17.11		16.95		17.46	17.20	18.02	α	26.19	25.40	24.21	25.45	22.50	8.60	Ca	S	8.56	2.78	5.40	I	19.11	19.62	17.17
Si	23.45	22.92	23.1	22.73	24.77	24.26	24.59	22.88	24.37	23.98	23.08	24.21	18.25	17.95	17.71	17.76	17.61	17.07	23.79	Si	23.91	23.92	29.51	28.08	31.09	20.42	20.70	23.21
Al	0.25	1	0.25	ı		0.45		ı		0.17	1	1	10.08			9.97	6.93	9.73	2.75	Al	2.26	1.67	1.	13.91	_		12.68	_
Mg	3.42	1.32	1.1	0.28	6.75	6.15	6.64	1.14	5.61	4.71	2.22	7.43		ı	-	-	ı	-	4.86	Mg	4.79	4.54	ı	-	ı	ı	-	1
Na	1	1	1	1	1	0.28	1	1	1	1	1	ı	1	1	1		1	1	1	Na	1	1	6.49	5.27	09.0	1	1	1
*0	40.73	40.52	39.96	39.22	43.28	41.05	40.25	39.19	41.68	40.70	39.92	41.58	42.95	42.34	41.92	41.91	41.65	45.30	43.90	*0	44.23	42.97	46.48	48.83	45.96	47.65	46.80	46.22
Точка								1												Точка	17						69	
№ п/п	-	7	8	4	2	9	7	∞	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	№ п/п	20	21	22	23	24	25	76	27

*По результатам измерения.

Примечание. Пробы: М-86-23 (1-7, 13, 25-27), М-11-13 (8-12, 14-17), М-11-10 (18), М-86-34 (19-23), М-86-18а (24). Минералы: пироксен (1-12), гранат (13-18), амфибол (19-21), плагиоклаз (22, 23), калишпат (24), пренит (25, 26), соединение CaAlSi $_2$ O $_6$ (OH) (?) (27). Прочерк — элемент не обнаружен.

*By results of the measurement.

Note. Samples: M-86-23 (1-7, 13, 25-27), M-11-13 (8-12, 14-17), M-11-10 (18), M-86-34 (19-23), M-86-18a (24). Minerals: pyroxene (1-12), garnet (13-18), amphibole (19-21), plagioclase (22, 23), kalispar (24), prehnite (25, 26), compound CaAISi₂O₆(OH) (?) (27). Dash – item not found.

Габлица 6. Состав минералов эпидотовой группы, титанита и пирофанита массивных родингитов Таухинского террейна, мас. % F**able 6.** Composition of minerals of epidote group, sphene, and pyrophanite of massive rodingites of Taukha terrane, wt %

	_			_	_		$\overline{}$									
Формула	Эпидот Са _{1,93} (Al _{2,36} Fe _{0,68} Mn _{0,02}) _{3,06} Si _{3,010} O ₁₂ (OH)	$(Ca_{1.4}La_{0.18}Ce_{0.21}Pr_{0.03}Nd_{0.11})_{1.97}(Al_{2.03}Fe_{0.96})_{2.99}Si_{3.04}O_{12}(OH)$	Бастнезит (La _{0.27} Ce _{0.58} Pr _{0.05} Nd _{0.10}), оо(СО ₃)ОН	$(Ca_{1.37}La_{0.22}Ce_{0.32}Nd_{0.04}Th_{0.05})_{2.00}(Al_{2.07}Fe_{0.86})_{2.93}Si_{3.07}O_{12}(OH)$	$(Ca_{1.64}La_{0.12}Ce_{0.17}Nd_{0.05})_{1.98}(Al_{2.32}Fe_{0.66})_{2.98}Si_{3.04}O_{12}(OH)$	$(Ca_{1.67}La_{0.08}Ce_{0.15}Nd_{0.06})_{1.96}(Al_{2.28}Fe_{0.74})_{3.02}Si_{3.02}O_{12}(OH)$	$(Ca_{1.60}La_{0.07}Ce_{0.13}Nd_{0.05}Th_{0.02})_{1.87}(Al_{2.28}Fe_{0.73})_{3.01}Si_{3.12}O_{12}(OH)$	Формула	Титанит Са _{1.00} (Ті _{0.86} АІ _{0.10} Fе _{0.03}) _{0.99} Sі _{1.01} О ₄ О _{0.87} (ОН) _{0.13}	$(Ca_{1.01}(Ti_{0.83}AI_{0.14}Fe_{0.03})_{1.00}Si_{0.99}O_4(O_{0.85}F_{0.15})_{1.00}$	$(Ca_{1.02}(Ti_{0.86}AI_{0.12}Fe_{0.02})_{1.00}Si_{0.98}O_4O_{0.82}(OH)_{0.18}$	$(Ca_{0.96}(Ti_{0.85}Al_{0.07}Fe_{0.01}V_{0.02})_{0.95}Si_{1.09}O_4O_{0.92}(OH)_{0.08}$	Титанит Са _{0.99} (Ті _{0.85} АІ _{0.09} Fе _{0.03}) _{0.97} Sі _{1.04} О ₄ О _{0.89} (ОН) _{0.11}	2.68 $ 25.71 $ $ 2.50 $ 97.75 Пирофанит $ (\mathrm{Mn}_{0.91}\mathrm{Fe}_{0.09})_{1.00}(\mathrm{TiO}_3)_{1.00}$	Формула	- $-$ 15.15 16.86 101.18 Пирофанит (Fe _{0.48} Мп _{0.52}) _{1.00} ТіО ₃
Тһ Сумма Минерал	Эпидот	Алланит	Бастнезит	Алланит	Алланит	Алланит	Алланит	Минерал	Титанит	Титанит	Титанит	Титанит	Титанит	Пирофанит	Ti V Cr Mn Fe Сумма Минерал	Пирофанит
Сумма	98.72	98.79	88.85	1.11 2.04 97.56	97.26	95.83	1.53 0.93 97.17	Fe Сумма	0.77 92.40	0.87 103.04	0.55 101.19	0.37 101.72	0.89 100.49	97.75	Сумма	101.18
Th	ı	Ι	Ι	2.04	1	1	0.93	Fe	0.77	0.87	0.55	0.37	0.89	2.50	Fe	16.86
La Ce Pr Nd	ı	.29 5.15 0.83 2.78	6.44	1.11	1.23	1.73	1.53	Ti V Cr Mn	ı	ı	ı	ı	ı	25.71	Mn	15.15
Pr	ı	0.83	3.03	ı	ı	ı	ı	Cr	ı	ı	ı	ı	ı	2.68	Cr	_
Ce	ı	5.15	35.35	.40 7.82	08 4.38	23 4.10	.87 3.42	Λ	ı	ı	ı	0.40	ı	-	>	
La	ı	4.29	1.41 15.75 35.35 3.03 6.44	5.40	3.08	2.23	1.87	Ti	18.84	20.70	21.47	.01 15.55 19.44 20.64 0.40	20.25	24.71	Ξ.	25.43
Fe	0.23	9:36	1.41	8.39	7.01	7.94	7.88	Ca	18.38	21.19	66 14.37 21.28 21	19.44	.24 14.59 19.87 20	.01 3.69 1.89 24.71	Ca	3.72
Ca	15.30	10.11	1.07	9.65	12.48	12.82	12.38	Si	13.06	14.52	14.37	15.55	14.59	3.69	Si	3.32
Si	16.74	14.95	3.74	15.13	6.21	16.29	16.87	Al	1.29 13.06 18.38 18.84	1.98	1.66	1.01	1.24	1.01	Al	1.29
Al	12.60	9.59	0.94	9.82	11.88	[1.81]	11.83	Ч	1	1.53	-	-	-	-	Mg	0.25
*0	46.30 12.60 16.74 15.30 0.23	41.74 9.59 14.95 10.11 9.36	21.13 0.94 3.74 1.07	38.20 9.82 15.13 9.65	41.01 11.88 16.21 12.48 7.01	38.90 11.81 16.29 12.82 7.94	40.47 11.83 16.87 12.38 7.88	*0	10.06	5 42.25 1.53 1.98 14.52 21.19 20	41.86	44.30	43.64	35.57	*0	35.17
Точка	3	1	5	120	8	20 3	42	Точка О*	10 40.06	5	4	14	113	11 [3	Точка О*	21 [3
Проба Точка О*	M-11-11	M-11-10		M-86-34	M-86-23	M-86-18a		Проба	M-11-11	M-11-13	M-11-13	M-86-34		M-86-23	Проба	14 M-11-13 21 35.17 0.25 1.29 3.32 3.72 25.43
Š	1	7	α	4	2	9		Ŋē	∞	6	10	11	12	13	Ñ	14

*По результатам измерения. Прочерк – элемент не обнаружен. *By results of the measurement. Dash – item not found.

Таблица 7. Содержание **Pt и Au по результатам анали**за массивных родингитов атомно-абсорбционным методом, Γ/T

Table 7. Content of Pt and Au from the results of the analysis of massiv rodingites with the atomic-absorption method, ppm

		_		-			
No	Проба	Пар	тия 1	Парт	гия 1-1		
п/п		Pt	Au	Pt	Au		
1	Ш-86-102	1.16; 1.24	0.08; 0.12	0.69	0.04		
2	Шп-86-1	0.78	0.06	0.58	0.004		
3	Ш-86-93	1.33	0.03	1.09; 0.30	0.02; 0.52		
4	Ш-86-130	2.01	5.62	0.19; 2.22	9.74 (8.04);		
					3.77		
5	M-86-18a	1.19; 1.87	0.05; 0.08	1.17	0.01		
6	M-86-23	0.78	0.04	0.56	0.02		

Примечание. Точкой с запятой и пробелом разделены результаты параллельных анализов; в скобках – результаты определения **Аи рентгенофлюоресцентным методом (в тех же раст**ворах). 1–4 — Широкопаднинская площадь; 5, 6 — Мокрушинская площадь.

Note. The semicolon and omission separate the results of the parallel analyses; in brackets – the results of the Au determination with the X-ray fluorescence method (in the same solutions). 1–4 – Shirokopadninskaya area; 5, 6 – Mokrushinskaya area.

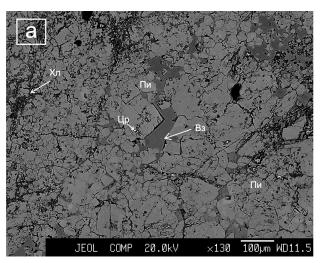
амфибола в разной степени изменен (от паргаситового до актинолитового). Горнблендиты обогащены Cl (до 0.79 мас. %), V, Cr, Ni и Zn. На отдельных участках они неравномерно замещены родингитами, сложенными неоднородными по составу кристаллами пироксена, иногла вместе с большим количеством апатита, (рис. 2) кварцем или единичными кристаллами амфибола. Основными компонентами состава родингитов являются Si, Ca, Mg и Fe (см. табл. 1). В небольшом количестве присутствуют А1, Р, Мп и Ті. Родингиты по сравнению с исходными горнблендитами содержат больше Ca, Si и P, меньше Ti, Al, Fe и сопоставимое количество Мд и Мп. Кроме того, они отличаются отсутствием СІ и щелочей. Пироксен представлен диопсидом с переменным количеством геденбергитового минала (см. табл. 4). В нем присутствует немного Al, Ti, Mn или Cr. Амфибол относится к Cl-содержащей разновидности актинолитпаргаситового ряда (\approx от 0 до 60 мол. % паргаситового минала). По составу он аналогичен амфиболу горнблендитов и, очевидно, имеет реликтовую природу. Апатит является фтористой разновидностью, содержащей немного Cl.

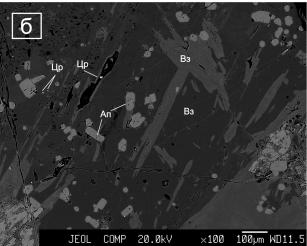
Родингитизированные амфибол-полевошпатовые породы. Амфибол-полевошпатовые, — богатые Ті и Са основные породы сложены фенокристаллами амфибола и амфибол-полевошпатовой микрозернистой основной массой с обильными выделениями ильменита и редкими — титанита и апатита. Амфибол актинолит-паргаситового ряда непостоянного состава в отличие от амфибола горнблендитов не содержит СІ. Плагиоклаз представлен

лабрадор-битовнитом. Амфибол-полевошпатовые породы обогащены V, Cr, Ni, Sr, Zr, Nb, Mo, Ba, REE и W (см. табл. 3). На участках дробления они замещены родингитами, сложенными пироксеном, калиевым полевым шпатом, пренитом, эпидотом и титанитом. В качестве цементирующего родингитизированные обломки материала иногда выступают титанит-санидин-амфиболовые образования. Родингиты (см. табл. 1) по сравнению с исходными амфибол-полевошпатовыми породами содержат больше Si, Fe, Mn, меньше Ca, P, Ti, Al, щелочей и сопоставимое количество Mg. Пироксен представлен, главным образом, обогащенным Мп салитом (см. табл. 4). В калиевом полевом шпате присутствует до 6 мол. % альбитового и до 12 мол. % анортитового миналов. Титанит содержит немного Al (до 0.14 ф. е.), Fe^{+3} (до 0.07) и F (до 0.12 ф. е.). Иногда в пироксеновых родингитах присутствуют скопления титанитовых зерен или более поздних кристаллов пирита, касситерита, шеелита и кварца.

Брекчии с замещенным родингитами магматическим цементом. В составе родингитов наряду с пироксеном, везувианом, эпидотом, пренитом, хлоритом, F-содержащим титанитом, F-апатитом, кварцем и цирконом встречаются алланит, барит, пирит, манганаксинит и кальцит. Пироксен иногда слагает почти мономинеральные участки с небольшим количеством везувиана, хлорита, циркона и других минералов (см. рис. 2а). Он представлен обогащенными Мп членами диопсидгеденбергитового ряда и характеризуется широким изменением состава (см. табл. 4). Везувиан выполняет интерстиции между кристаллами пироксена (см. рис. 2а) или слагает самостоятельные участки с включениями кристаллов апатита и циркона (см. рис. 26, в). В их пределах присутствует везувиан нескольких генераций, различающийся по составу, - более богатый Fe и Mn содержит меньше Ca и Al. Многие опубликованные анализы этого минерала неудовлетворительно пересчитываются на формулу $Ca_{10}Al_4(Mg, Fe)_2Si_9O_{34}(OH, F)_4$, определенную на основании рентгеноструктурных данных [Минералы..., 1972]. В нашем случае везувиан представлен безмагнезиальной бедной Са высокоглиноземистой разновидностью, обогащенной Мп. Довольно часто встречается и F-содержащая разновидность с заметным количеством Cr и V (см. табл. 4). Удовлетворительное соответствие результатов пересчета полученных анализов приведенной формуле можно получить только путем помещения всего количества или значительной части Mn и Fe в позиции Ca, а также значительного количества Al в позиции Fe⁺² и Mg, вследствие чего последние в большинстве случаев оказываются занятыми А1 полностью.

Массивные родингиты среди осадочных пород. Основными компонентами массивных родингитов являются Si, Ca и Fe (см. табл. 1). Породы





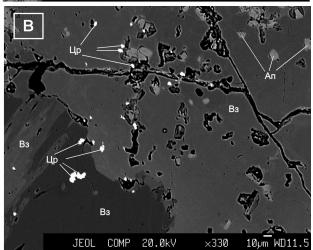


Рис. 2. Пироксеновые (с везувианом, хлоритом и цирконом) (а) и везувиановые (с апаритом и цирконом) (б, в) участки родингитов, образовавшихся по магматическому цементу брекчий.

Fig. 2. Pyroxene (with vesuvianite, chlorite, and zircon) (a) and vesuvianite (with apatite and zircon) (6, B) areas of rodingites developed on the magmatic cement of breccias.

обогащены Mn и содержат довольно много V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Mo, Sn и W (см. табл. 2). Кроме того, они отличаются относительно высоким содержанием Рt и Au (см. табл. 7). Родингиты представлены почти мономинеральными пироксеновыми, гранат-пироксеновыми или существенно амфиболовыми разностями. Изредка они состоят из пироксена, граната, пренита, эпидота (обычно с REE), альбита, плагиоклаза и калиевого полевого шпата. Пироксен с резко выраженной химической неоднородностью иногда замещает более крупные зональные кристаллы граната. В родингитах присутствуют маломощные касситерит-циркон-алланитовые, галенит-циркон-алланитовые и алланит-цирконапатитовые прожилки. Амфиболовые родингиты сложены марганцовистым амфиболом тремолитферроактинолитового ряда. Иногда встречается гранат гроссуляр-спессартинового состава. В этих породах выявлены наиболее значительные содержания Аи (до 10 г/т). Кроме многочисленных скоплений зерен самородного золота (Ø доли микрометров-первые микрометры) амфиболовые родингиты содержат ультрадисперсные частицы этого минерала, которые при наблюдении на микроанализаторе неразличимы даже при очень больших увеличениях. Скопления ультрадисперсных частиц в амфиболе в виде маломощных линейно-удлиненных зонок фиксируются при наблюдении в режиме СОМР по несколько более светлой окраске (относительно остальной части амфибола) и присутствию в анализах содержаний Au (до 8-10 мас. %).

Пироксен относится к диопсид-геденбергитйохансенитовой серии. Обычно его состав характеризуется невысоким содержанием Мп и изменяется от состава почти "чистого" геденбергита до состава салита с резким преобладанием диопсидового минала над геденбергитовым (см. табл. 5). Нередко присутствуют Al и иногда Na. В редких случаях пироксен представлен богатой Мп разновидностью мангангеденбергита. Гранат относится к гроссуляр-андрадитовому ряду с преобладанием гроссуляровой компоненты и небольшим количеством спессартинового и альмандинового миналов. Амфибол является обогащенным Мп актинолитом, содержащим немного А1 и К. Состав плагиоклаза отвечает олигоклазу-андезину (20-37 мол. % альбитового минала). Калиевый полевой шпат обогащен альбитовым миналом. Эпидот представлен, как правило, алланитом (см. табл. 6). В массивных родингитах в качестве акцессорных присутствуют титанит, ильменит, пирофанит, рутил, апатит, монацит, циркон, барит, оксиды Th и U. Титанит содержит немного \hat{Al} , Fe^{+3} , иногда V или F. Пирофанит порой представлен богатой Fe разновидностью (см. табл. 6). Многие акцессорные минералы встречаются лишь в виде мельчайших зерен, вследствие чего в анализах обычно присутствуют содержания "чужеродных" для них породообразующих элементов. Такие анализы после исключения "чужеродных" элементов обычно хорошо рассчитываются на теоретические формулы анализировавшихся минералов. Это позволило надежно диагностировать вольфрамит, киноварь, галенит, халькопирит, станнин, пирротин, арсенопирит, сфалерит, кобальтин, герсдорфит, никелин и пентландит. Таким же способом была подтверждена диагностика самородных элементов (Pb, Fe, W, Sb, Ni, Zn, Al, Te, Bi, Cu и Sn), природных латуней и бронз, а также минералов благородных металлов (рис. 3, 4). Последние представлены самородными Рt (без примесей или с Pd), Pd (с примесью Pt, Cu, Bi или Zn), Au (без примесей, а также с примесью Ад или Си), Ві (с примесью Pt), а также близким по составу к купроауриду "медистым золотом", соединениями Au, Ag, Ві и Те, сульфидом Ад и аргиродитом. Самородные элементы 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 приурочены к минерализованным микротрещинам, участкам преобразования кристаллов пироксена в амфиболовые или волокнистые амфибол-пироксеновые агрегаты. Кроме того, иногда они присутствуют и в виде включений в минералах родингитовых ассоциаций.

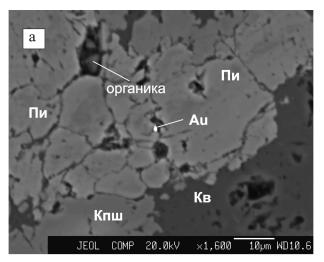
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Родингиты сложены преимущественно кальциевыми силикатами и обычно считаются метасоматическими образованиями. К настоящему времени достоверно установлено их формирование по интрузивным и вулканическим породам основного и ультраосновного состава. В геологической литературе, кроме того, имеются сведения об апосерпентинитовой природе родингитов Карабашского массива Южного Урала [Берзон, Фадеичева, 1974]. Родингиты характерны для различных геодинамических обстановок, включая океанические центры спрединга, области рифтогенеза континентальных окраин, офиолитовые и зеленосланцевые пояса, супрасубдукционные зоны и др. [Bach, Klein, 2009; Eslami et al., 2013]. Одни исследователи относят их к продуктам кальциевого метасоматоза преимущественно базитовых тел, при котором происходит постепенное увеличение щелочности растворов [Кузьмичев, 2004]. Другие предполагают образование родингитов на высокотемпературной, субсолидусной стадии при становлении массивов альпинотипных гипербазитов вследствие антигоритовой серпентинизации, при которой поступление Са происходит преимущественно из внутренних частей базитовых тел [Селиверстов, Осипенко, 1998]. Многие исследователи считают, что родингиты формируются при температуре 190–400°C

в условиях пренит-пумпеллиитовой и пумпеллиитактинолитовой фаций, реже в условиях фаций голубых или зеленых сланцев [Лихойдов, Плюснина, 1992; Мурзин и др., 2006; Спиридонов, Плетнев, 2002; O'Hanley et al., 1992]. Изотопный состав О и Н силикатных минералов родингитовой ассоциации месторождения Золотая Гора больше всего соответствует модели, предусматривающей в качестве источника родингитизирующего флюида метаморфогенный флюид, выделившийся при дегидратации серпентинитов в зонах дислокаций [Мурзин и др., 2006]. Согласно данным В.В. Мурзина с соавторами [2006], родингитизирующий флюид отличается резким преобладанием Н₂О, обогащением восстановленными газами (водородом, метаном) и низкой мольной долей СО2. Такие же выводы следуют из работ других авторов [Normand, Williams-Jones, 2010; и др.].

Во многих случаях определение типа замещенных родингитами пород представляет сложную задачу. Например, несмотря на хорошую изученность родингитов Карабашского массива, их природа одними исследователями трактуется как апоультрабазитовая [Берзон, Фадеичева, 1974], а другими – как апогаббровая (по дайкам титанистых габбро) [Спиридонов, Плетнев, 2002]. В нашем случае важным является решение вопроса о генетической связи массивных родингитов с тем или иным магматическим комплексом (с сергеевскими и владимироалександровскими габброидами или породами палеоценовых эксплозивных структур). Для этого необходимо их сравнение с родингитами палеоценовых эксплозивных структур по геологическим условиям залегания, текстурным особенностям, минералогии, петрохимии и геохимии, а также геохимическое сопоставление с габброидами упомянутых комплексов. Родингиты палеоценовых эксплозивных структур и массивные родингиты различаются по геологическим условиям и текстурным особенностям. Первые приурочены к жерловым фациям магматических пород и флюидолитам, а вторые слагают тела среди осадочных пород. Для пород эксплозивных структур с родингитовыми ассоциациями характерны брекчиевые текстуры, тогда как родингиты в осадочных толщах представлены массивными образованиями. Массивные родингиты отличаются более высокими содержаниями Fe и Mn и меньшими верхними пределами концентрации Si, Mg, P и суммы Na и K. Родингиты палеоценовых эксплозивных структур по сравнению с массивными родингитами обогащены V, Co, Ni, Y, Rb, Sr, Cs, Ba и Pb и обеднены Cu, Zn и Sn.

Родингиты палеоценовых эксплозивных структур и массивные родингиты имеют сходный набор породообразующих минералов, к которым относятся пироксен, гранат, везувиан, эпидот, пренит, амфибол, хлорит, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, апатит, циркон, титанит и др. В массивных





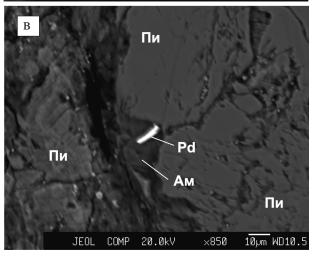
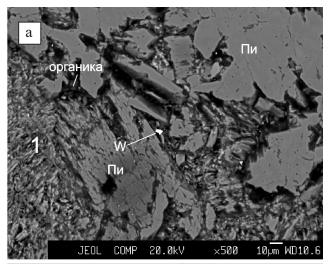


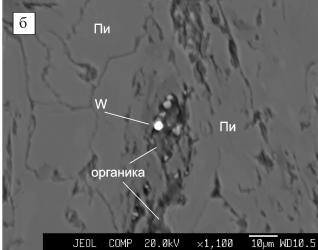
Рис. 3. Включения минералов благородных металлов в массивных родингитах.

Многочисленные мельчайшие "точки" белого и светлосерого цвета на рис. 36 – включения самородного золота.

Fig. 3. Inclusions of minerals of precious metals in massive rodingites.

Abundant finest "dots" of white and light-grey color in Fig. 36 – inclusions of native gold.





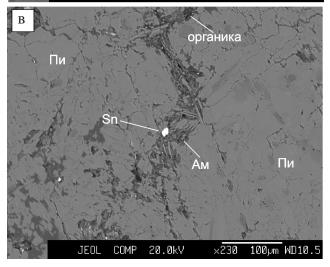


Рис. 4. Включения самородных элементов в массивных родингитах.

1 – волокнистые пироксен-амфиболовые агрегаты.

Fig. 4. Inclusions of native elements in massive rodingites.

 $1-fibrous\ pyroxene-amphibole\ aggregates.$

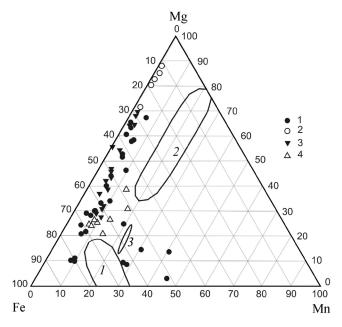


Рис. 5. Положение точек состава клинопироксена из родингитов Таухинского террейна на диаграмме Fe—Mg—Mn.

Точки состава клинопироксена из родингитов: 1 – массивных, 2 – по горнблендитам, 3 – по амфибол-полевошпатовым породам, 4 – по магматическому цементу брекчий. Поля состава: 1, 2 – клинопироксен из скарнов Дальнегорского боросиликатного и полиметаллических месторождений Дальнегорской группы (I), Белогорского железорудного месторождения (2); 3 – клинопироксен из марганцевосиликатных пород Мокрушинской площади.

Fig. 5. Position of points of clinopyroxene composition from rodingites of Taukha terrane on the Fe-Mg-Mn diagram.

Points of composition: clinopyroxene from rodingites: 1 – of massive, 2 – on hornblendites, 3 – on amphibole-feldspar rocks, 4 – on magmatic cement of breccias. Fields of composition: I, 2 – clinopyroxene from skarns of Dal'negorsk boron-silicate and polymetal deposits of Dal'negorsk group (I), Belogorskoe iron-ore deposit (2); 3 – clinopyroxene from manganese-silicate rocks of Mokrushinskaya area.

родингитах преобладают пироксен и гранат или только пироксен, реже амфибол. Изредка в пироксеновой породе встречаются скопления зерен апатита, пренита, реже эпидота. Родингиты палеоценовых эксплозивных структур отличаются присутствием везувиана вместо граната и большей ролью эпидота и пренита, образовавшихся по обломкам алюмосиликатных пород. Кроме того, иногда в них присутствует обильная титановая минерализация в виде цементирующих обломки титанит- санидинамфиболовых образований.

Пироксен из родингитов Таухинского террейна отличается от этого минерала боросиликатного и скарново-полиметаллических месторождений Дальнегорской группы, Белогорского скарновомагнетитового месторождения и марганцевосили-

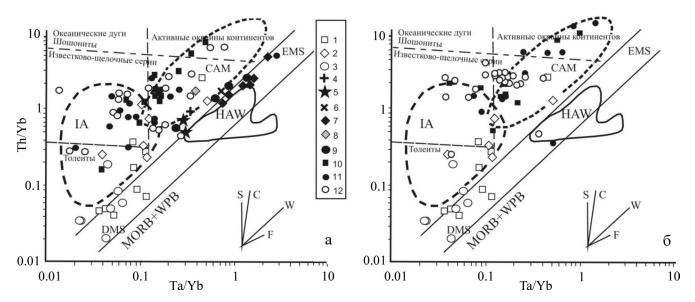


Рис. 6. Положение точек состава родингитов Таухинского террейна на диаграмме Th/Yb-Ta/Yb [Pearce, 1983].

1, 2 – габброиды: 1 – сергеевского комплекса, 2 – владимиро-александровского; 3 – офиолиты (блоки в сергеевских габброидах); 4–7 на рис. 6а: 4 – горнблендиты, 5 – флогопит-оливиновые породы, 6 – амфибол-полевошпатовые, 7 – слюдисто-полевошпатовые породы; 8, 9 – родингиты на рис. 6а: 8 – по амфибол-полевошпатовым породам, 9 – массивные; 10–12 на рис. 6а – скарны: 10 – Николаевского месторождения, 11 – Дальнегорского боросиликатного, 12 – Белогорского, на рис. 66: 10 – марганцевосиликатные породы Широкопаднинской площади, 11 – силикатно-магнетитовые руды Таухинского террейна, 12 – марганцевосиликатные породы Горной площади Самаркинского террейна. IA – базальты островных дуг, САМ – активных континентальных окраин, НАW – Гавайских островов, DMS – деплетированная мантия, EMS – обогащенная мантия, MORB + WPB – тренд базальтов несубдукционных обстановок. Справа показаны тренды изменения состава пород за счет субдукционных компонентов (S), контаминации (C), компонентов внутриплитных плюмов (W), фракционирования (F).

Fig. 6. Position of points of rodingite composition of Taukha terrane on the Th/Yb-Ta/Yb diagram [Pearce, 1983].

1, 2 – gabbroids: 1 – of Sergeevsky complex, 2 – of Vladimir-Aleksandrovsky complex; 3 – ophiolites (blocks in Sergeevsky gabbroids); 4–7 at Fig. 6a: 4 – hornblendites, 5 – phlogopite-olivine, 6 – amphibole-feldspar, 7 – micaceous-feldspar rocks; 8, 9 – rodingites at Fig. 6a: 8 – on amphibole-feldspar rocks, 9 – massive rodingites; 10–12 at Fig. 6a – skarns: 10 – of Nikolaevskoe deposit, 11 – Dal'negorskoe boron-silicate, 12 – Belogorskoe deposit, at Fig. 66: 10 – manganese-silicate rocks of Shirokopadninskaya area, 11 – silicate-magnetite ores of Taukha terrane, 12 – manganese-silicate rocks of Gornaya area of Samarka terrane. IA – basalts of island arcs, CAM – active continental margins, HAW – Hawaiian Islands, DMS – depleted mantle, EMS – enriched mantle, MORB + WPB – trend of basalts of not-subduction settings. The right side shows the trends of change of rock composition at the expense of subduction components (S), contamination (C), components of intraplate plumes (W), and fractionation (F).

катных пород Ольгинского рудного района в целом более низким содержанием йохансенитового минала (рис. 5). Исключение составляет пироксен массивных родингитов, поле которого на диаграмме (см. рис. 5) протягивается дальше, в область богатых Fe и Mn составов, перекрывая поле пироксена марганцевосиликатных пород и верхнюю часть поля этого минерала боросиликатного и полиметаллических месторождений. Общей особенностью родингитов палеоценовых эксплозивных структур и массивных родингитов является присутствие F-содержащих разновидностей титанита.

На диаграммах (рис. 6а, 7в) точки состава родингитов, в том числе массивных, образуют общие тренды, совпадающие с трендами магматических пород палеоценовых эксплозивных структур. Родингиты (в том числе массивные) по геохимическим особенностям отличаются от габброидов сергеевского и владимиро-александровского комплек-

сов, офиолитов, скарнов с борными, полиметаллическими и железными рудами (см. рис. 6а, 7а), а также от триасовых метаморфизованных металлоносных осадков (см. рис. 6б, 7б). Геохимические данные (см. рис. 6, 7) с учетом геологических условий залегания и текстурных особенностей свидетельствуют об образовании массивных родингитов по небольшим, предположительно, интрузивным телам палеоценового комплекса Сихотэ-Алиня. Отмеченные некоторые петрохимические, минералогические и геохимические различия родингитов, заместивших породы жерловой и интрузивной фаций, обусловлены, очевидно, региональными вариациями состава протолитов и различиями в условиях минералообразования.

Генетическая связь родингитов Таухинского террейна с вулканическими структурами и наличие разностей, образовавшихся по щелочнымсубщелочным (основным и ультраосновным) по-

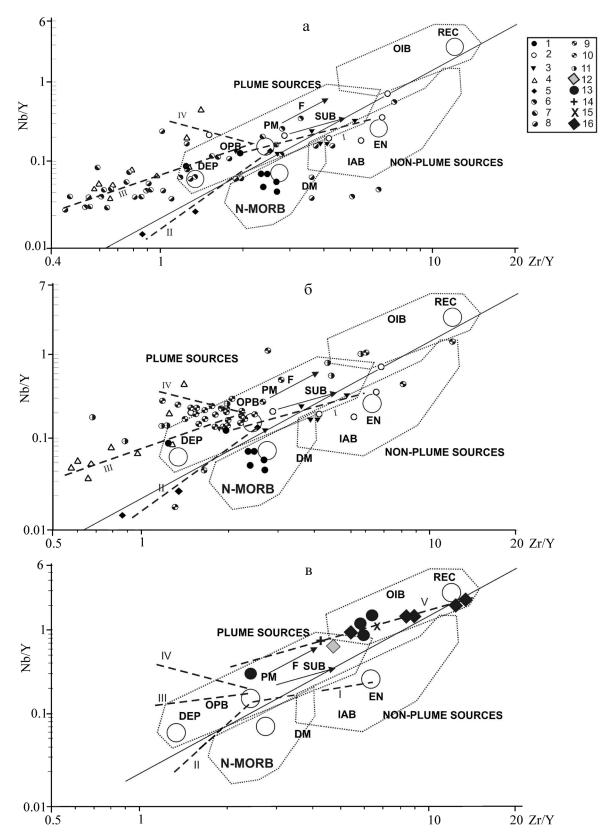


Рис. 7. Положение точек состава родингитов Таухинского террейна на диаграмме Zr/Y-Nb/Y.

1 – офиолиты (блоки в сергеевских габброидах); 2–5 – габброиды: 2 – сергеевский комплекс, 3 – владимиро-александровский комплекс, 4, 5 – калиновский комплекс: 4 – бреевские, 5 – Дальнего Кута; 6–8 – скарны: 6 – Николаевского месторождения, 7 – Дальнегорского боросиликатного, 8 – Белогорского (рис. 7а); 9–11 – метаморфизованные металлоносные осадки: 9 – силикатно-магнетитовые руды Широкопаднинской площади, 10 – марганцевосиликатные породы Горной площади,

11 — Широкопаднинской (см. рис. 76); 12, 13 — родингиты: 12 — по амфибол-полевошпатовым породам Мокрушинской эксплозивной структуры, 13 — массивные (рис. 7в); 14—16 — магматические породы Мокрушинской площади: 14 — горнблендиты, 15 — амфибол-полевошпатовые породы, 16 — слюдисто-полевошпатовые (рис. 7в). Пунктирными линиями показаны тренды состава габброидов: І — сергеевского и владимиро-александровского комплексов, II—IV — калиновского комплекса: II — массив Дальнего Кута, III, IV — Бреевский массив; V — магматических пород Мокрушинской площади. Поля пород и точки составов РМ, DEP, DM, EN и REC приведены по К.С. Конди [Condie, 2005]: OIB — плюмовые внутриплитные базальты океанических островов, OPB — базальты океанических плато, MORB — базальты срединно-океанических хребтов, IAB — островодужные базальты, REC — рециклированная компонента, EN — обогащенная компонента, РМ — примитивная мантия, DM — верхняя деплетированная мантия, DEP — нижняя деплетированная мантия.

Fig. 7 Position of points of rodingite composition of Taukha terrane on the Zr/Y-Nb/Y diagram.

1 – Ophiolites (blocks in Sergeevsky gabbroids); 2–5 – gabbroids: 2 – Sergeevsky complex, 3 – Vladimir-Aleksandrovsky complex, 4, 5 – Kalinovsky complex: 4 – Breevsky, 5 – Dal'niy Kut; 6–8 – Skarns: 6 – Nikolaevsk deposit, 7 – Dal'negorskoe boronsilicate deposit, 8 – Belogorskoe (Fig. 7a); 9–11 – Metamorphosed metal-bearing sediments: 9 – silicate-magnetite ores of Shirokopadninskaya area, 10 – manganese-silicate rocks of Gornaya area, 11 – Shirokopadninskaya (Fig. 76); 12, 13 – Rodingites: 12 – on amphibole-feldspar rocks of the Mokrushinskaya explosive structure, 13 – massive ones (Fig. 7b); 14–16 – Magmatic rocks of Mokrushinskaya area: 14 – hornblendites, 15 – amphibole-feldspar rock, 16 – micaceous-feldspar rock (Fig. 7b). Dotted lines show the trends of the gabbroid composition: I – Sergeevsky and Vladimir-Aleksandrovsky complexes, II–IV – Kalinovsky complex: II – Dal'niy Kut massif, III, IV – Breevsky massif; V – complexes and magmatic rocks of Mokrushinskaya area. Fields of rocks and points of compositions of PM, DEP, DM, EN, and REC by K.S. Kondi [Condie, 2005]: OIB – plume intraplate basalts of oceanic islands, OPB – basalts of oceanic plateaus, MORB – basalts of median-oceanic ridges, IAB – island arc basalts, REC – recycled component, EN – enriched component, PM – primitive mantle, DM – upper depleted mantle, DEP – lower depleted mantle.

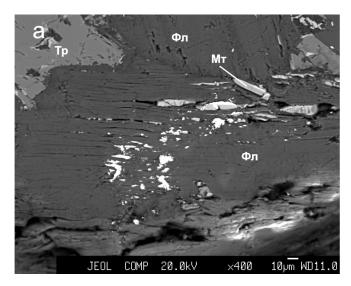
родам жерловых фаций, обусловливают их некоторое сходство с родингитами щелочно-ультраосновной вулканической формации Камчатки мелового возраста. Родингиты и родингитизированные породы этой формации, согласно авторам [Селиверстов, Осипенко, 1998], образовались двумя способами — в результате метасоматического замещения протолитов или их плавления в меймечитовом расплаве и последующего вспучивания в процессе эрупции. Однако текстурные и структурные особенности родингитов Таухинского террейна свидетельствуют об их исключительно флюидно-метасоматической природе.

Известны многочисленные случаи присутствия в родингитах благороднометалльной минерализации, иногда имеющей промышленное значение. Примерами являются родингиты Мелентьевского проявления (Au), Салатимского разлома (Au) [Мурзин и др., 2006] и южной части массива Средний Крака (Au-Pd-Pt) [Савельев, 2000; Сначев и др., 2001] Южного Урала, Агардагского массива альпинотипных гипербазитов Южной Тувы (Аи) [Кудрявцева, Кудрявцев, 2003], Корякского Нагорья (Аи и ЭПГ) [Горелова, 1990], Сахалина (Аи) [Речкин, 1974], Восточных Саян (Аи, Ад, Pd) [Жмодик и др., 1998; Дамдинов, 2004; Дамдинов и др., 2004] и Британской Колумбии (Канада) (Au) [Knight, Leitch, 2001]. Наибольшую известность получили родингиты Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале, которые служили объектом добычи золота (месторождение Золотая Гора).

Особенностью родингитов с благороднометалльной минерализацией является распространение "медистого" и ртутистого золота, соединений Ni, Sb и Sn, а также самородных форм и интерметаллических соединений разнообразных металлов. Например, среди рудных минералов месторожде-

ния Золотая Гора встречаются маухерит, никелин, миллерит, брейтгауптит, самородные медь, сурьма, свинец, нисбит, сейняйокит, ульманнит, купростибит, златогорит, гудмундит, аурикуприд, купроаурид, соединения СиАи₃ и Си₂Аи₃, а также ртутистые разновидности электрума, кюстелита, самородного серебра и самородного золота [Спиридонов, Плетнев, 2002]. Минералы благородных металлов Хурай-Жалгинского проявления Восточных Саян представлены Аи-Ад твердыми растворами, Au-Hg, Au-Ag-Cu, Cu-Au-Hg-Sn фазами, интерметаллидом Au и Sn, сперрилитом, мончеитом и темагамитом [Жмодик и др., 1998; Васильев, Дамдинов, 2013]. Для родингитов Таухинского террейна тоже характерно распространение "медистого золота", минералов Ni и Sn, а также самородных форм и интерметаллических соединений разнообразных металлов. Минералы благородных металлов, в том числе "медистое золото", соединения Ni и Co, самородные формы и интерметаллические соединения разнообразных металлов, обнаружены не только в родингитах, но и в некоторых магматических породах и флюидолитах палеоценовых эксплозивных структур Таухинского террейна.

Скопления зерен "медистого золота" встречаются в флогопит-оливиновых породах Мокрушинской площади [Казаченко и др., 2013]. Они приурочены к зонкам флюидно-эксплозивного дробления с продуктами гидротермального разложения оливина (серпентином и магнетитом) или деформированным и слегка расщепленным кристаллам флогопита, содержащим эпигенетические хлорит и магнетит (рис. 8). В деформированных флогопитовых кристаллах "медистое золото" слагает не только многочисленные зерна, но и каемки на зернах магнетита, а также выполняет микротрещины в последнем минерале. "Медистое золото" представлено необычной, очень бо-



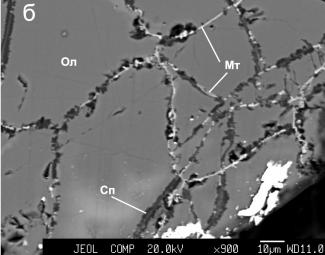


Рис. 8. Скопления зерен богатого Zn и Ni аурикуприда в флогопит-оливиновых породах Мокрушинской плошали.

а — зерна аурикуприда (белые и светло-серые участки от относительно крупных до едва различимых) в деформированном флогопите, каемки (белые участки) на зернах раздробленного магнетита и просечки аурикуприда (светло-серые) в магнетите; б — зонка эксплозивного дробления в оливине с эпигенетическими серпентином, магнетитом и аурикупридом (мелкие белые участки в прожилках и оливине, а также относительно крупные участки в оливине (см. в правой нижней части рисунка)).

Fig. 8. Accumulations of auricupride grains rich in Zn and Ni in phlogopite-olivine rocks of Mokrushinskaya area.

a – grains of auricupride (white and light-grey areas from relatively large to faintly visible) in the altered phlogopite, rims (white areas) on grains of the crushed magnetite, and auricupride streaks (light-grey) in magnetite; 6 - a small zone of explosive crushing in olivine with epigenetic serpentine, magnetite, and auricupride (fine white areas in veinlets and in olivine, as well as relatively large areas in olivine (see the right lower part of the Figure)).

гатой Zn (до 12.65 мас. %) Ni-содержащей (до 1.28 мас. %) разновидностью аурикуприда, в которой Zn изоморфно замещает Сu, а также соединением, близким по составу к купроауриду. Кроме "медистого золота", в флогопит-оливиновых породах встречаются редкие рассеянные мельчайшие включения палладистого золота. К продуктам гидротермального разложения оливина иногда приурочены единичные зерна брейтгауптита, кобальтина или скопления очень мелких зерен минералов Ві и Те, таких как самородный Ві, цумоит, хедлейит, соединение ВізТе и жозеит. Неназванное соединение ВізТе ранее было обнаружено в Кондерском щелочно-ультраосновном массиве [Nekrasov et al., 2005] и некоторых других местах. Флогопит-оливиновые породы, по результатам анализа одной пробы атомно-абсорбшионным методом, содержат 0.68 г/т Au, 1.86 – Pt и 0.01 – Pd. Флюидолиты, особенностью которых является присутствие обломков изначально углеродистых глинисто-кремнистых пород, превращенных в графит-альбит-калишпат-кварцевую породу, содержат редкие кристаллы кобальтина и герсдорфита, а также рассеянную вкрапленность и гнезда самородных Си, А1 и латуни. Встречаются тонкие прожилки прозрачного минерала с низкой твердостью и шелковистым блеском, секущие цемент флюидолитов и обломки разнообразных

пород. Они "насыщены" микрочастицами самородных Си, Си-содержащего Sn, а также соединений, состав которых рассчитывается на идеальные формулы Си₄Sn и Си₇Sn₃. Иногда латунь, состав которой рассчитывается на идеальную формулу Си₄Zn, образует густую вкрапленность в обломках графит-альбит-калишпат-кварцевых пород. В протолочках штуфных проб обнаружены единичные зерна Zn-содержащего самородного Au.

"Медистое золото", природные латуни и бронзы, минералы Au, Ag, Pt и Pd, а также широкий спектр самородных элементов и интерметаллических соединений, в том числе фосфиды, силициды и хромиды, являются специфической особенностью Таухинского и Самаркинского террейнов Сихотэ-Алиня. Они распространены не только в родингитах и некоторых других породах палеоценовых эксплозивных структур, но также в углеродистых триасовых силицитах [Волохин, Карабцов, 2016] и залегающих непосредственно над последними (в стратиграфической колонке) метаморфизованных триасовых металлоносных осадках [Казаченко и др., 2008; Перевозникова, 2010]. Подобные минералы встречаются и в ассоциированных с углеродистыми силицитами и метаморфизованными триасовыми металлоносными осадками скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов [Казаченко и др., 2007, 2011, 2012].

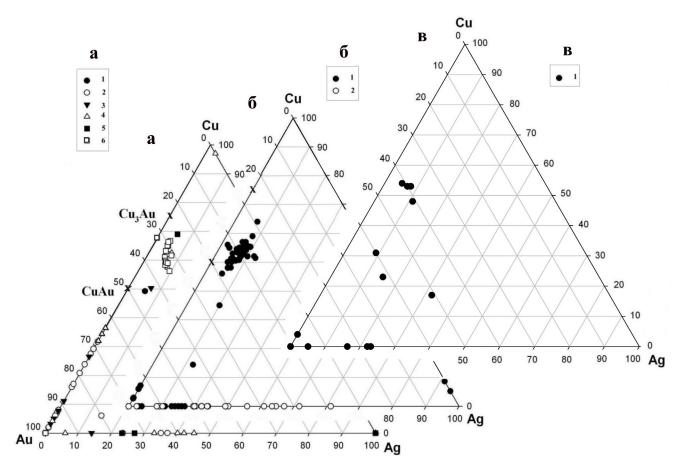


Рис. 9. Особенности состава минералов системы Au–Cu–Ag в скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов Приморья (а) [Казаченко и др., 2012], триасовых метаморфизованных металлоносных осадках Сихотэ-Алиня (марганцевосиликатных породах, силикатно-магнетитовых рудах и яшмах) (б), родингитах Таухинского террейна (в).

а: 1—4 — залежи Белогорского месторождения: 1 —Белогорская, 2 — Благодатная, 3 — Маргаритовская, 4 — Скальная; 5 — Боросиликатное месторождение; 6 — Садовое месторождение. Крестиками показано положение теоретических составов купроаурида и аурикуприда. б: 1 — точки состава мелких (до 10 мкм) зерен, приуроченных к продуктам разложения ранних минералов, порам и микротрещинам с органикой; 2 — точки состава относительно крупных зерен, выделенных растворением проб в плавиковой кислоте. в: 1 — точки состава минералов.

Fig. 9. Features of mineral composition of the Au–Cu–Ag system in skarns of Ol'gino and Dal'negorsk ore districts of Primorye (a) [Kazachenko et al., 2012], in the Triassic metamorphosed metal-bearing sediments of the Sikhote-Alin' (manganese-silicate rocks, silicate-magnetite ores and jaspers) (6), in rodingites of Taukha terrane (B).

a: 1-4 - beds of Belogorskoe deposit; 1 - Belogorskaya, 2 - Blagodatnaya, 3 - Margaritovskaya, 4 - Skal'naya; 5 - boron-silicate deposit; 6 - Sadovoe deposit. Crosses show the position of the theoretical compositions of cuproauride and auricupride. 6: 1 - points of composition of fine (about 10 mcm) grains restricted to the products of decay of early minerals, pores, and microfractures with organic matters; 2 - points of composition of relatively large graines extracted through the sample dilution in hydrofluoric acid. B: 1 - points of mineral composition.

Во всех перечисленных породах эти минералы образуют главным образом мельчайшие (О доли микрометров—первые десятки микрометров) зерна. Наиболее высокие концентрации Au, Pt и Pd характерны для метаморфизованных триасовых металлоносных осадков, родингитов (см. табл. 7) и в меньшей мере скарнов. "Медистое золото" родингитов по химическому составу обнаруживает сходство с "медистым золотом" из триасовых металлоносных осадков и заметно отличается от "медистого золота" из скарнов Ольгинского и Дальнегор-

ского рудных районов (рис. 9). Минералы благородных металлов, самородные элементы и интерметаллиды в скарнах и метаморфизованных металлоносных осадках встречаются в ранних минеральных ассоциациях (см. рис. 9), однако часто, как и в случае родингитов, присутствуют в продуктах их средне-низкотемпературного гидротермального изменения или в минерализованных микротрещинах с органическим веществом. Можно полагать, что во многих, или даже во всех упомянутых случаях присутствие предельно восстановленных форм раз-

ных элементов, скорее всего, обусловлено вовлечением органического вещества триасовых силицитов в магматические и сопровождавшие их контактовометаморфические и гидротермальные процессы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в Таухинском террейне Сихотэ-Алиня присутствуют родингиты, образовавшиеся метасоматическим способом по основным и ультраосновным породам жерловой и интрузивной фаций палеоценового магматического комплекса Сихотэ-Алиня. Возраст пород этого комплекса соответствует времени завершения формирования Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (маастрихт) в условиях субдукционного геодинамического режима и начала тектонических процессов, приведших в конечном счете к раскрытию Японского моря [Казаченко и др., 2013]. Последние протекали в режиме трансформной континентальной окраины [Геодинамика..., 2006]. С этим геотектоническим режимом связывают образование в Сихотэ-Алине рифтогенных впадин субширотного и северо-западного простирания и продуктов кислого, бимодального и высокоглиноземистого базальтового вулканизма Хасано-Амурского ареала (конец палеоцена-миоцен). Родингиты Таухинского террейна характеризуются присутствием минералов Au, Ag, Pt, Pd и типичным для таких пород распространением "медистого золота", а также самородных форм и интерметаллических соединений разнообразных металлов. Они сохранили некоторые геохимические характеристики протолитов, по которым надежно отличаются от скарнов с борным, полиметаллическим и железным оруденением Дальнегорского и Ольгинского рудных районов, а также от контактовометаморфизованных триасовых металлоносных осадков Сихотэ-Алиня. Палеоценовый магматический комплекс Сихотэ-Алиня представляет особый интерес, так как с ним генетически связана благороднометалльная минерализация, локализованная не только в родингитах, но и в других породах палеоценовых эксплозивных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берзон Р.О., Фадеичева И.Ф. (1974) Особенности метасоматических преобразований на золоторудном месторождении Золотая Гора. *Метасоматизм и рудообразование*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 63-67.
- Васильев В.И., Дамдинов Б.Б. (2013) Физико-химическая модель образования рудоносных родингитов и магнетит-хлорит-эпидотовых метасоматитов Восточного Саяна. *Литосфера*, (5), 75-92.
- Волохин Ю.Г., Карабцов А.А. (2016) Минералы в углеродистых силицитах триаса Сихотэ-Алиня. *Литология и полезные ископаемые*, (5), 465-484.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока Рос-

- сии (2006) Кн. 1. (Под ред. А.И. Ханчука). Владивосток: Дальнаука, 572 с.
- Горелова Н.Н. (1990) Проявления локального метасоматоза и связь с ними рудной минерализации на одном из гипербазитовых массивов Корякского Нагорья. Изв. вузов. Геология и разведка, (2), 73-78.
- Дамдинов Б.Б. (2004) Нетрадиционные типы благороднометалльной минерализации в офиолитах Восточно-Саянского и Джидинского поясов (минералогия, геохимия, генезис). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 28 с.
- 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.
- Жмодик С.М., Миронов А.Г., Деревенец В.Г., Агафонов Л.В., Очиров Ю.Ч. (1998) Новый тип олово-золото-(ртуть)-платинометалльной рудной минерализации в Восточном Саяне. Докл. АН, **361**(4), 510-513.
- Казаченко В.Т. (2002) Петрология и минералогия гидротермальных марганцевых пород Востока России. Владивосток: Дальнаука, 250 с.
- Казаченко В.Т., Лаврик С.Н., Перевозникова Е.В., Скосарева Н.В. (2015а) Габброиды сергеевского и калиновского комплексов Сихотэ-Алиня: геохимия и изотопные отношения самария, неодима, стронция и свинца. Вести. 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. (2011) Минералогия и генезис Белогорского скарновомагнетитового месторождения (Приморье). *Тихоокеанская геология*, **30**(6), 67-83.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Лаврик С.Н., Скосарева Н.В. (2012) Роль офиолитов в металлогении Сихотэ-Алиня. Докл. АН, 444(4), 412-416.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Лаврик С.Н., Скосарева Н.В. (2015б) Роль осадочных процессов в геологической истории скарновых и жильных месторождений Сихотэ-Алиня. Мат-лы VII Всероссийского литологического совещания "Эволюция осадочных процессов в истории Земли". Т. 1. М.: РГУ нефти и газа, 345-352.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Нарнов Г.А. (2012) Акцессорная минерализация в скарнах Дальнегорского рудного района (Сихотэ-Алинь). *3РМО*, (4), 73-96.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Мирошниченко Н.В., Карабцов А.А., Соляник В.А. (2007) Золото и платиноиды в скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов Приморья и некоторые вопросы металлогении южной части Сихотэ-Алиня. Докл. АН, 414(5), 667-671.
- Казаченко В.Т., Ханчук А.И., Лаврик С.Н., Перевозникова Е.В. (2013) Флогопит-оливиновые породы Таухинского террейна (Юго-Восточный Сихотэ-Алинь). Тихоокеанская геология, **32**(5), 35-51.
- 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.
- Кузьмичев А.Б. (2004) Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: Пробел-2000, 192 с.
- Лихойдов Г.Г., Плюснина Л.П. (1992) Родингиты Северного Сахалина и физико-химические условия их формирования. *Тихоокеанская геология*, (2), 53-65.
- Минералы (1972) Справочник Т. 3, вып. 1. М.: Наука, 883 с.
- Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Варламов Д.А., Шанина С.Н. (2006) Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов. *Литосфера*, (1), 113-134.
- Перевозникова Е.В. (2010) Марганцевосиликатные породы Южного Сихотэ Алиня: минералогия и генезис. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 192 с.
- Речкин А.Н. (1974) О новом типе золотого оруденения в ультрабазитах. *Геология и геофизика*, (2), 49-53.
- Савельев Д.Е. (2000) Сульфидный тип благороднометалльной минерализации в гипербазитовых массивах Крака. Металлогения древних и современных океанов. Открытие, освоение и оценка месторождений. Миасс: Имин УрО РАН, 199-203.
- Селиверстов В.А., Осипенко А.Б. (1998) Петрология родингитов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 153 с.
- Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В. (2001) Петрохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крака. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 212 с.
- Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. (2002) Месторождение медистого золота Золотая Гора (о "золотородингитовой" формации). М.: Научный мир, 220 с.
- Bach W., Klein F. (2009) The petrology of seafloor rodingites: insights from geochemical reaction path modeling. Lithos, 112(1-2), 103-117.
- Condie K.C. (2005) High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, **79**, 491-504.
- Eslami A., Koepke J., Esteban J.J. (2013) Mineralogy and petrology of rodingites from the Nain ophiolite (Central Iran). *Geogaceta*, **53**, 73-76.
- Knight J., Leitch C.H.B. (2001) Phase relations in the system Au-Cu-Ag at low temperatures, based on natural assemblages. *Can. Mineral.*, **39**, 889-905.
- Nekrasov I.Ya., Lennikov A.M., Zalishchak B.L., Oktyabrsky R.A., Ivanov V.V., Sapin V.I., Taskaev V.I. (2005) Compositional variations in platinum-group minerals and gold, Konder alkaline-ultrabasic massif, Aldan Shield, Russia. *Can. Mineral.*, 43, 637-654.
- Normand C., Williams-Jones A.E. (2010) Origin of Low Molecular Weight Hydrocarbon Gases During Serpentinization: Insights from Fluid Inclusions in Rodingites. *GeoCanada Working with the Earth*, 1-4.
- O'Hanley D.S., Schandl E.S., Wicks F.J. (1992) The origin of rodingites from Cassiar, British Columbia, and their use toestimate T and P, H₂O during serpentinization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**(1), 97-108.
- Pearce J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. (Eds

C.J. Hawkesworth, M.J. Norry). Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, Nantwich, 230-249.

REFERENCES

- Bach W., Klein F. (2009) The petrology of seafloor rodingites: insights from geochemical reaction path modeling. *Lithos*, **112**(1-2), 103-117.
- Berzon R.O., Fadeicheva I.F. (1974) Features of metasomatic transformations at the Zolotaya Gora gold deposits. Metasomatism i rudoobrazovanie. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR Publ., 63-67. (In Russian)
- Condie K.C. (2005) High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, **79**, 491-504.
- Damdinov B.B. (2004) Netraditsionnye tipy blagorodnometal'noy mineralizatsii v ofiolitakh Vostochno-Sajanskogo i Dzhidinskogo poyasov (mineralogiya, geokhimiya, genesis). Cand. dis.geol.-min. nayk [Non-traditional types of precious-metal mineralization in ophiolites of the East-Sayan and Dzhidinsky belts (mineralogy, geochemistry, genesis) Cand. geol. and min. sci. diss.]. Avtoref. cand. thesis. Ulan-Ude, BNTs SO RAN, 28 p. (In Russian)
- Damdinov B.B., Zhmodik S.M., Mironov A.G., Ochirov Yu.Ch. (2004) Precious-metal mineralization in rodingites of the south-eastern part of the East Sayan. *Geol. Geofiz.*, **45**(5), 577-587. (In Russian)
- Eslami A., Koepke J., Esteban J.J. (2013) Mineralogy and petrology of rodingites from the Nain ophiolite (Central Iran). *Geogaceta*, **53**, 73-76.
- Geodinamika, magmatizm i metallogenija Vostoka Rossii. Kn. 1. (2006) [Geodynamics, magmatism, and metallogeny of East Russia. B. 1]. (Ed. A.I. Khanchuk). Vladivostok, Dal'nauka Publ., 572 p. (In Russian)
- Gorelova N.N. (1990) Manifestations of local metasomatosis and relation of ore mineralization with them at one of ultrabasite massifs of the Koryak Highland. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, (2), 73-78. (In Russian)
- Kazachenko V.T. (2002) Petrologiya i mineralogiya gidrotermalnykh margantsevykh porod Vostoka Rossii [Petrology and mineralogy of hydrothermal manganese rocks of East Russia]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 250 p. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Khanchuk A.I., Lavrik S.N., Perevoznikova E.V. (2013) Phlogopite-olivine rocks of Taukha terrane (South-East Sikhote-Alin). *Tikhookean. Geol.*, **32**(5), 35-51. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Lavrik S.N., Perevoznikova E.V., Skosareva N.V. (2015a) Gabbroids of Sergeevsky and Kalinovsky complexes of the Sikhote-Alin': geochemistry and isotope relatios of samarium, neodymium, strontium, and lead. *Vestn. Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, **3**(22), 21-39. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Miroshnichenko N.V., Perevoznikova E.V., Karabtsov A.A. (2008) Mineral forms of precious metals in metal-bearing deposits of the Triassic-Jurassic carboniferous bed of the Sikhote-Alin. *Dokl. Akad. Nauk*, **421**(3), 383-386. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Lavrik S.N. (2011) Mineralogy and genesis of Belogorskoe skarn-magnetite deposit (Primorye). *Tikhookean. Geol.*, **30**(6), 67-83. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Lavrik S.N., Skosa-

- reva N.V. (2012) Role of ophiolites in metallogeny of the Sikhote-Alin. *Dokl. Akad. Nauk.*, **444**(4), 412-416. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Lavrik S.N., Skosareva N.V. (20156) Role of sedimentary processes in geological history of skarn and lode deposits of the Sikhote-Alin. VII Vserossiyskoe litologicheskoe soveshchanie "Evolutsija osadochnykh protsessov v istorii Zemli". T. 1. Moscow, RGU nefti i gaza, 345-352. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Miroshnichenko N.V., Karabtsov A.A., Solyanick V.A. (2007) Gold and platinoids in skarns of the Ol'ginsky and Dal'negorsky ore districts of Primorye and some problems of metallogeny of the southern part of the Sikhote-Alin'. *Dokl. Akad. Nauk.*, 414(5), 667-671. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Narnov G.A. (2012) Accessory mineralization in skarns of the Dal'negorsky ore district (Sikhote-Alin'). *ZRMO*, (4), 73-96. (In Russian)
- Knight J., Leitch C.H.B. (2001) Phase relations in the system Au-Cu-Ag at low temperatures, based on natural assemblages. *Can. Mineral.*, **39**, 889-905.
- Kudryavtseva A.I., Kudryavtsev V.I. (2003) Manifestation of copper and silvery gold in precious-metal mineralization of the South-Tuva ultrabasite belt. Sostojanie i osvoenie prirodnykh resursov Tuvy i sopredelnykh regionov Tsentralnoy Azii. Geoekologija prirodnoy sredy i obshchestva [State and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Geoecology of the natural environment and society. Kyzyl, Tuva IKOPR SO RAN Publ., 45-48. (In Russian)
- Kuz'michev A.B. (2004) Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongol'skogo massiva: rannebaykal'skii, pozdnebaykal'skii i rannekaledonskii etapy [Tectonic history of Tuva-Mongol massif: Early-Baikal, Late-Baikal, and Early-Caledonian stages]. Moscow, Probel-2000 Publ., 192 p. (In Russian)
- Likhoidov G.G., Plyusnina L.P. (1992) Rodingites of North Sakhalin and physicochemical conditions of their formation. *Tikhookean. geol.*, (2), 53-65. (In Russian)
- Mineraly. Spravochnik [Minerals. Handbook]. V. 3, iss. 1. Moscow, Nauka Publ., 883 p. (In Russian)
- Murzin V.V., Sazonov V.N., Varlamov D.A., Shanina S.N. (2006) Gold mineralization in rodingites of massifs of the alpine-type ultrabsites. *Litosfera*, (1), 113-134. (In Russian)
- Nekrasov I..Ya., Lennikov A.M., Zalishchak B.L., Oktyabrsky R.A., Ivanov V.V., Sapin V.I., Taskaev V.I. (2005) Compositional variations in platinum-group minerals and gold, Konder alkaline-ultrabasic massif, Aldan Shield, Russia. *Can. Mineral.*, 43, 637-654.

- Normand C., Williams-Jones A.E. (2010) Origin of Low Molecular Weight Hydrocarbon Gases During Serpentinization: Insights from Fluid Inclusions in Rodingites. *GeoCanada Working with the Earth*, 1-4.
- O'Hanley D.S., Schandl E.S., Wicks F.J. (1992) The origin of rodingites from Cassiar, British Columbia, and their use toestimate T and P, H₂O during serpentinization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**(1), 97-108.
- Pearce J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. Eds. C.J. Hawkesworth, M.J. Norry. *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, 230-249.
- Perevoznikova E.V. (2010) Margantsevosilikatnye porody Juzhnogo Sikhote-Alinja: mineralogija i genezis. Cand. dis. geol.-min. nayk [Manganese-silicate rocks of the South Sikhote-Alin: mineralogy and genesis]. Cand. geol. and min. sci. diss. Vladivostok, 192 p. (In Russian)
- Rechkin A.N. (1974) About a new type of gold mineralization in ultrabasites. *Geol. Geofiz.*, (2), 49-53. (In Russian)
- Savelyev D.E. (2000) Sulfide type of precious-metal mineralization in ultrabasites of Kraka massifs. *Metallogenija drevnikh i sovremennykh okeanov. Otkrytie, osvoenie i otsenka mestorozhdenii* [Metallogeny of ancient and modern oceans. Discovery, development and evaluation of deposits]. Miass, Imin UrO RAN Publ., 199-203. (In Russian)
- Seliverstov V.A., Osipenko A.B. (1998) Petrologiya rodingitov Kamchatki [Petrology of rodingites of Kamchatka]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 153 p. (In Russian)
- Snachev V.I., Savelyev D.E., Rykus M.V. (2001) Petrokhimicheskie osobennosti porod i rud gabbro-giperbazitovykh massivov Kraka [Petrochemical features of rocks and ores of the Kraka gabbro-ultrabasite massifs]. Ufa, IG UNTS RAN Publ., 212 p. (In Russian)
- Spiridonov E.M., Pletnev P.A. (2002) Mestorozhdenie medistogo zolota Zolotaja Gora (o "zoloto-rodingitovoy" formatsii) [Zolotaya Gora deposit of copper gold (about "gold-rodingite" formation)]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 220 p. (In Russian)
- Vasilyev V.I., Damdinov B.B. (2013) Physicochemical model of the formation of ore-bearing rodingites and magnetite-chlorite-epidote metasomatites of the East Sayan. *Litosfera*, (5), 75-92. (In Russian)
- Volokhin Yu.G., Karabtsov A.A. (2016) Minerals in carbonaceous silicites of the Triassic period of the Sikhote-Alin. *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 465-484. (In Russian)
- Zhmodik S.M., Mironov A.G., Derevenets V.G., Agafonov L.V., Ochirov Yu.Ch. (1998) A new type of tin-gold-(mercury)-platinum-metal mineralization in the East Sayan. *Dokl. Akad. Nauk.*, **361**(4), 510-513. (In Russian)