

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ РУД ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
РОДИОНОВСКОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

А.В. Волков, А.А. Сидоров, К.Ю. Мурашов, Н.В. Сидорова

*ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер. 35, г. Москва, 119017; e-mail: tma2105@mail.ru*

Поступила в редакцию 20 июля 2015 г.

В результате исследований установлено обогащение золото-кварцевых руд месторождения Родионовское халькофильными микроэлементами (Au, Ag, As, Sb). В рудах выявлены незначительные отрицательные аномалии европия и низкие концентрации редкоземельных элементов, которые типичны для метаморфогенных флюидов. Незначительная обогащенность руд Bi указывает на возможное участие в рудообразовании магматического флюида, который мог накладываться на ранние метаморфогенные кварцевые жилы и прожилки. Разновекторная тенденция спектров РЗЭ также говорит о существовании еще одного магматического источника флюидов, связанного, вероятно, с внедрением пострудного гранитоидного массива. Полученные результаты в целом подтверждают метаморфогено-магматогенную модель формирования золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского пояса. Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений золота.

Ключевые слова: микроэлементы, редкоземельные элементы, руда, золото-кварцевое месторождение, штокверк, рудообразование, металлогения, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Родионовское расположено в 350 км от г. Магадана и в 60 км от районного центра п. Усть-Омчуг (рис. 1, врезка). В начале века Родионовское месторождение считалось отработанным и пригодным только для мелкой старательской добычи оставшихся небольших запасов богатой руды в жилах. В результате поисковых геолого-разведочных работ в 2002–2006 гг. в его пределах были выявлены крупные залежи бедных штокверковых руд. В настоящее время ведется подготовка месторождения к промышленному освоению.

В последние годы в ряде публикаций [3, 12, 14, 15] было показано, что изучение распределения РЗЭ в рудах месторождений золота различных типов позволяет получить дополнительную информацию об условиях рудообразования, сопоставимую с результатами изучения РЗЭ в различных минералах руд. Известно, что микроэлементы и РЗЭ активно реагируют на окислительно-восстановительную среду природных обстановок, что позволяет использовать их в качестве геохимических индикаторов источников

вещества и условий рудообразования. Поэтому авторы, располагая данными ISP–MS, посчитали возможным проанализировать поведение РЗЭ в бедных рудах Родионовского и в других (Наталкинское, Мальдяк) золото-кварцевых месторождениях региона. Следует отметить, что для месторождений золото-кварцевой формации, локализованных в черносланцевых толщах Яно-Колымского складчатого пояса (ЯКС), информация о составе и распределении большей части микроэлементов и РЗЭ крайне ограничена [8].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках проекта РНФ № 14–17–00170 собрана коллекция проб и образцов типичных руд основных золото-кварцевых месторождений ЯКС, в том числе и Родионовского месторождения. На предварительном этапе сделано минералогическое описание образцов руд и выполнена стандартная пробоподготовка к аналитическим работам (дробление, истирание и пакетирование материала). Затем пробы были проанализированы тремя видами анализов в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН. Определение концентрации породообразующих и отдельных примесных элементов

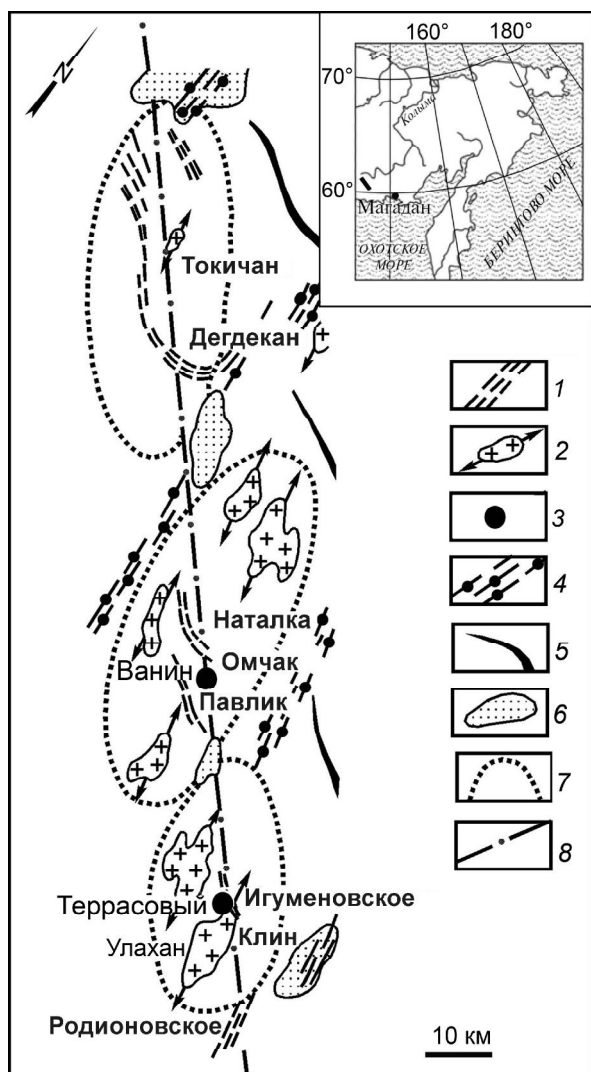


Рис. 1. Положение месторождения Родионовское в Пионерском рудном районе и в Тенькинской зоне глубинного разлома, по [9].

1 – свиты даек и разломы, вмещающие золото-кварцевое оруденение; 2 – гранитоидные массивы и ориентировка их длинной оси; 3 – крупные тела эруптивных брекчий; 4 – зоны складчатых разломов, устанавливаемые по геоморфологическим признакам; 5 – оси складок; 6 – четвертичные впадины; 7 – условные контуры рудных районов; 8 – осевая линия Тенькинского глубинного разлома.

в пробах выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios mAX производства компании PANalytical (Нидерланды, 2012 г., www.panalytical.com). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород. Анализ выполнен по методике 439-РС НСАМ ВИМС, обеспечивающей получение результатов по ОСТ РФ 41-08-205-04 (аналитик

А.И. Якушев). Измерения микроэлементов (ICP-MS) проводили на масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме X-Series II (аналитик Я.В. Бычкова). Пределы обнаружения элементов составляли от 0.1 нг/г для тяжелых и средних по массе элементов с возрастанием до 1 нг/г для легких элементов. Погрешность анализа составляла 1–3 отн. %. Золото в пробах определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220Z (аналитик В.А. Сычкова).

Для оценки условий формирования месторождений были рассчитаны геохимические показатели, а также отношения между элементами: $\sum\text{REE}$, $\sum\text{LREE}$, $\sum\text{HREE}$, $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}$, Hf/Sm, Nb/La, Th/La, Y/Ho, U/Th, Co/Ni, δEu , δCe , $(\text{La}/\text{Yb})_N$, $(\text{La}/\text{Sm})_N$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$. В связи с малым количеством проб и высокими коэффициентами вариации содержаний элементов для сравнительного анализа были рассчитаны их среднегеометрические значения. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты обогащения микроэлементов руд путем нормирования результатов анализов к результатам средних содержаний микроэлементов в земной коре [7]. Для сравнительного анализа выполнено нормирование содержаний микроэлементов в изученных пробах к средним содержаниям в земной коре и нормирование содержаний редких земель в изученных пробах – к хондритам. На основе этих данных построены графики распределения РЗЭ и микроэлементов в рудах месторождений. Для уточнения геохимических особенностей и условий формирования бедных золото-кварцевых штокверковых руд месторождения Родионовское выполнен сравнительный анализ полученных данных с рядовыми рудами месторождения Наталкинское, крупнейшего на Северо-Востоке России, и богатыми жильными рудами месторождения Мальдяк.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Пионерский рудный район, включающий месторождение Родионовское, расположен в юго-западной части Аян-Юрхского антиклинория ЯКС. Это территория мезозоид, структура которых была сформирована в результате орогенеза в конце юры–раннем мелу и претерпела активизацию с возникновением окраинно-континентального ОЧВП в позднем мелу. Общая металлогеническая позиция Пионерского района, как и ряда других рудных районов (Омчакского, Дегдеканского и др.), определяется приуроченностью к зоне Тенькинского глубинного разлома (рис. 1).

Территория Пионерского района сложена терригенно-осадочными отложениями, представленными главным образом родионовской свитой нижней пер-

ми и незначительно пионерской и атканской свитами верхней перми. Практически все месторождения и рудопоявления района локализованы в отложениях родионовской свиты. Гранодиоритовый массив Улахан, в экзоконтакте которого расположены золоторудные месторождения Пионерского рудного узла, имеет вытянутую в субмеридиональном направлении форму (рис. 1) и занимает площадь 82 км². Единичные ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировки биотита гранодиоритов массива показывают 94 млн лет [18].

Ведущую роль в формировании структурного плана месторождения играли антиклинальные складки второго порядка, в пределах которых широко распространены графитисто-глинистые тектониты, генетически связанные с многочисленными зонами надвигов, повторяющихся на различных глубинных уровнях (мощностью от первых см до 10–15 метровых интервалов сплошного тектонического расщепления).

В результате геолого-разведочных работ в пределах месторождения Родионовское были установлены штокверки, представленные сочетанием круто- и пологозалегающих кварцевых жил и прожилков, образующих сложную «многоэтажную» структуру. Выделены три рудные зоны – Северная, Центральная и Южная, прослеженные бурением и комплексом геофизических методов до глубины 150–200 м от поверхности [2]. Мощности рудных зон (по данным бурения) составляют от 25 до 150 м. Средние содержания золота, по результатам kernового опробования, в целом по месторождению составили 0.76 г/т, а с учетом всех проб, включая поверхностные и подземные горные выработки – 1.8 г/т. Выявленные залежи, в большинстве случаев, имеют падение, согласное с вмещающими породами.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД

Рудная минерализация на месторождении Родионовское приурочена преимущественно к зальбандам жил и прожилков и представлена, главным образом, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, золотом. Интенсивные метасоматические изменения охватывают весьма узкие – от 0.5 см до 10 см (в редких случаях) призальбандовые зоны. В последних установлены: арсенопирит, пирит, пирротин, халькопирит, альбит, серицит, хлориты и карбонаты. Серицит распространен во вмещающих породах и на более значительном удалении (до нескольких метров) от жильных образований.

Важная особенность месторождения – термальный метаморфизм руд, связанный с внедрением раннемелового гранодиоритового массива Улахан. На нижнерудных горизонтах месторождения Родионов-

ское, по данным документации подземных горных выработок, установлено, что гранодиориты Улаханского массива секут ("срезают") золотоносные кварцевые жилы и зоны прожилков, которые в этом месте контактово-метаморфизованы.

Текстуры руд месторождения довольно разнообразны: массивные, брекчиевые, полосчатые, пятнистые, вкрапленные, а также их сочетания. Основной жильный минерал – кварц. Содержание его в жильно-прожилковых образованиях достигает 95 %, составляя в среднем 80 %. В подчиненном количестве присутствуют железистые карбонаты (сидерит, анкерит), кальцит, полевой шпат, серицит. Значительно реже отмечаются другие минералы. В процессе термального метаморфизма в жилах и прожилковых зонах образованы также графит, ильменит, олигонит, апатит, дистен, сфен, рутил, кордиерит, волластонит, диопсид, тремолит, актинолит, биотит, хлориты, минералы эпидот-цоизитовой группы.

Рудные минералы составляют в среднем 3–5 %, редко до 10 %. Распределение их в жилах и прожилках гнездовое, крайне неравномерное. Наиболее распространен арсенопирит, реже встречаются пирит, галенит, сфалерит, в подчиненном количестве отмечаются халькопирит, пирротин, самородное золото и др. Среди гипергенных минералов преобладают гидрогетит и скородит, реже отмечаются англезит, церуссит, каолинит, гипс и др.

Проведенные в ИГЕМ РАН детальные микронзондовые исследования показали наличие трех типов самородного золота, существенно различающихся по пробности: низкопробного – 720–800 ‰, средней пробности – 800–870 ‰ и высокопробного – 870–940 ‰ [2].

На рис. 2 приведены фотографии изученных образцов основных типов руд Родионовского месторождения, которые представлены главным образом кварцем с примесью вмещающих пород. Текстуры руд в образцах довольно разнообразны: массивная, брекчиевидная, прожилковая, пятнистая, а также их сочетания (рис. 2). По данным табл. 1, в составе изученных образцов руд преобладает SiO₂ (79.8–99.52 %), и только в пробе №1273 присутствуют заметные концентрации Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ и Na₂O. Судя по табл. 1, содержание сульфидов в изученных образцах руд не превышает 1 %. Таким образом, за исключением пробы №1273 (рис. 2), остальные проанализированные образцы руд представлены монофракциями кварца.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЗЭ В РУДАХ

Результаты анализа микроэлементов в рудах Родионовского месторождения представлены в табл. 2

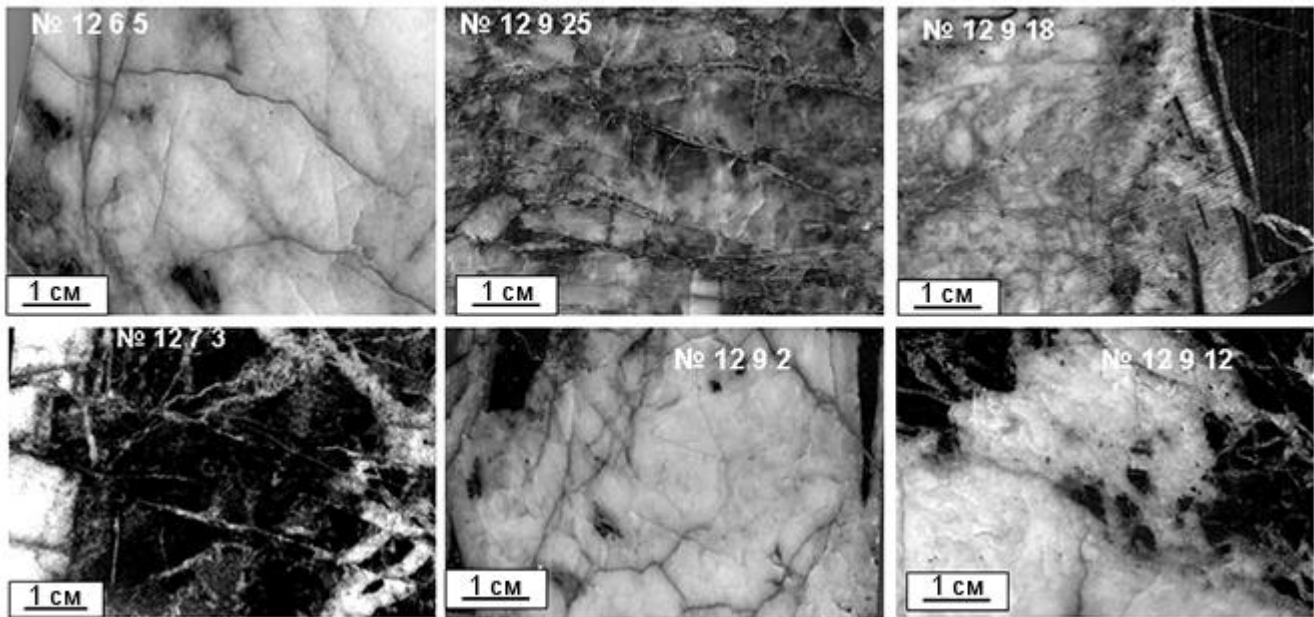


Рис. 2. Текстуры руд Родионовского месторождения. Номера на фото соответствуют номерам проб в таблицах.

1265 – сочетание массивной и пятнистой текстур (крупный прожилок в роговиках); 12925 – пятнистая текстура; 12918 – сочетание прожилковой и брекчиевой текстур (кварц-анкерит-арсенопиритовый прожилок); 1273 – прожилковая текстура (кварц-хлорит-арсенопиритовый прожилок); 1292 – массивная и пятнистая текстуры кварц-арсенопиритовой жилы; 12912 – брекчиевидная текстура.

Таблица. 1. Силикатный состав (% массы) руд Родионовского месторождения.

Пробы	Компоненты, %											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S общ.	Σ
1265	99.52	0.02	0.17	0.23	< 0.01	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	0.02	0.04	100
12925	97.25	0.1	1.08	0.58	< 0.01	0.1	0.34	0.1	0.14	0.25	0.05	99.99
12918	95.57	0.1	2.35	0.73	< 0.01	0.12	< 0.10	0.87	0.11	0.02	0.04	99.91
1273	79.8	0.21	9.59	2.27	0.099	0.89	2.77	3.99	0.24	0.02	0.08	99.959
1292	97.17	0.04	1.2	0.54	< 0.01	< 0.10	< 0.10	0.35	< 0.10	0.03	0.4	99.73
12912	96.76	0.07	1.56	0.55	< 0.01	< 0.10	< 0.10	0.6	0.11	0.02	0.28	99.95

Примечание. Рентгенофлуоресцентный анализ, лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик А.И. Якушев.

и на рис. 3 а, на котором они нормированы по отношению к средним значениям содержаний для верхней коры [8]. Как следует из табл. 2 и рис. 3 а, руды месторождения характеризуются явным обогащением халькофильными элементами (Au, Ag, As, Sb,) по сравнению со средними содержаниями этих элементов в верхней коре [7] и во вмещающих пермских толщах региона [6]. Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких до сотен раз (табл. 2), что свидетельствует о геохимическом родстве микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании. По имеющимся данным [6], вмещающие пермские толщи были незначительно обогащены Au, Ag, Ni, Co, Zn, Cr, Li, Sc (рис. 3 б) по сравнению с верхней корой [7] и могли служить источником этих элементов для рудообразующего флюида.

Сравнительный анализ средних содержаний микроэлементов руд трех золото-кварцевых месторождений золота ЯКС (Родионовское, Наталкинское и Мальдяк) показывает почти полную аналогию в составе и спектрах распределения микроэлементов (табл. 2, рис. 3 в), что свидетельствует о сходных условиях рудообразования этих месторождений. Отличительная особенность родионовских руд – незначительная обогащенность висмутом (табл. 2), которая может указывать на участие в рудообразовании магматических флюидов [5].

Известно, что гидротермальные флюиды, содержащие Cl, эффективно концентрируют легкие РЗЭ, но бедны тяжелыми РЗЭ [17], в этом случае отношения Hf/Sm, Nb/La и Th/La в рудах, как правило, меньше 1; а флюиды, обогащенные F, синхронно концентриру-

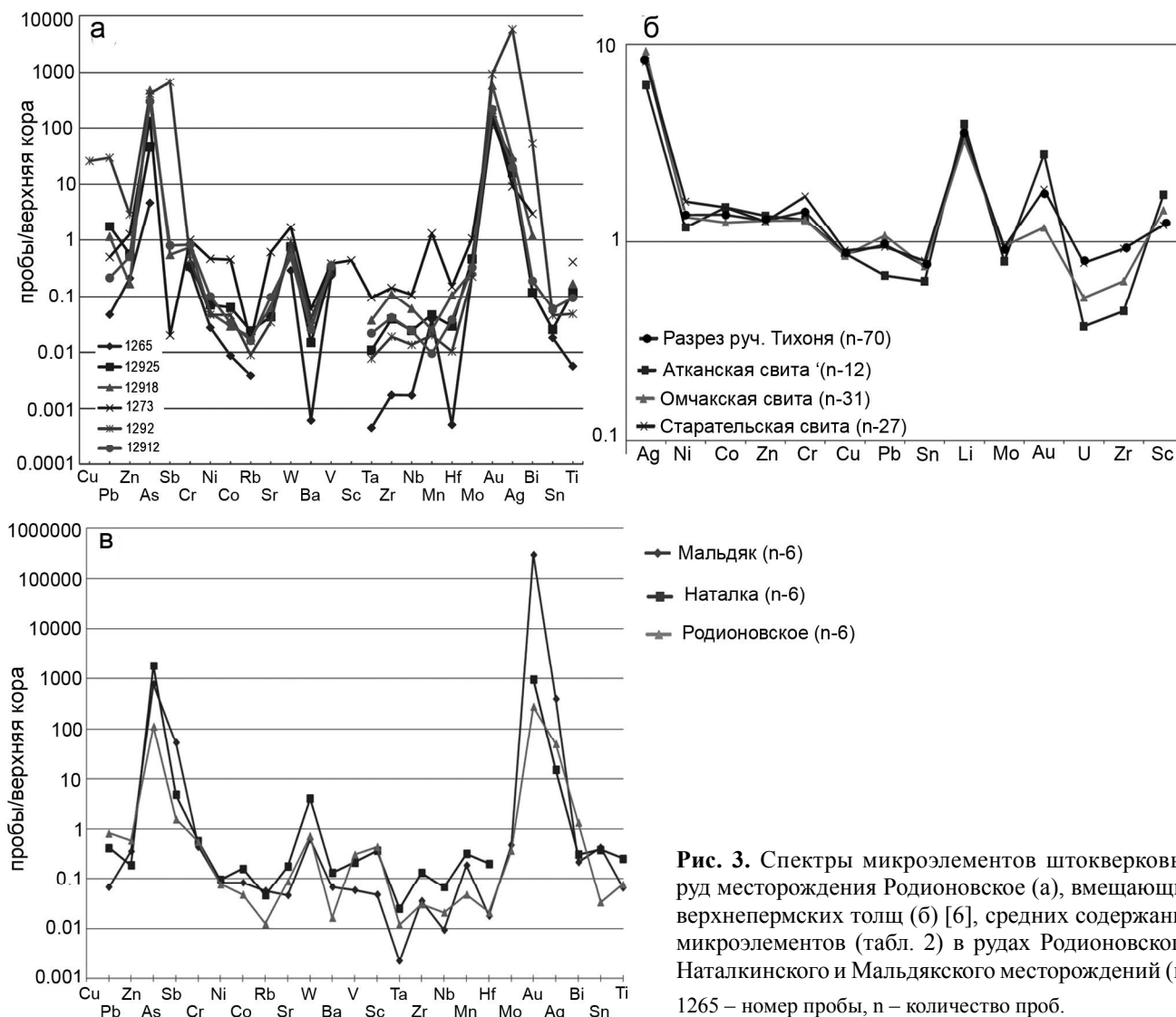


Рис. 3. Спектры микроэлементов штокверковых руд месторождения Родионовское (а), вмещающих верхнепермских толщ (б) [6], средних содержаний микроэлементов (табл. 2) в рудах Родионовского, Наталкинского и Мальдякского месторождений (в). 1265 – номер пробы, n – количество проб.

ют легкие и тяжелые РЗЭ – значения Hf/Sm, Nb/La и Th/La обычно больше 1 [17]. Руды Родионовского месторождения явно обогащены легкими и обеднены тяжелыми РЗЭ, со значениями Hf/Sm, Nb/La и Th/La меньше 1, за исключением пробы № 1265, в которой Nb/La и Th/La > 1.2 (табл. 2). Следовательно, рудообразующие флюиды месторождения Родионовское принадлежали NaCl–H₂O гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F, что коррелирует с результатами изучения флюидных включений в рудном кварце месторождения [2]. Высокие значения отношений Nb/La и Th/La в пробе № 1265, как будет показано ниже, по-видимому, обусловлены термальным метаморфизмом руд. Судя по табл. 2, значения U/Th в рудах месторождения Родионовское значительно меньше, 0.75 (варьируют от 0.19 до 0.45) и немного выше, чем значения для вмещающих пермских пород [6], что говорит об окислительной среде

рудоотложения [13]. Величина отношения Co/Ni в рудах месторождения Родионовское (табл. 2) гораздо меньше, 1.0, что характерно для метаморфогенных гидротермальных флюидов [11].

Возможность, эффективного использования отношения Y/No для оценки происхождения рудообразующих флюидов показано в работах [10, 13, 16]. В изученных рудах значения отношения Y/No в основном варьируют от 22.66 до 32.22, что соответствует диапазону флюида, сформировавшегося в результате регионального зеленокаменного метаморфизма вмещающих пород [10, 13, 16].

Состав РЗЭ в бедных золото-кварцевых рудах месторождения Родионовское приведен в табл. 3, а спектры РЗЭ показаны на рис. 4 а. Сумма РЗЭ в золото-кварцевых рудах Родионовского месторождения в несколько раз ниже, чем в терригенных толщах района [6] и верхней коре [7] и близка таковым На-

Таблица 2. Микроэлементы (г/т) в рудах Родионовского и других золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского складчатого пояса.

Элементы	Состав верхней коры [8]	Месторождения										
		Родионовское									Наталка	Мальдяк
		1265	12925	12918	1273	1292	12912	C _c	Ко	Кв	C _c (5)	C _c (6)
Cu	25	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	650	< ПО	–	–	–	–	–
Pb	20	0.94	35	23	10	594	4.3	16.38	0.82	212.99	8.35	1.35
Bi	0.127	< ПО	0.015	0.15	0.38	6.8	0.024	0.17	1.33	242.73	0.04	0.03
Zn	71	15	40	12	90	206	36	41.08	0.58	111.05	13.19	25.55
As	1.5	7	70	705	225	609	447	166.31	110.87	83.68	2672.34	1159.27
Sb	0.2	< ПО	< ПО	0.11	0.004	133	0.16	0.31	1.56	299.18	0.97	10.42
Cr	35	11	12	26	35	16	29	19.54	0.56	46.02	20.09	15.53
Ni	20	0.55	1.4	1	9.3	0.93	2	1.54	0.08	132.53	1.89	1.67
Co	10	0.087	0.63	0.29	4.5	0.46	0.33	0.47	0.05	161.98	1.60	0.84
Rb	112	0.43	2.7	2.1	1.8	1	1.8	1.41	0.01	49.29	5.14	6.29
Sr	350	< ПО	15	22	214	12	34	31.04	0.09	175.43	61.37	16.17
W	2	0.58	1.5	1.5	3.4	1.9	1	1.43	0.71	59.11	8.04	1.25
Ba	550	0.34	8.2	21	32	22	14	9.12	0.02	68.87	71.83	37.34
V	60	14	17	22	23	16	21	18.53	0.31	19.41	12.84	3.48
Sn	5.5	0.1	0.14	< ПО	< ПО	0.25	0.33	0.18	0.03	76.63	2.10	2.31
Ta	2.2	0.001	0.024	0.082	0.21	0.017	0.048	0.03	0.01	121.00	0.05	0.01
Zr	190	0.33	7.4	21	27	3.6	7.9	5.83	0.03	93.34	24.82	6.75
Nb	25	0.043	0.61	1.5	2.7	0.34	0.61	0.53	0.02	101.19	1.67	0.24
Mn	600	23	28	15	786	12	5.7	28.35	0.05	216.73	190.89	111.67
Hf	5.8	0.003	0.17	0.61	0.87	0.06	0.22	0.12	0.02	106.37	1.17	0.11
Mo	1.5	0.37	0.69	0.42	1.6	0.34	0.49	0.55	0.37	73.82	0.00	0.72
Ho	0.8	0.09	0.08	0.1	0.24	0.0256	0.08	0.08	0.11	70.28	0.12	0.03
La	30	0.034	4.6	3.8	8	1.9	5	1.89	0.06	70.39	3.66	1.43
Sm	4.5	0.071	0.89	0.73	1.5	0.25	0.53	0.46	0.10	76.90	0.93	0.17
Th	10.7	0.043	0.31	1.1	3.1	0.38	0.49	0.45	0.04	125.18	0.67	0.63
U	2.8	0.009	0.14	0.36	0.58	0.16	0.13	0.13	0.05	89.43	0.28	0.13
Y	22	2.9	2.3	2.4	6.8	0.58	1.9	2.22	0.10	74.83	3.89	0.76
Au	0.0018	0.24	0.25	1.03	0.38	1.7	0.39	0.50	275.87	88.51	1.72	542.48
Ag	0.05	1.4	0.8	1.5	0.46	287	1	2.46	49.21	239.76	0.75	19.68
Co/Ni	0.50	0.16	0.45	0.29	0.48	0.49	0.17	0.31	–	–	0.84	0.50
Hf/Sm	1.29	0.04	0.19	0.84	0.58	0.24	0.42	0.27	–	–	1.26	0.61
Nb/La	0.83	1.26	0.13	0.39	0.34	0.18	0.12	0.28	–	–	0.46	0.17
Th/La	0.36	1.26	0.07	0.29	0.39	0.20	0.10	0.24	–	–	0.18	0.44
Y/Ho	27.50	32.22	28.75	24.00	28.33	22.66	23.75	26.41	–	–	31.31	29.74
U/Th	0.26	0.21	0.45	0.33	0.19	0.42	0.27	0.29	–	–	0.42	0.20

Примечание. ПО – предел обнаружения; C_c – среднегеометрическое; Ко – коэффициент обогащения; Кв – коэффициент вариации. 1265 и др. – номера проб штокверковых руд (см. рис. 2). В скобках – количество проб. Метод плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS), лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Я.В. Бычкова.

талкинское и Мальдякское месторождений (табл. 3). Нормированные на хондрит РЗЭ образуют слегка наклонные спектры, кроме аномальной пробы № 1265 (табл. 3, рис. 4 а); обогащены легкими РЗЭ и обеднены тяжелыми РЗЭ, как и руды Наталкинского и Мальдякского месторождений (табл. 3, рис. 4 в). Наклонные и пологие участки спектров РЗЭ в большинстве рудных проб (рис. 4 а) сходны с таковыми для вмещающих пород (рис. 4 б), что позволяет предполагать унаследованное развитие РЗЭ в рудах. Спектр РЗЭ пробы № 1265 по сравнению с другими пробами (рис.

4а) имеет обратный, относительно крутой наклон. Эта проба характеризуется аномально низкими содержаниями РЗЭ (табл. 2.; $\sum \text{REE} = 1.62$, $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE} = 0.13$, $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0.05$, $\text{La}_N/\text{Sm}_N = 0.3$, $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N = 0.27$). Следует отметить, что образец №1265 был отобран из обычной на первый взгляд маломощной жилы в пределах штокверковых руд. Образец представлен главным образом кварцем и отличается от других изученных образцов штокверковых руд присутствием хлорита, развитие которого могло быть связано, как отмечалось выше, с термальным метаморфизмом руд.

Таблица. 3. Лантаноиды (г/т) в рудах Родионовского и других золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского складчатого пояса.

Элементы	Месторождения									
	Родионовское								Наталка	Мальдяк
	1265	12925	12918	1273	1292	12912	C _c	Кв	C _c (5)	C _c (6)
La	0.03	4.6	3.8	8	1.9	5	1.89	70.43	3.66	1.43
Ce	0.02	8.5	7.8	16	4.1	7.6	2.98	72.30	7.79	3.12
Pr	0.01	1.1	1	1.9	0.44	0.76	0.41	74.05	1.09	0.37
Nd	0.02	4.8	3.9	7.1	1.7	2.6	1.53	74.06	4.29	1.3
Sm	0.07	0.89	0.73	1.5	0.25	0.53	0.46	76.96	0.93	0.17
Eu	0.03	0.26	0.18	0.37	0.06	0.11	0.12	76.76	0.22	0.07
Gd	0.14	0.74	0.67	1.3	0.21	0.43	0.45	73.15	0.83	0.23
Tb	0.03	0.09	0.08	0.19	0.03	0.07	0.07	71.99	0.1	0.03
Dy	0.3	0.48	0.49	1.2	0.15	0.37	0.41	73.45	0.71	0.15
Ho	0.09	0.08	0.1	0.24	0.03	0.08	0.08	68.88	0.12	0.03
Er	0.34	0.27	0.34	0.84	0.08	0.25	0.28	72.66	0.43	0.1
Tm	0.05	0.04	0.06	0.11	0.01	0.03	0.04	68.12	0.06	0.02
Yb	0.42	0.28	0.45	1	0.08	0.25	0.32	76.59	0.52	0.07
Lu	0.07	0.04	0.08	0.14	0.01	0.04	0.05	71.08	0.07	0.02
∑REE	1.62	22.17	19.67	39.89	9.04	18.12	9.08	70.66	20.83	7.1
∑LREE	0.18	20.15	17.41	34.87	8.45	16.6	7.39	71.78	17.97	6.46
∑HREE	1.44	2.02	2.26	5.02	0.59	1.52	1.7	71.12	2.86	0.64
∑LREE/∑HREE	0.13	9.97	7.7	6.95	14.24	10.92	4.35	57.37	6.29	10.07
δCe	0.13	0.93	1.03	1.01	1.13	0.81	0.77	43.32	1.03	1.15
δEu	0.94	1.07	0.92	0.89	0.88	0.77	0.91	10.69	0.91	1.15
(La/Yb) _N	0.05	11.16	5.74	5.43	16.13	13.59	4.02	68.99	4.75	14.18
(La/Sm) _N	0.3	3.23	3.25	3.33	4.75	5.89	2.58	54.36	2.47	5.11
(Gd/Yb) _N	0.27	2.14	1.2	1.05	2.12	1.39	1.14	51.90	1.29	2.67

Примечание. C_c – среднегеометрическое, Кв – коэффициент вариации. 1265 и др. – номера проб штоковерковых руд; в скобках – количество проб. Метод плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS), лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Я.В. Бычкова.

Вероятно, термальным метаморфизмом объясняется контрастный характер спектра и аномально низкая сумма РЗЭ этого образца по сравнению с другими пробами.

Eu и Ce аномалии обычно рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительного потенциала среды рудообразования [1, 5, 13]. В большинстве проб из руд месторождения Родионовское (табл. 3) δCe и δEu варьируют от умеренно отрицательных до небольших положительных значений (δCe = 0.81–1.13; δEu = 0.77–1.07), что позволяет говорить о слабовосстановительных условиях, существовавших при отложении руд [10, 16]. Для пробы № 1265 характерна сильно отрицательная Ce-аномалия (δCe = 0.13) и слабо отрицательная Eu-аномалия (δEu = 0.94), характерные для сильновосстановленной среды [13]. Разница между этими двумя сочетаниями Eu и Ce аномалий подразумевает, что в рудообразовании было, по крайней мере, два этапа [13], а восстановительный потенциал имел возрастающую тенденцию. Следует отметить, что существенная роль магматического флюида в рудообразовании установлена на Наталкинском [10]

и предполагается на Нежданкинском [1] крупнейших месторождениях золота в ЯКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные особенности поведения микроэлементов и РЗЭ в бедных штоковерковых рудах месторождения Родионовское позволяют сделать следующие выводы. Установлено обогащение золото-кварцевых руд месторождения халькофильными микроэлементами (Au, Ag, As, Sb) по сравнению со средними их содержаниями в верхней коре [7] и во вмещающих пермских толщах [6]. Полученные геохимические данные указывают на образование золото-кварцевых руд месторождения из метаморфогенных флюидов, непосредственно связанных с вмещающими пермскими толщами. Незначительная обогащенность руд висмутом (табл. 2) позволяет говорить об участии в рудообразовании Родионовского месторождения магматического флюида [4]. Поведение РЗЭ в рудах месторождения (рис. 4), по-видимому, унаследовано от вмещающих пород. Особенности процесса рудообразования на месторождении Родионовское (метаморфизм руд) нашло отражение в поведении РЗЭ в рудах

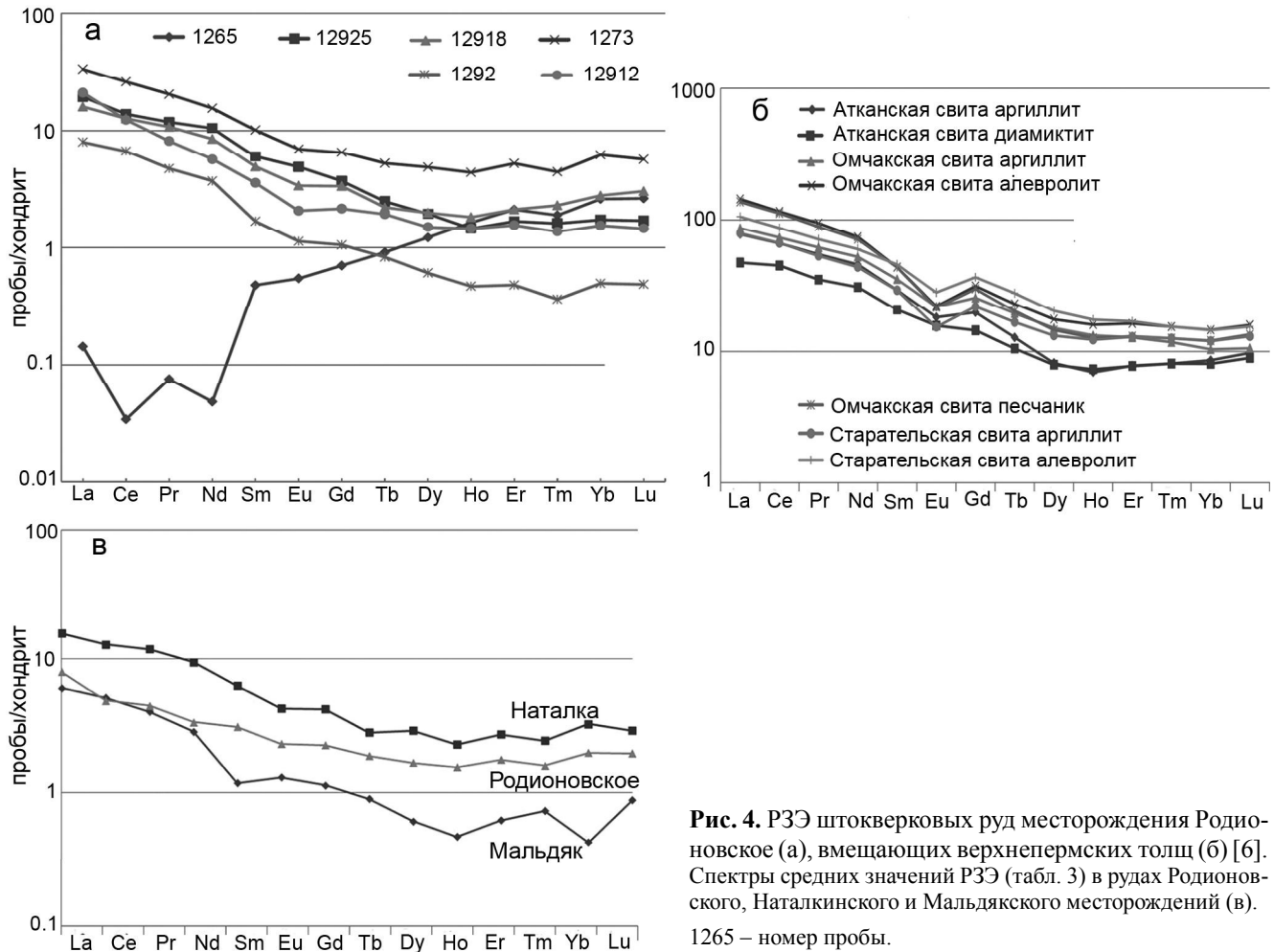


Рис. 4. РЗЭ штокверковых руд месторождения Родионовское (а), вмещающих верхнепермских толщ (б) [6]. Спектры средних значений РЗЭ (табл. 3) в рудах Родионовского, Наталкинского и Мальдякского месторождений (в). 1265 – номер пробы.

(рис. 4). Изучение поведения РЗЭ при метаморфизме руд не только золото-кварцевых, но и других типов месторождений золота заслуживает продолжения.

Сравнительный анализ показал, что бедные штокверковые руды месторождения Родионовского по набору элементов-индикаторов и поведению РЗЭ практически не отличаются как от рядовых руд месторождения Наталкинского, так и от богатых руд месторождения Мальдяк (табл. 2, 3), что свидетельствует о сходных условиях рудообразования этих месторождений и правомерности отнесения их к одной золото-кварцевой рудной формации. Выполненные исследования показали, что жильный и штокверковый тип золото-кварцевых руд обладает сходным набором элементов-индикаторов и близкими содержаниями РЗЭ.

Полученные результаты в целом подтверждают метаморфогенно-магматогенную модель формирования золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского пояса [18]. Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и

оценки месторождений золота. Детальное геохимическое исследование руд месторождений золота позволит на ранних поисковых этапах проводить типизацию объектов. Дальнейшие исследования по проекту будут направлены на изучение геохимических особенностей руд месторождений золота других формационных типов ЯКС (золото-редкометалльного, золото-сурьмяного и золото-сульфидного вкрапленного).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14–17–00170).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданнинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология руд. месторождений. 2007. Т.49, № 2. С. 99–145.
2. Волков А.В., Сидоров В.А., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А. О полихронности золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России) // Докл. АН. 2009. Т. 424, № 2. С. 217–221.
3. Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха А.Л., Тимкина М.А. Золоторудное месторождение Гер-

- фед: характеристика флюидов и РТ-условия образования кварцевых жил (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 11. С. 1851–1867.
4. Горячев Н.А. и Гамянин Г.Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения Востока России / Под ред. В.И. Гончарова. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 50–62.
 5. Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50, № 5. С. 414–444.
 6. Михалицына Т.И. Литология и геохимия верхнепермских пород юго-западного фланга Аян-Юряхского антиклинория на примере разреза по руч. Тихоня (Магаданская область) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2014. № 4. С. 17–28.
 7. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 8. Тюкова Е.Э. В 2-х ч. Минералого-генетические особенности месторождений Пионерского рудного узла (Северо-Восток ССР) / Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. 60 с, 38 с.
 9. Шахтыров В.Г. Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 62–64.
 10. Bau M. Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium // Chem. Geol. 1991. V. 93. P. 219–230.
 11. Constantopoulos J. Fluid inclusions and rare-earth elements geochemistry of fluorite from South-Central Idaho // Econ. Geol. 1999. V. 83 P. 626–636.
 12. Huang Y., Liu J., Gao Ch. Geochemistry and metallogenic age of Sishanlinchang gold-silver deposit in Jidong of Heilongjiang // Global Geol. 2011. V. 14, N 1. P.29–43.
 13. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111 P. 111–129.
 14. Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.
 15. Liu C., Liu J., Wang J., Yang L., Wu J., Jia L. Geochemical characteristics of rare earth elements and their implications for the Huachanggou gold deposit in Shaanxi Province, China // J. Rare Earth. 2013. V. 31. P. 215–226.
 16. Monecke T., Kempe U., Gotze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth. Planet. Sci. Lett. 2002. V. 202. P. 709–724.
 17. Oreskes N., Einaudi M.T. Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia // Econ. Geol. 1990. V. 85, N 1. P. 1–28.
 18. Voroshin S.V., Tyukova E.E., Newberry R.J., Layer P.W. Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma District, Northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages // Ore Geol. Rev. 2014. V. 62. P. 1–24.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.V. Volkov, A.A. Sidorov, K.Y. Murashov, N.V. Sidorova

Geochemical features of the Rodionov gold-quartz ore deposit (Northeast Russia)

The enrichment of the Rodionov gold-quartz deposit in chalcophile trace elements (Au, Ag, As, Sb) has been established. Minor negative Eu anomalies and low Σ REE concentrations, typical of metamorphic fluids, have been revealed. Slight Bi-enriched ores indicate a possible participation of a magmatic fluid in ore formation that could superpose early metamorphogenic quartz veins and veinlets. Multi-vector tendency of REE spectra also testifies to the existence of a magmatic source of fluids related with the post-ore granitoid intrusion. The results obtained confirm the metamorpho-magmatogenic model of the formation of the Yana-Kolyma fold belt gold-quartz deposits. The data presented are of practical importance for regional forecast-metallogenic constructions, exploration and evaluation of gold deposits.

Key words: trace elements, rare earth elements, ore, gold-quartz deposit, stockwork, mineralization, metallogeny, Northeast Russia.