

УДК 553.411:553.21/24

ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯНО-КОЛЫМСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ФЛЮИДОВ, УСЛОВИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ

***А. В. Волков¹, А. А. Сидоров¹, Н. Е. Савва², В. Ю. Прокофьев¹, Е. Е. Колова²,
Ю. С. Савчук,¹ К. Ю. Мурашов¹, Н. В. Сидорова¹, М. И. Земскова¹, В. В. Аристов¹,
А. А. Вольфсон¹***

*¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва*

E-mail: tma2105@mail.ru

*²Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,
г. Магадан*

E-mail: savva@neisri.magadan.ru

Обсуждаются геохимические и термобарогеохимические особенности золото-кварцевых жильных руд месторождений в интрузивах гранитоидов и терригенных черносланцевых толщах Яно-Колымского складчатого пояса. Результаты исследований указывают на заметную роль метаморфизма вмещающих терригенных углеродистых толщ в рудообразовании обоих типов месторождений. Геохимическое сходство руд и результаты изучения флюидных включений показывают, что эти месторождения являются производными одной орогенной рудообразующей системы и подтверждают правомерность их объединения в рамках одной золото-кварцевой формации.

Ключевые слова: Северо-Восток, золото, руда, геохимия, микроэлементы, РЗЭ, флюидные включения, месторождение, терригенные толщи, интрузивы.

ВВЕДЕНИЕ

В Яно-Колымском складчатом поясе (ЯКС) Северо-Востока, как и в других золоторудных провинциях России и мира, известны многочисленные золото-кварцевые жильные месторождения в интрузивах гранитоидов, дайках и терригенных черносланцевых толщах. Самородное золото – главный промышленный компонент руд этих месторождений, из которых попутно добывается небольшое количество Ag, присутствующего в виде примеси в Au. Золото-кварцевые жилы – главные источники богатейших россыпей золота Колымы и Чукотки. Многие исследователи объединяют упомянутые месторождения в одну золото-кварцевую формацию (Горячев, 1998; Константинов, 2009) или относят к орогенному классу (Goldfarb et al., 2001). Орогенные месторождения зарубежные исследователи раз-

деляют на золото-кварцевые месторождения в турбидитах, в интрузивных системах и в зелено-каменных поясах.

На Северо-Востоке России исторически выделяют золото-редкометалльные месторождения (ЗРМ), связанные с интрузивами гранитоидов, и золото-кварцевые месторождения в терригенных черносланцевых толщах (ЗКМТ). Первые широко распространены в магматических поясах Верхояно-Колымской провинции и Чукотки, в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе (ОЧВП), а также в палеозойских и мезозойских зонах тектономагматической активности (ТМА) Омогонского кратонного террейна. Вторые не менее широко распространены в ЯКС и Чукотском складчатом поясе.

Основная задача статьи – изучение геохимических и термобарогеохимических особенностей золото-кварцевых руд месторождений обоих типов в целях получения новой информации об условиях рудообразования. Известно, что микроэлементы и РЗЭ активно реагируют на окислительно-восстановительную среду

© Волков А. В., Сидоров А. А., Савва Н. Е., Прокофьев В. Ю., Колова Е. Е., Савчук Ю. С., Мурашов К. Ю., Сидорова Н. В., Земскова М. И., Аристов В. В., Вольфсон А. А., 2016

обстановок рудообразования, что позволяет использовать их в качестве геохимических индикаторов источников вещества и решении вопросов генезиса золотого оруденения. Отметим, что для большинства изученных золото-кварцевых месторождений ЯКС информация о составе и распределении микроэлементов и РЗЭ в рудах и флюидах получена впервые.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках проекта РНФ № 14-17-00170 собрана представительная коллекция образцов (5–9 шт. по каждому объекту) типичных золото-кварцевых руд основных месторождений в интрузивах гранитоидов (Бутарное, Школьное, Дорожное, Малтан, Чистое, Хурчан, Малыш) и в терригенных черносланцевых толщах (Пионерский рудный узел, Наталка, Павлик, Мальдяк, Токичан, Дражное, Золотая Горка). На предварительном этапе в секторе рудообразования СВКНИИ ДВО РАН сделано минералогическое описание образцов руд и выполнена стандартная пробоподготовка. Затем пробы были проанализированы тремя видами анализов в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН. Определение концентрации породообразующих и отдельных примесных элементов 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.%. Содержания **Au и Ag в пробах определяли** методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220Z (аналитик В. А. Сычкова).

Для оценки условий формирования золото-кварцевых руд ЗРМ и ЗКМТ были определены геохимические показатели, а также отношения между элементами: ΣREE , ΣLREE , ΣHREE , $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$, Hf/Sm , Nb/La , Th/La , Y/Ho , U/Th , Co/Ni , δEu , δCe , $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$, $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}$, $(\text{Gd}/\text{Yb})\text{N}$. Показатели рассчитаны по усредненным значениям элементов для руд каждого месторождения. Кроме того, рассчитаны коэффициенты обогащения микроэлементами руд и вмещающих пород

путем нормирования результатов анализов к результатам средних содержаний микроэлементов в земной коре и хондритах. Полученные значения сведены в таблицы, по которым построены графики распределения РЗЭ и микроэлементов в рудах месторождений.

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений проведены в лаборатории геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН и в секторе рудообразования СВКНИИ ДВО РАН на установке THMSG 600 фирмы LINKAM. Коллекция образцов включала руды ЗРМ (Школьное, Бутарное, Дорожное) и ЗКМТ (Родионовское, Наталка, Игуменовское, Дражное, Золотая Горка). Состав солей, преобладающих в водных растворах флюидных включений, оценивали по результатам измерения температур плавления эвтектики (Борисенко, 1977). Суммарную концентрацию солей в двухфазовых флюидных включениях оценивали по температурам плавления льда на основе экспериментальных данных для системы $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ (Bodnar, Vityk, 1994). Оценки концентраций солей и плотностей флюида проводили с использованием программы «FLINCOR» (Brown, 1989).

Валовой состав флюидных включений изучен в аналитической лаборатории ЦНИГРИ (аналитик Ю. В. Васюта) комплексом методов, включающим газовую и ионную хроматографию, а также ICP-MS, **по методике, опубликованной в работе** (Кряжев и др., 2006). Проанализированы пробы шести ЗРМ (Школьное, Бутарное, Дорожное, Чистое, Малыш и Малтан) и семи ЗКМТ (Родионовское, Наталка, Павлик, Игуменовское, Мальдяк, Дражное и Золотая Горка). Все изученные месторождения расположены в ЯКС (рис. 1).

ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯКС

ЯКС представляет собой крупнейшую золотоносную металлогеническую провинцию на Северо-Востоке России и характеризуется обширными ареалами россыпей, а также многочисленных рудных месторождений и проявлений золота. Пояс прослеживается на расстояние более 1100 км при ширине до 200 км (см. рис. 1) и сопровождается областью развития позднеюрских – раннемеловых субдукционных (I-типа) и коллизионных (S-типа) гранитоидов, среди которых преобладают плутоны гранодиорит-гранитного состава, с площадями выходов до сотен км² (см. рис. 1). Главные фации представлены амфибол-биотитовыми гранодиоритами и гранитами. Положение трендов их составов на диаграмме геодинамических обстановок позволяет предполагать начало формирования магматических очагов еще в процессе субдукции и дальнейшего их разрастание на коллизионном этапе (Трунилина и др., 2008; Goldfarb et al., 2014).

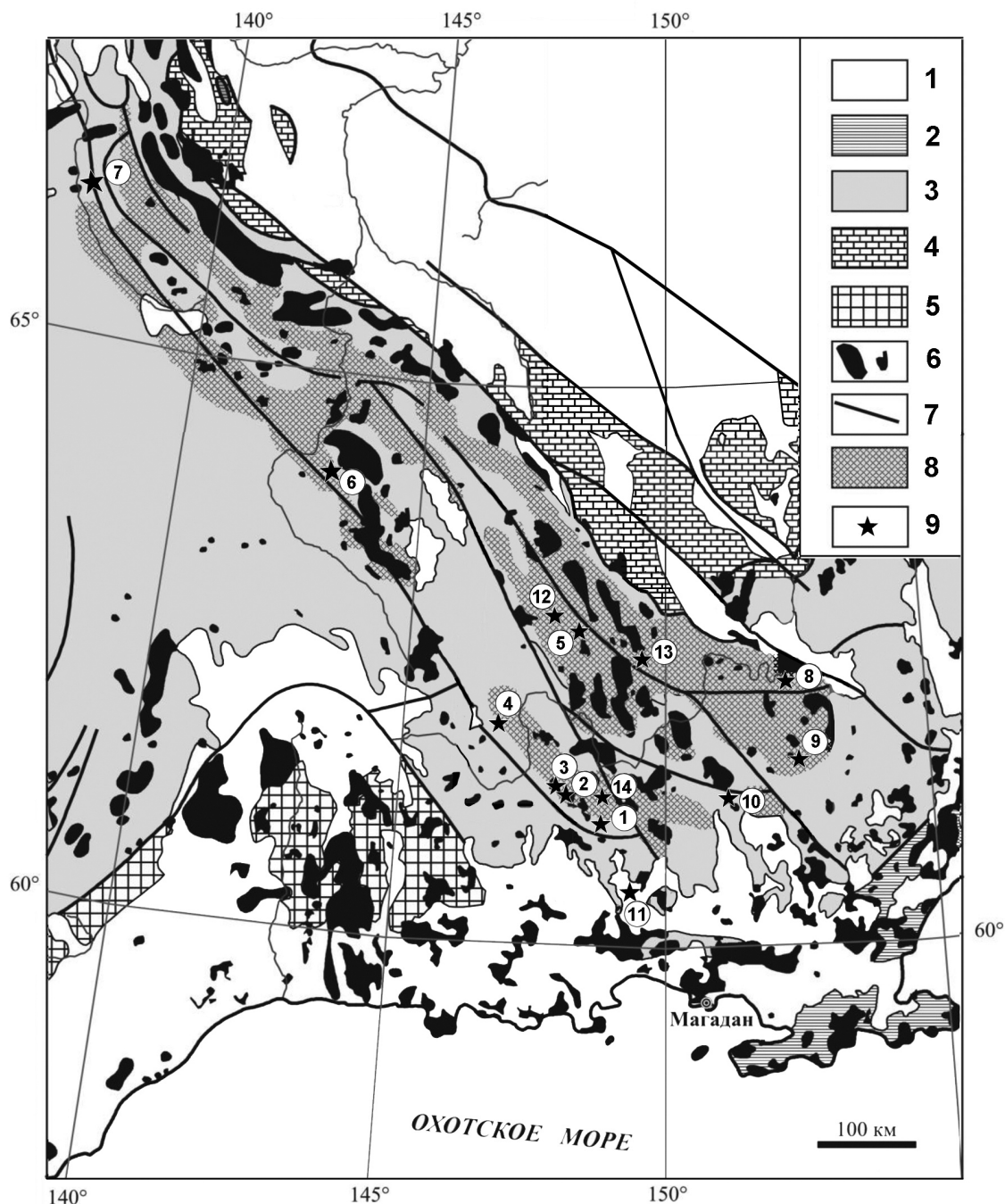


Рис. 1. Положение изученных ЗРМ и ЗКМТ в ЯКС на основе схемы (Voroshin et al., 2014) с изменениями: 1 – нерасчлененные кроющие комплексы осадочных и вулканических пород; 2 – островодужные террейны и фрагменты океанической коры; 3 – метатурбидиты Верхоянского комплекса; 4 – нерасчлененные террейны пассивных континентальных окраин; 5 – Охотский кратонный террейн; 6 – нерасчлененные гранитоиды; 7 – разломы; 8 – Яно-Колымский пояс золотоносности. Границы золотоносности проведены по ареалам россыпей и проявлений рудной минерализации; 9 – изученные ЗКМТ (1–7) и ЗРМ (8–14): 1 – Пионерский рудный узел (Игуменовское, Родионовское), 2 – Павлик, 3 – Наталка, 4 – Токичан, 5 – Мальдяк, 6 – Дразное, 7 – Золотая Горка; 8 – Малыш, 9 – Бутарное, 10 – Малтан, 11 – Ключ Флюоритовый, 12 – Дорожное, 13 – Чистое, 14 – Школьное

Fig. 1. Location of the researched IRGD and TRGD in YKF based on the pattern (Voroshin et al., 2014) with modifications: 1 – undivided covert complexes of sedimentary and volcanic rocks; 2 – island arc terrains and oceanic crust fragments; 3 – metaturbidites of the Verkhoyansk complex; 4 – undivided terrains of passive continental margins; 5 – Okhotsk cratonic terrain; 6 – undifferentiated granitoids; 7 – faults; 8 – Yana-Kolyma gold-bearing belt. The boundaries of gold mineralization traced by areas of placers and mineralization occurrences; 9 – researched TRGD (1–7) and IRGD (8–14): 1 – Pionersky ore centre (Igumenovskoye, Rodionovskoye), 2 – Pavlik, 3 – Natalka, 4 – Tokichan, 5 – Mal'dyak, 6 – Drazhnoye, 7 – Zolotaya Gorka; 8 – Malysh, 9 – Butarnoye, 10 – Maltan, 11 – Kluch Fluoritovy, 12 – Dorozhnoye, 13 – Chistoye, 14 – Shkol'noye

Время внедрения гранитоидов S-типа – 153–147 млн лет, хотя несколько интрузий также датируются 160–155 млн лет, I-типа – 146–143 млн лет (Геодинамика..., 2006; Akinin et al., 2009). Кроме того, в линейных зонах ТМА выделяются I-тип магнетитовой серии с возрастом 70–93 млн лет и A-тип (61–78 млн лет), связанные с поздне-меловым ОЧВП.

Образование в ЯКС гранитоидов S- и I-типов в результате плавления на верхних и нижних уровнях коры во время процессов коллизии было рассмотрено Н. А. Горячевым и Н. В. Бердниковым (2006). Возможный механизм магмообразования в пределах Главного батолитового пояса разработан В. С. Шкодзинским (Шкодзинский и др., 1992) на основе термодинамических расчетов и с привлечением концепции двухъярусной тектоники плит Л. И. Лобковского (1988). По этим представлениям подплавленный материал из зоны коллизии выжимался под давлением в верхний структурный этаж вдоль зон крупномасштабных горизонтальных перемещений.

Многочисленные ЗРМ (Бутарное, Дорожное, Малтан, Чистое, Хурчан, Малыш, Школьное и др.) связаны с интрузиями обоих – S- и I-типов и характеризуются повышенными концентрациями As, Bi, Te и W. **Возраст ЗРМ, по данным аргонового датирования**, варьирует в пределах 149–140 млн лет (Горячев, Бердников, 2006). ЗРМ генетически связаны с интрузивной рудообразующей системой, так же как и месторождение Форт Нокс в восточной части Аляски (Goldfarb et al., 2005). Среди ЗРМ на Северо-Востоке России разрабатываемые месторождения отсутствуют.

ЗКМТ Северо-Востока России (Наталка, Павлик, Родионовское, Игуменовское, Дегдекан, Токичан, Мальдяк, Дразное, Ветренское, Бадран и др.) содержат наиболее значительные запасы и прогнозные ресурсы золота (Михайлов и др., 2007). Однако добыча золота из этих месторождений в последнее время не превышает 3–5 т в год. В перспективе возможен рост добычи золота на порядок (Там же). ЗКМТ располагаются вдоль простирания крупных зон разломов ЯКС: Адыч-Тарынского, Тенькинского и Чай-Юрьинского. ЗКМТ образуются в течение обоих надвиговых и взбросо-сдвиговых процессов вслед за ростом континентальной окраины и субдукционного магматизма в восточном направлении (Goldfarb et al., 2014). Надвиговые события обусловлены коллизией Колымо-Омолонского супертеррейна с Сибирским кратоном, а взбросо-сдвиговые события, по-видимому, отражают изменения в окраине Тихоокеанской субдуцированной плиты в связи с формированием Удско-Мургальской аккреционной дуги. Аргоновые датировки (136 ± 3 млн лет и 125 млн лет) ЗКМТ соответствуют этим двум событиям (Goldfarb et al., 2014).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

В составе изученных образцов руд ЗРМ и ЗКМТ преобладает SiO_2 (62,9–94,35%), присутствуют заметные концентрации Al_2O_3 (0,62–15,69), $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ (0,21–8,57), K_2O (0,10–3,53), CaO (0,24–18,8), MgO (0,10–2,1) а также Na_2O (0,07–2,34) (табл. 1). В рудах месторождений Школьное и Токичан отмечены высокие концентрации CaO (18,8 и 5,83%), а месторождений Дразное, Павлик и Чистое – Al_2O_3 (13,91, 15,69 и 8,87%) и $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ (8,57, 5,91 и 3,69). Судя по табл. 1, содержание сульфидов в изученных образцах руд варьирует в достаточно широком интервале ($S_{\text{общ}}$ изменяется от 0,02 до 5,48%). Повышенное содержание $S_{\text{общ}}$ отмечается в рудах следующих ЗКМТ: Павлик (1,86), Мальдяк (1,46) и Токичан (5,48). Однако большая часть изученных руд месторождений обоих типов характеризуется низкими содержаниями $S_{\text{общ}}$, не превышающими 1% (см. табл. 1).

Распределение основных микроэлементов в рудах месторождений обоих типов приведены в табл. 2 и показаны на совмещенных диаграммах (рис. 2), где они нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Как видно на рис. 2, руды ЗРМ и ЗКМТ характеризуются явным обогащением Au, Ag, As и Sb. Коэффициенты обогащения этих элементов достигают нескольких тысяч и десятков тысяч раз (см. рис. 2), что косвенно свидетельствует о геохимическом родстве микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании. Руды ЗРМ по сравнению с рудами ЗКМТ более обогащены Bi и W (рис. 2,а), коэффициенты обогащения которых для ЗРМ – сотни и тысячи раз, а для ЗКМТ – десятки раз. Руды ЗКМТ в свою очередь заметно обогащены халькофильными элементами Cu, Pb, In, Cd и Li (рис. 2,б), коэффициенты обогащения которых варьируют от нескольких раз до десятков раз. Отметим явное отличие в распределении микроэлементов в рудах ЗРМ ЯКС и ОЧВП (Ключ Флюоритовый) (см. рис. 2,а).

Значения отношения U/Th руд отражают окислительно-восстановительные особенности вмещающей среды (Jones, Manning, 1994). В изученных рудах U/Th значения, за исключением месторождений Дорожное и Школьное, значительно меньше, чем 0,75 (0,22–0,44) (табл. 3), что характерно для окислительной среды рудообразования. Коэффициенты 3,62 и 1,58 (см. табл. 3) свидетельствуют о восстановительных условиях среды рудообразования месторождений Дорожное и Школьное, соответственно.

Значение отношения Co/Ni в рудах месторождений ЗКМТ варьирует в интервале 0,26–1,03 (см. табл. 3), что характерно для метаморфоген-

Таблица 1. Силикатный состав (% массы) руд ЗКМТ и ЗРМ Яно-Колымского складчатого пояса
 Table 1. Chemical composition (weight %) of IRGD and TRGD ores in the Yano-Kolyma Fold Belt

Элемент	ЗКМТ						ЗРМ								
	Родионов-ское	Наталка	Павлик	Мальдяк	Токичан	Дражное	Золотая Горка	Школьное	Бутарное	Дорожное	Малтан	Чистое	Хурчан	Малыш	Ключ Флюоритовый
n	6	5	5	6	9	9	7	5	5	6	5	6	6	4	5
SiO ₂	94,35	82,64	66,60	87,02	69,92	62,29	94,35	77,48	78,04	72,54	83,89	78,00	85,29	88,74	85,64
TiO ₂	0,09	0,23	0,85	0,08	0,09	0,97	0,04	0,04	0,09	0,11	0,24	0,40	0,40	0,15	0,22
Al ₂ O ₃	2,66	5,75	15,69	1,84	3,08	13,91	0,62	1,37	6,81	4,88	6,70	8,87	8,35	2,95	5,27
Fe ₂ O _{3общ}	0,82	1,50	5,91	3,93	5,98	8,57	2,04	0,75	2,61	8,67	2,44	3,64	2,70	3,69	0,21
MnO	0,02	0,04	0,07	0,03	0,18	0,10	0,08	0,17	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,01	0,02
MgO	0,19	0,68	0,95	0,46	0,88	2,10	0,62	0,16	1,20	1,36	0,63	1,30	0,79	0,21	0,10
CaO	0,52	1,37	1,70	0,40	5,83	0,90	1,96	18,88	0,99	2,73	1,44	3,30	0,26	0,71	0,24
Na ₂ O	0,99	1,81	2,34	0,07	0,53	0,36	0,03	0,00	1,83	0,24	1,45	0,60	0,48	0,15	0,16
K ₂ O	0,10	0,53	2,82	0,36	0,59	1,86	0,09	0,22	0,67	1,37	1,10	1,38	1,26	0,39	3,53
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,20	0,00	0,04	0,14	0,09	0,02	0,03	0,03	0,09	0,28	0,09	0,54	0,02
S _{общ}	0,15	0,39	1,86	1,46	5,48	0,90	0,07	0,34	0,09	0,88	0,39	0,36	0,12	0,95	0,02
п. п. п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	99,92	94,98	98,99	95,64	92,59	95,14	99,98	100,07	92,39	92,83	98,39	98,17	99,75	98,48	95,43

Примечание. Рентгенофлуоресцентный анализ, лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик А.И. Якушев; п. п. п. – потери при прокаливании; n – количество проб.

ных гидротермальных флюидов (Kun et al., 2014). Для ЗРМ установлены более высокие значения этого коэффициента (см. табл. 3), указывающие на участие магматического флюида в рудообразовании (Там же).

Возможность эффективного использования отношения Y/No для оценки происхождения рудообразующих флюидов показана в работах (Bau, 1991; Jones, Manning, 1994; Monecke et al., 2002). В рудах ЗКМТ и ЗРМ значения отношения Y/No варьируют в диапазоне 20,64–37,01 (см. табл. 3), что соответствует диапазону флюида, сформировавшегося в результате регионального зеленокаменного метаморфизма вмещающих пород, и указывает на близкие условия рудообразования минерализации обоих типов (Там же).

Известно, что гидротермальные флюиды, содержащие Cl, эффективно концентрируют легкие, но бедны тяжелыми РЗЭ (Oreskes, Einaudi, 1990); в этом случае отношения Hf/Sm, Nb/La и Th/La в рудах, как правило, менее 1, а флюиды, обогащенные F, синхронно концентрируют легкие и тяжелые РЗЭ – значения Hf/Sm, Nb/La и Th/La обычно более 1 (Там же). Руды обоих типов в ЯКС явно обогащены легкими и обеднены тяжелыми РЗЭ, со значениями отношений Hf/Sm, Nb/La и Th/La менее 1 в отличие от месторождения Ключ Флюоритовый, принадлежащего ОЧВП (см. табл. 3). Следовательно, рудообразующие флюиды месторождений ЯКС принадлежали гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F, что, как будет показано далее, коррелируется с результатами изучения флюидных включений в рудном кварце месторождений.

Состав РЗЭ в рудах ЗРМ и ЗКМТ приведен в табл. 2, а спектры РЗЭ, нормированные на хондрит, показаны на рис. 3. Сопоставление рис. 3,а и рис. 3,б показывает однотипный характер спектров распределения РЗЭ в каждой группе месторождений ЯКС и различную обогащенность руд каждого из месторождений этими элементами. Сумма РЗЭ в рудах каждой группы (см. табл. 3), за исключением месторождения Павлик, меньше, чем в верхнепермских толщах района (Михаилыца, 2014), хондритах и верхней коре (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). В то же время сумма РЗЭ в рудах ЗКМТ и ЗРМ, за исключением место-

Таблица 2. Состав микроэлементов и РЗЭ ЗРМ и ЗКМТ руд Яно-Колымского пояса

Table 2. Composition of trace elements and REE in IRGD and TRGD ores of the Yana-Kolyma belt

Элемент, г/т n	ЗКМТ						
	Родионов- ское	Наталка	Павлик	Мальдяк	Токичан	Дражное	Золотая Горка
n	6	5	5	6	9	9	7
Li	2,07	20,80	56,86	7,48	64,27	138,28	12,95
Be	0,08	0,63	1,64	0,30	0,33	2,26	0,06
P	307,38	141,00	—	506,00	—	—	—
Sc	0,80	4,46	8,17	0,98	4,69	33,64	3,44
Ti	421,83	1241,40	4691,41	318,50	260,25	4928,24	117,31
V	18,83	19,06	82,46	3,97	12,18	129,82	5,81
Cr	21,50	25,54	19,07	17,88	7,66	121,55	27,34
Mn	144,95	284,60	400,17	189,83	1133,51	662,85	505,55
Co	1,05	2,19	5,38	2,95	1,81	59,01	4,06
Ni	2,53	2,38	8,69	4,92	6,76	57,34	10,88
Zn	66,50	22,96	62,44	52,67	32296,47	117,87	20,04
Ga	2,26	5,29	27,32	1,64	7,55	6,18	1,08
As	343,83	6718,00	9001,12	43200,00	1040,73	331,57	18,64
Se	3,85	0,00	3,43	3,17	3,84	0,91	0,00
Rb	1,64	9,24	51,20	8,88	21,06	39,26	1,47
Sr	49,50	74,40	155,92	36,37	121,35	114,18	67,30
Y	2,81	5,44	21,91	1,18	4,75	11,29	2,31
Zr	11,21	42,00	191,64	10,34	11,65	124,14	3,47
Nb	0,97	1,58	8,41	0,44	0,96	14,24	0,34
Mo	0,65	0,00	0,41	0,56	0,27	0,72	1,91
Ag	48,69	1,70	3,68	41,98	206,18	0,67	0,00
Cd	0,41	0,11	0,34	0,16	244,54	0,17	0,01
In	0,05	—	30,38	—	5,86	0,02	0,05
Sn	0,14	2,12	0,00	2,32	169,29	1,13	0,19
Sb	22,21	4,32	0,72	118,35	184,28	11,08	15,78
Te	0,04	0,53	0,00	0,91	0,05	0,00	0,04
Cs	0,07	0,65	3,85	0,81	1,08	2,94	0,19
Ba	16,26	118,60	367,56	53,38	35,93	229,15	10,62
La	3,89	6,01	31,46	2,17	3,86	14,41	1,18
Ce	7,34	12,88	64,05	4,56	7,94	30,10	2,62
Pr	0,87	1,78	7,78	0,54	1,01	3,72	0,34
Nd	3,35	6,81	29,24	1,86	3,76	16,32	1,57
Sm	0,66	1,45	5,72	0,34	0,85	3,25	0,52
Eu	0,17	0,33	1,39	0,09	0,93	0,77	0,27
Gd	0,58	1,33	4,05	0,32	0,71	2,55	0,56
Tb	0,08	0,16	0,65	0,03	0,14	0,43	0,09
Dy	0,50	0,99	3,66	0,21	0,83	2,65	0,46
Ho	0,10	0,19	0,76	0,04	0,15	0,55	0,08
Er	0,35	0,62	2,55	0,15	0,42	1,54	0,17
Tm	0,05	0,10	0,42	0,02	0,06	0,25	0,03
Yb	0,41	0,79	2,91	0,16	0,37	1,86	0,14
Lu	0,06	0,11	0,45	0,02	0,05	0,28	0,02
Hf	0,32	1,07	5,12	0,16	0,30	3,98	0,09
Ta	0,06	0,06	0,43	0,00	0,05	1,11	0,01
W	1,65	10,72	38,94	1,12	495,24	6,75	1,69
Tl	0,01	0,06	0,44	0,02	0,23	0,17	0,00
Pb	111,21	27,86	18,04	4,45	59952,41	58,00	46,02
Bi	1,23	0,07	0,42	0,06	15,83	0,14	0,26
Th	0,90	1,53	6,89	0,63	0,97	3,85	0,20
U	0,23	0,50	2,17	0,23	0,37	1,82	0,07
Au	0,66	2,80	17,60	951,17	3,18	4,35	2,14
Cu	108,33	4,00	21,34	21,67	470,42	47,25	19,69
B	—	—	—	—	—	3,87	—

Примечание. Метод плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS), лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Я. В. Бычкова. Золото Spectr AA220 Z (аналитик В. А. Сычкова); n – количество проб.

ЗРМ							
Школьное	Бутарное	Дорожное	Малтан	Чистое	Хурчан	Малыш	Ключ Флюоритовый
5	5	6	5	6	6	4	5
22,78	20,72	10,67	24,57	116,26	67,67	17,08	41,74
0,24	0,53	0,79	1,02	2,68	2,55	0,23	0,35
606,60	5075,60	—	—	—	1241,67	0,00	0,00
2,54	15,40	0,00	4,09	5,35	7,77	1,29	7,44
81,40	474,20	347,08	1208,24	1809,29	2004,67	543,16	1237,48
11,60	19,62	3,67	12,93	60,20	45,53	11,99	2,70
15,04	39,80	4,13	19,10	47,13	36,58	15,18	18,22
658,44	225,10	134,67	125,75	274,25	141,50	58,50	85,53
0,44	2,88	0,97	5,37	9,03	3,09	13,76	0,00
2,00	8,66	0,55	8,28	15,20	5,95	5,86	1,19
81,40	26,72	0,08	47,65	66,32	47,50	3,04	109,84
2,12	8,31	4,35	14,64	20,91	18,27	2,14	4,20
1054,20	2844,82	48833,33	3618,77	18983,82	59,33	6884,29	2,52
3,26	11,04	0,00	4,37	2,00	0,63	0,00	0,60
6,04	24,15	36,87	27,62	66,34	42,63	5,76	98,77
230,16	149,56	51,55	80,21	151,85	28,65	35,96	13,54
5,09	4,08	2,75	10,07	14,95	5,07	7,07	18,55
1,63	38,40	118,17	29,39	51,48	65,28	32,70	323,20
0,27	2,14	1,63	3,42	3,77	5,55	0,58	11,12
0,04	0,00	1,02	0,00	0,00	11,47	0,00	126,08
107,02	9,11	4,23	131,94	1,40	0,72	1,03	141,63
0,78	0,03	0,02	4,84	0,10	0,12	0,04	5,76
1,99	0,02	0,00	16,79	25,54	4,58	0,30	0,34
0,76	1,98	0,68	2,66	4,51	2,46	1,44	10,98
1179,02	5,83	58,51	329,89	7,14	0,42	7,31	2,39
0,00	0,76	2,06	17,05	1,77	0,64	3,49	2309,95
0,34	0,87	3,92	2,24	17,99	3,50	0,73	1,49
30,40	107,22	156,18	215,32	157,79	215,35	64,32	181,11
1,27	2,96	4,38	7,62	15,81	10,26	5,19	4,67
2,39	6,70	9,35	15,26	33,17	20,93	9,99	9,04
0,34	0,89	1,13	2,06	3,94	2,69	1,52	1,36
1,42	3,93	4,57	8,17	15,26	10,37	7,02	5,54
0,42	1,14	0,90	1,99	3,03	1,94	2,61	1,37
0,34	0,23	0,12	0,45	0,64	0,37	0,70	0,23
0,52	1,32	1,96	1,77	2,80	1,65	3,45	1,79
0,10	0,16	0,10	0,30	0,42	0,23	0,42	0,38
0,70	0,79	0,50	1,81	2,47	1,10	1,91	3,14
0,14	0,11	0,08	0,37	0,48	0,21	0,27	0,77
0,43	0,33	0,28	1,04	1,38	0,63	0,65	2,80
0,06	0,03	0,03	0,16	0,19	0,10	0,08	0,46
0,41	0,31	0,28	0,94	1,29	0,77	0,52	3,56
0,06	0,03	0,03	0,13	0,20	0,12	0,09	0,54
0,07	0,51	0,50	0,91	0,93	1,82	0,18	9,26
0,04	0,19	0,15	0,26	0,27	0,47	0,00	0,66
4,62	0,28	5,63	51,55	874,14	169,52	1,42	12,91
0,03	0,07	0,17	1,13	0,40	0,45	0,02	1,32
1004,62	43,22	254,57	4216,33	15,30	29,60	23,58	994,92
2,50	28,25	2,40	908,02	37,33	34,53	1,02	9274,29
0,24	1,52	1,81	2,16	4,06	3,11	0,82	8,80
0,38	0,61	6,57	0,97	0,93	1,19	0,27	4,84
1632,13	187,11	12,80	32,25	1,74	2,20	1,09	4,06
860,00	4,00	36,67	118,03	17,92	5,00	12,56	56,89
—	—	—	—	—	—	—	—

в пробах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре

Таблица 3. Отношения микроэлементов, РЗЭ в золото-кварцевых рудах ЗРМ и ЗКМТ ЯКС и другие
 Table 3. Relationship of trace elements, in IRGD and TRGD gold-quartz ores of YKF and other indicators

Индикатор	ЗКМТ						
	Родионовское	Наталка	Павлик	Мальдяк	Токичан	Дражное	Золотая Горка
ΣREE	18,419	33,545	155,091	10,519	21,089	78,674	8,052
ΣLREE	16,277	29,263	139,632	9,556	18,354	68,572	6,503
ΣHREE	2,142	4,282	15,460	0,963	2,735	10,102	1,549
$\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$	7,599	6,834	9,032	9,927	6,712	6,788	4,197
Hf/Sm	0,487	0,741	0,895	0,483	0,354	1,223	0,171
Nb/La	0,249	0,263	0,267	0,205	0,248	0,988	0,286
Th/La	0,232	0,255	0,219	0,288	0,251	0,267	0,167
Y/Ho	27,420	29,352	28,656	28,628	30,817	20,643	30,229
U/Th	0,254	0,328	0,315	0,364	0,377	0,473	0,377
Rb/Sr	0,033	0,124	0,328	0,244	0,174	0,344	0,022
Sr/Ba	3,045	0,627	0,424	0,681	3,377	0,498	6,336
Zr/Hf	34,780	39,106	37,461	63,470	38,647	31,224	39,326
Nb/Ta	15,191	28,387	19,553	532,600	19,069	12,843	65,255
Co/Ni	0,415	0,919	0,618	0,599	0,268	1,029	0,373
Te/Se	0,009	—	0,000	0,288	0,012	0,000	—
Au/Ag	0,014	1,648	4,787	22,656	0,015	6,527	—
Eu/Eu*	0,915	0,867	0,903	1,024	2,573	0,854	1,437
Ce/Ce*	0,963	1,041	1,031	1,085	1,013	1,026	0,953
LaN/YbN	6,392	5,142	7,339	9,000	7,145	5,278	5,749
LaN/SmN	3,669	2,590	3,436	4,014	2,835	2,768	1,434
GdN/YbN	1,139	1,351	1,125	1,603	1,570	1,112	3,244
LaN/LuN	6,546	5,447	7,229	10,003	7,593	5,322	5,533
ΣCe	15,447	27,484	132,527	9,128	16,569	64,552	5,721
ΣY	2,095	4,441	16,229	1,037	3,621	10,192	1,968
ΣSc	0,828	1,524	5,917	0,335	0,842	3,677	0,335
ΣY (без Tb)	2,013	4,281	15,580	1,005	3,484	9,764	1,880
ΣSc (без Tm)	0,828	1,524	5,917	0,335	0,842	3,677	0,335
Eu/Sm	0,254	0,227	0,242	0,270	1,099	0,236	0,516
Ce/Yb	17,750	16,207	21,994	27,882	21,611	16,225	18,753
Eu/Ce	0,023	0,026	0,022	0,020	0,118	0,026	0,101

Примечание. $\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N * (\text{Tb}_N * \text{Eu}_N)^{1/2})^{1/2}$; $\text{Ce}/\text{Ce}^* = \text{Ce}_N / ((2\text{La}_N + \text{Sm}_N)/3)$.

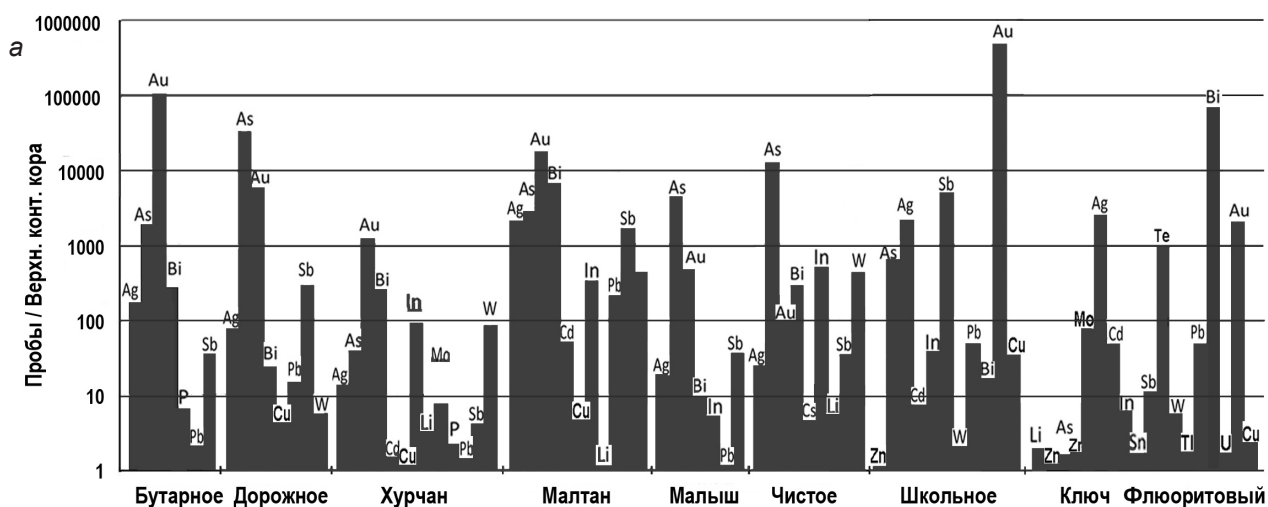


Рис. 2. Распределение основных микроэлементов в рудах ЗРМ (а) и ЗКМТ (б), нормированных по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988)

индикаторные показатели

ЗРМ							
Школьное	Бутарное	Дорожное	Малтан	Чистый	Хурчан	Малыш	Ключ Флюоритовый
8,586	18,946	23,707	42,047	81,083	51,373	34,393	35,647
6,171	15,856	20,448	35,539	71,847	46,569	27,018	22,207
2,415	3,089	3,259	6,509	9,236	4,805	7,376	13,441
2,555	5,133	6,275	5,460	7,779	9,692	3,663	1,652
0,177	0,443	0,556	0,457	0,308	0,941	0,067	6,759
0,213	0,723	0,373	0,449	0,238	0,541	0,111	2,383
0,191	0,514	0,414	0,284	0,257	0,303	0,158	1,886
36,017	37,011	32,803	27,531	30,984	24,418	26,577	24,067
1,579	0,399	3,621	0,449	0,229	0,382	0,332	0,550
0,026	0,161	0,715	0,344	0,437	1,488	0,160	7,293
7,571	1,395	0,330	0,373	0,962	0,133	0,559	0,075
22,207	75,889	236,333	32,334	55,127	35,837	186,200	34,896
7,737	11,031	10,652	13,317	13,997	11,855	194,642	16,800
0,220	0,333	1,747	0,649	0,594	0,519	2,349	0,000
0,000	0,069	—	3,905	0,883	1,009	—	3855,973
15,251	20,539	3,025	0,244	1,248	3,045	1,059	0,029
1,828	0,749	0,569	0,799	0,774	0,753	0,895	0,543
0,865	1,003	1,063	0,960	1,055	1,028	0,797	0,910
2,124	6,416	10,628	5,507	8,312	9,089	6,794	0,890
1,907	1,619	3,045	2,393	3,259	3,309	1,243	2,126
1,027	3,408	5,650	1,520	1,754	1,740	5,385	0,408
2,219	10,380	14,218	5,898	8,078	8,743	6,258	0,896
5,420	14,482	19,433	33,102	68,181	44,260	23,711	20,610
2,216	3,760	3,650	6,671	9,840	5,488	9,353	7,680
0,891	0,673	0,595	2,117	2,872	1,523	1,251	6,901
2,112	3,598	3,552	6,375	9,425	5,261	8,931	7,303
0,891	0,673	0,595	2,117	2,872	1,523	1,251	6,901
0,806	0,203	0,129	0,225	0,210	0,192	0,269	0,165
5,889	21,378	33,373	16,226	25,663	27,292	19,273	2,540
0,140	0,035	0,012	0,029	0,019	0,018	0,070	0,025

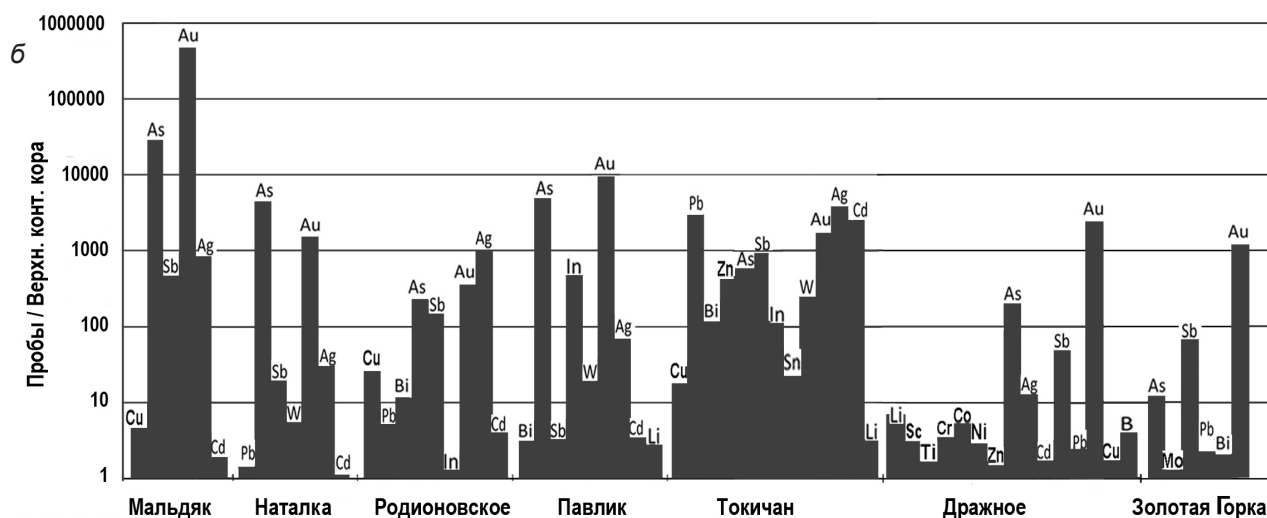


Fig. 2. The distribution of key trace element in IRGD (a) and TRGD (b) ores, normalized to the average values for the upper crust (Тейлор, Мак-Леннан, 1988)

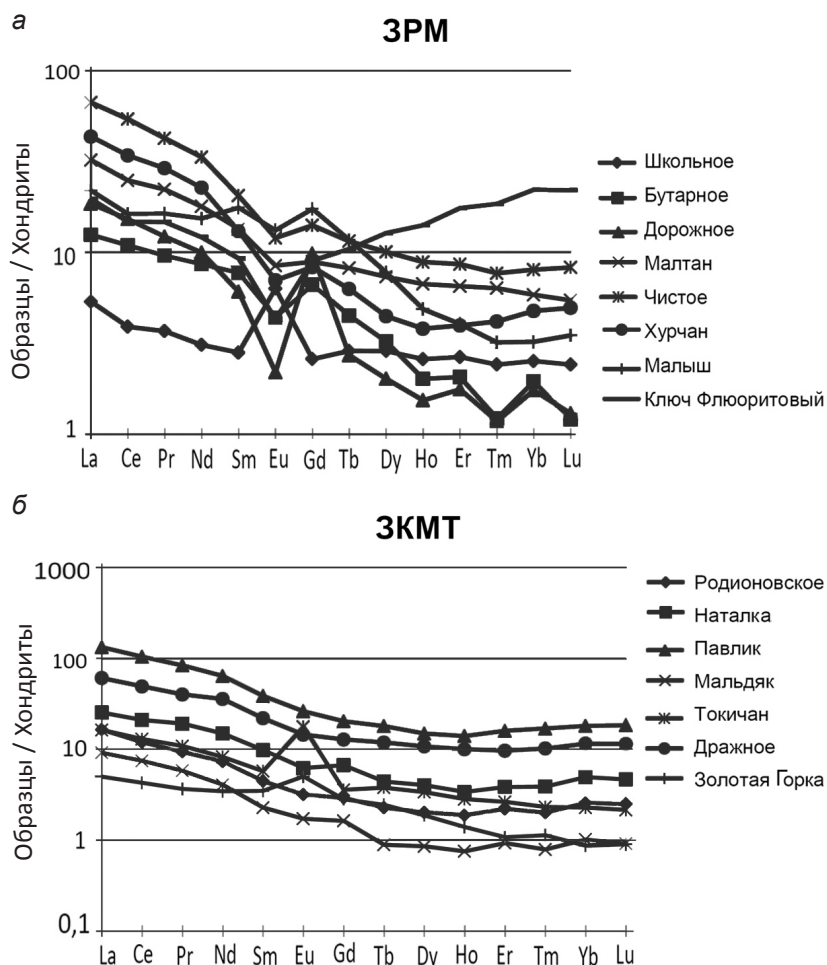


Рис. 3. Распределение РЗЭ в рудах ЗРМ (а) и ЗКМТ (б), нормированных по хондритам

Fig. 3. Distribution of REE in IRGD (a) and TRGD (b) ores, normalized by chondrites

рождения Павлик, практически одинакова (см. табл. 3).

Легкие РЗЭ при повышении давления переходят в водный флюид, а тяжелые удерживаются в магме, что позволяет считать первые «гидрофильными», а вторые «магмафильными» элементами (Жариков и др., 1999). Кроме того, РЗЭ были разделены на три группы: цериевые – La, Ce, Pr, Nd, иттриевые – Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, скандиевые – Er, Yb, Lu (Минеев, 1974). В спектрах РЗЭ изученных руд преобладают легкие «гидрофильные» лантаноиды «цериевой» группы (см. табл. 3, рис. 3).

Нормированные на хондрит РЗЭ руд ЗКМТ и ЗРМ образуют слегка наклонные спектры РЗЭ, показывающие явную обогащенность легкими РЗЭ и обедненность тяжелыми (см. рис. 3). Значения La_N/Yb_N и $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ варьируют в диапазоне 2,12–10,62 и 2,55–9,92, соответственно и сопровождаются пологими спектрами HREE. Так, отношения Gd_N/Yb_N находятся в интервале 1,02–5,65. Наклонные и пологие участки спектра РЗЭ руд как ЗКМТ, так и ЗРМ (см. рис. 3) сход-

ны (особенно ЗКМТ) с таковыми для верхнепермских вмещающих пород (Михалицына, 2014). В то же время спектры РЗЭ руд ЗКМТ отличаются от спектров ЗРМ отчетливой отрицательной Eu аномалией (см. рис. 3). Для руд ЗРМ, кроме месторождения Школьное, характерны слабые положительные аномалии (см. рис. 3,а). Наибольшее сходство с терригенными толщами установлено для распределения РЗЭ руд месторождения Павлик (рис. 4,б).

Eu и Ce аномалии рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительной среды (Горячев и др., 2008; Kun et al., 2014; и др.). Значения δCe руд ЗРМ ЯКС варьируют от умеренно отрицательных до небольших положительных значений (0,79–1,06), а δEu находится в отрицательном диапазоне (0,54–0,80) (см. табл. 3), что позволяет говорить о близких к нейтральным окислительных условиях отложения руд (Monecke et al., 2002; Горячев и др., 2008). Вместе с тем руды месторождения Школьное формировались в восстановительной среде ($\delta Eu = 1,82$) (см. табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Данные исследований индивидуальных флюидных включений в кварце месторождений ЗРМ и ЗКМТ (табл. 4; рис. 4, а,б) показали, что минерализация формировалась при близких параметрах (см. табл. 4): температуры 125–358°C для ЗРМ и 135–448°C для ЗКМТ, давления 330–2320 бар для ЗРМ и 110–2430 бар для ЗКМТ, солёности 2,2–11,7 мас. %-экв. NaCl для ЗРМ и 1,0–10,0 мас. %-экв. NaCl для ЗКМТ.

Валовой анализ флюидных включений из монофракций кварца дал информацию о составе флюидов 6 месторождений ЗРМ (табл. 5, рис. 5). Компоненты на этом и следующем рисунке сгруппированы по группам (газы, анионы, катионы, микроэлементы) и расположены в порядке убывания концентраций. Среди основных компонентов во флюиде установлены: углекислота, метан, хлор, сульфат-ион, гидрокарбонат-ион, Na, K, Ca и Mg. Среди микроэлементов выявлены (см. табл. 5): Br, As, Li, B, Rb, Cs, Sr, Mo, Ag, Sb, Cu, Zn, Cd, Pb, Bi, Th, U, Ga, Ge, Ti, Mn,

Таблица 4. Данные микротермометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце руд ЗРМ и ЗКМТ

Table 4. Microthermometric research data on individual fluid inclusions in the quartz from IRGD and TRGD ores

Месторождение	n	T _{гом.} , °C	T _{звт.} , °C	Концентрация солей, мас. %	Концентрация CO ₂ , моль/кг H ₂ O	P, бар	Источник
ЗРМ							
Школьное	222	283–350	-33...-36	3,7–9,2	1,5–7,4	330–2320	Волков и др., 2011
Бутарное	129	245–334	-24...-35	2,2–4,9	2,2–4,0	780–1600	Волков и др., 2013
Дорожное	75	125–358	-23...-34	2,2–11,7	–	790–1860	Savva et al., 2014
ЗКМТ							
Родионовское	164	275–338	-31...-35	4,3–9,1	2,0–7,5	300–1840	
Игуменовское	167	135–447	-31...-38	1,2–10,0	1,7–7,4	140–2250	
Наталка	167	280–363	-21...-38	1,0–4,9	2,1–8,8	1120–2430	Горячев и др., 2008
Дражное	105	178–273	-28...-33	2,6–9,3	1,3–5,3	115–1070	Аристов и др., 2015
Золотая Горка	33	290–306	-25...-32	4,2–4,8	1,5–1,6	110–180	

Примечание. n – количество изученных включений.

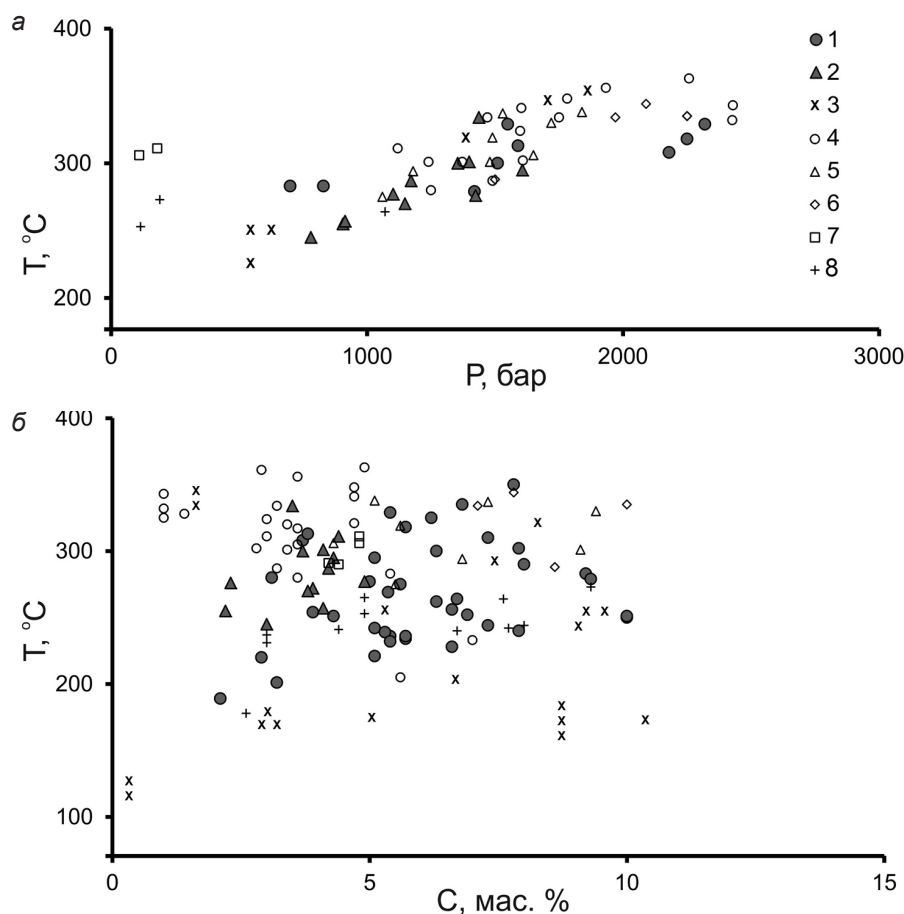


Рис. 4. Диаграмма «температура – давление» (а) и «температура – соленость» (б) для рудообразующих флюидов ЗРМ (1 – Школьное, 2 – Бутарное, 3 – Дорожное) и ЗКМТ (4 – Родионовское, 5 – Игуменовское, 6 – Наталка, 7 – Золотая Горка, 8 – Дражное)

Fig. 4. Temperature – Pressure (a) and Temperature – Salinity (b) diagram for the IRGD (1 – Shkol'noye, 2 – Butarnoye, 3 – Dorozhnoye) and TRGD (4 – Rodionovskoye, 5 – Igumenovskoye, 6 – Natalka, 7 – Zolotaya Gorka, 8 – Drazhnoye) ore-forming fluids

Таблица 5. Состав растворов флюидных включений в кварце рудных жил ЗРМ

Table 5. Composition of fluid inclusion solutions in IRGD ore vein quartz

Элемент № пробы	Школьное	Бутарное						Дорожное
	16	1	2	3	4	5	6	Д-12
<i>Макрокомпоненты, г/кг воды</i>								
CO ₂	18,0	74,4	51,2	54,8	73,5	161,9	25,7	68,9
CH ₄	14,23	1,30	1,36	0,73	2,91	1,91	2,38	8,76
Cl ⁻	28,39	0,09	0,11	0,10	0,12	0,13	< 0,5	1,98
SO ₄ ²⁻		1,10	–		0,58	0,67	< 1	0,80
HCO ₃ ⁻	10,03	2,04	2,08	1,63	1,56	1,10	21,34	27,98
Na	19,56	1,35	0,66	0,59	0,54	0,36	6,69	10,18
K	1,91	0,02	0,11	0,15	0,08	0,09	2,31	0,32
Ca	1,27	–	0,10	–	–	–	–	1,03
Mg	0,15	–	0,01	–	–	–	–	0,24
<i>Микрокомпоненты, 10⁻³ г/кг воды</i>								
Br	22,95	69,53	109,0	233,1	143,9	219,4	3,38	17,45
As	26,82	78,05	261,1	108,61	111,11	128,19	1542,8	199,7
Li	85,28	3,29	2,38	4,19	6,57	1,91	5,81	2,03
B	148,5	187,8	248,8	175,4	126,3	298,9	967,6	481,3
Rb	3,16	0,35	0,67	0,64	0,23	0,34	5,33	0,26
Cs	0,84	0,50	0,76	0,24	0,17	0,33	0,12	0,86
Sr	82,50	0,93	0,91	0,33	–	1,98	–	7,17
Mo	5,27	0,05	0,01	0,04	0,16	0,11	–	1,02
Ag	1,42	–	–	–	0,02	0,03	0,15	–
Sb	69,67	8,85	9,91	3,77	3,02	4,06	20,53	1,10
Cu	7,76	1,16	1,75	0,75	0,01	0,65	–	0,10
Zn	39,99	7,74	–	–	–	–	–	13,08
Cd	1,09	0,02	–	0,01	0,03	0,04	–	–
Pb	0,51	–	0,32	0,08	0,11	0,28	9,37	–
Bi	0,006	–	1,13	0,08	0,51	0,09	–	–
Th	0,006	–	–	–	–	–	0,105	–
U	–	0,009	0,006	–	0,006	0,007	–	–
Ga	0,04	–	–	–	–	–	0,59	–
Ge	2,66	0,58	0,46	0,42	0,46	0,35	0,06	1,38
Ti	25,83	–	–	–	–	–	12,74	–
Mn	13,88	1,82	–	0,59	7,17	–	86,02	0,92
Fe	–	–	–	11,16	39,43	0,50	30,10	–
Co	0,04	0,30	0,04	0,04	2,41	–	0,10	–
Ni	2,12	0,61	0,21	0,60	0,18	1,18	0,66	2,36
V	–	–	–	–	–	–	–	0,05
Cr	–	0,20	–	–	–	–	0,16	–
Zr	0,03	–	–	–	–	–	–	–
Sn	0,06	–	0,34	0,09	0,02	0,09	–	0,18
Ba	12,53	0,07	–	–	6,31	–	19,12	–
W	28,90	0,40	–	–	2,26	0,63	1,78	90,98
Au	0,038	–	–	0,045	–	–	–	0,033
Hg	0,23	0,24	–	0,13	–	–	0,19	10,64
Tl	0,21	–	0,01	0,01	–	–	0,13	–
REE	0,08	–	–	–	–	–	0,04	–
Na/K	10,2	64,3	6,0	4,0	6,5	3,9	2,9	32,3
CO ₂ /CH ₄	1,3	57,2	37,8	74,7	25,3	85,0	10,8	7,9
K/Rb	605,4	61,9	165,1	231,7	365,9	274,3	433,2	2449,9

Чистое		Малыш	Малтан
1	2	РД11	378
<i>Макрокомпоненты, г/кг воды</i>			
41,2	18,1	47,2	24,6
6,83	9,12	9,22	3,25
2,41	< 0,4	1,65	2,15
< 0,5	< 1	< 0,6	< 2
1,24	3,22	3,91	14,68
1,65	1,05	2,50	3,64
0,11	0,09	0,06	0,71
0,25	0,07	—	1,23
0,03	0,01	0,02	0,77
<i>Микрокомпоненты, 10⁻³ г/кг воды</i>			
218,5	220,2	488,8	—
410,7	67,84	388,0	593,0
1,71	1,14	1,18	3,48
107,2	175,0	133,5	281,6
0,65	0,69	0,11	2,17
1,48	1,15	0,38	0,23
9,42	8,24	7,33	36,79
0,09	0,12	0,06	0,12
0,01	0,02	0,06	—
0,94	1,40	1,92	518,2
7,88	—	1,20	2,89
13,22	—	15,60	123,6
—	0,27	0,02	2,40
—	—	—	463,75
—	—	0,01	3,61
—	—	—	—
—	—	—	0,02
—	0,03	—	0,41
1,27	1,39	0,71	—
—	—	—	—
7,26	5,13	1,96	65,80
—	—	—	—
0,02	0,01	0,13	0,29
0,42	0,26	0,62	0,16
—	—	0,48	—
0,32	—	0,36	1,76
0,04	0,05	—	0,10
—	0,06	—	—
1,64	2,57	0,98	144,7
1,76	2,35	—	—
—	0,020	—	1,074
0,35	0,08	—	1,50
0,02	0,01	—	0,33
0,02	0,10	0,04	0,37
15,4	11,7	42,3	5,1
6,0	2,0	5,1	7,6
165,0	131,6	521,9	327,5

Fe, Co, Ni, V, Cr, Zr, Sn, Ba, W, Au, Hg, Tl и REE. Отношения главных компонентов флюида изменяются в следующих пределах: Na/K – от 2,9 до 64,03, CO₂/CH₄ – от 1,3 до 85,0, а K/Rb – от 61,9 до 2450.

Получена также информация о составе флюидов 7 месторождений ЗКМТ (табл. 6, рис. 6). Среди основных компонентов во флюиде установлены: углекислота, метан, хлор, сульфат-ион, гидрокарбонат-ион, Na, K, Ca и Mg. Среди микроэлементов выявлены: Br, As, Li, B, Rb, Cs, Sr, Mo, Ag, Sb, Cu, Zn, Cd, Pb, Bi, Th, U, Ga, Ge, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, V, Cr, Y, Zr, Sn, Ba, W, Au, Hg, Tl и REE. **Отношения основных компонентов** изменяются следующим образом: Na/K – от 1,6 до 32,4, CO₂/CH₄ – от 3,3 до 158,5, а K/Rb – от 254,9 до 1262.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленные особенности поведения микроэлементов и РЗЭ в золото-кварцевых рудах ЗРМ и ЗКМТ могут служить основанием для ряда генетических выводов. Вполне очевидным является образование минерализации из растворов, непосредственно связанных с вмещающими породами верхоянского комплекса, на что указывает однотипный характер распределения микроэлементов и РЗЭ, а также узкий интервал отношений Y/Ho, Co/Ni, Rb/Sr и др., свидетельствующий об однородности источника (Oreskes, Einaudi, 1990; Bau, 1991; Jones, Manning, 1994; Monecke et al., 2002).

В спектрах РЗЭ изученных руд ЗРМ и ЗКМТ и вмещающих пород преобладают легкие «гидрофильные» лантаноиды «цериевой» группы. В золото-кварцевых рудах ЗРМ и ЗКМТ выявлены отрицательные аномалии Eu и низкие концентрации суммы редкоземельных элементов (ΣРЗЭ < 0,1 г/т). Такие свойства типичны для метаморфогенного флюида (Bau, 1991; Monecke et al., 2002). Поведение РЗЭ в изученных рудах, по-видимому, унаследовано от вмещающих пород. Низкие Eu/Sm отношения (< 1) позволяют считать, что рудообразование протекало на верхнекоревом уровне, в близких физико-химических условиях (Винокуров, 1996).

Обогащенность руд «магмафильными» элементами (Bi, W, Sn, Mo) свидетельствует об участии в рудообразовании магматического флюида, который мог накладываться на ранние метаморфогенные кварцевые жилы (Kun et al., 2014). Отметим, что ранее существенная роль магматического флюида в рудообразовании была установлена предшественниками на крупнейших месторождениях золота Северо-Востока России – Наталка (Горячев и др., 2008) и Неждановское (Бортников и др., 2007).

В рудах месторождения Токичан присутствует заметная примесь Sn и Zn (см. рис. 2,б),

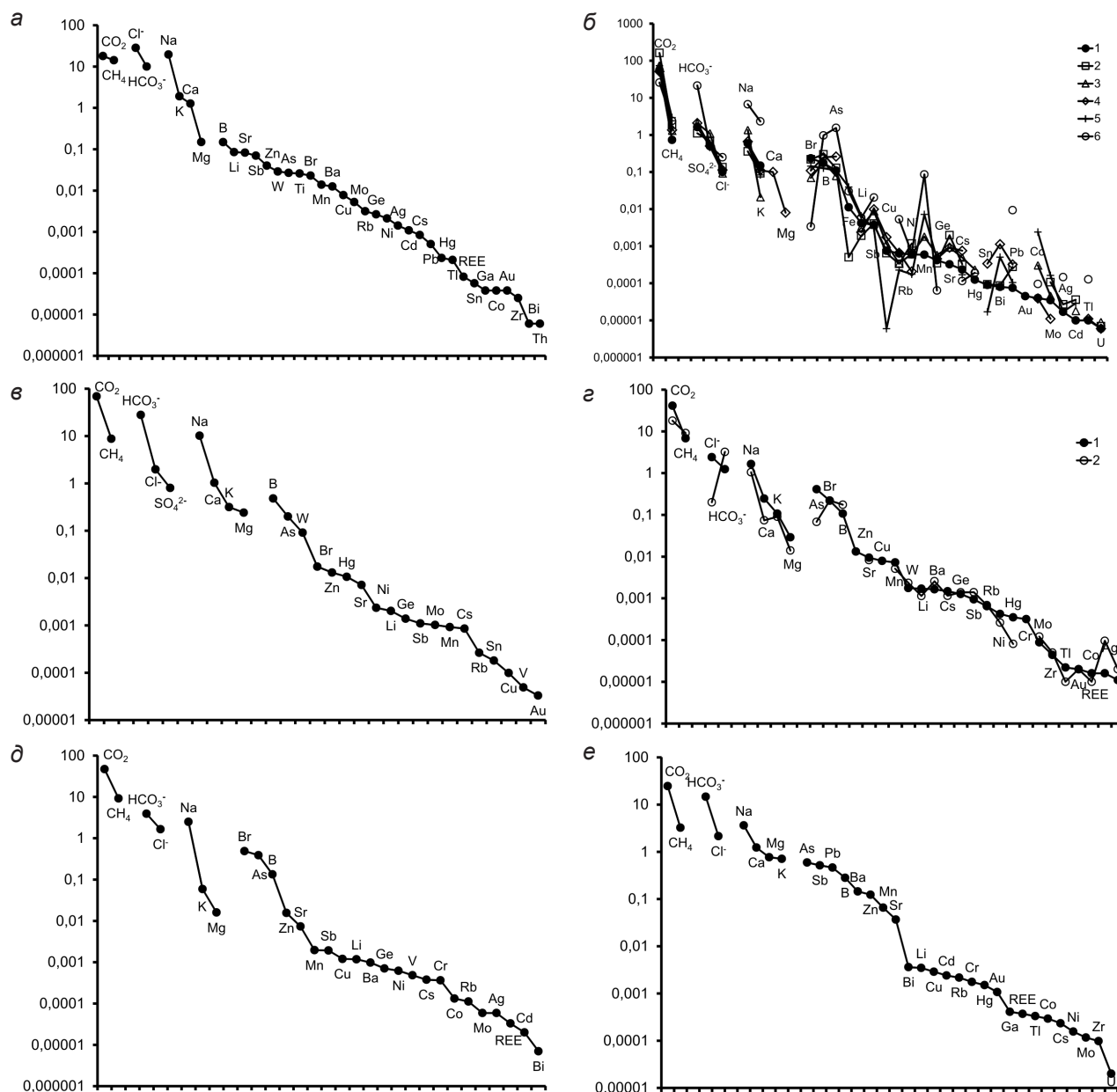


Рис. 5. Состав рудообразующих флюидов ЗРМ. Месторождения: а – Школьное, б – Бутарное (1–6), в – Дорозное, з – Чистое (1, 2), д – Малыш, е – Малан; номера проб см. в табл. 5

Fig. 5. Composition of the IRGD ore-forming fluids. Deposits: а – Shkol'noye, б – Butarnoye (1–6), в – Dorozhnoye, з – Chistoye (1, 2), д – Malysh, е – Maltan; for sample numbers see Table 5

что свидетельствует о совмещении минерализации, по крайней мере, двух этапов рудообразования. Минерализация второго этапа (станнин-селеноканфилдитовая) широко проявлена на месторождении Токичан и приурочена к мощной (2–3 м) кварц-адуляровой жиле, секущей ранние золото-кварцевые жилы под углом 35–40°. Поздний Мп-кальцит, отлагавшийся в мелких друзовых полостях, завершал второй этап рудообразования на этом месторождении. Наличие второго оловорудного этапа на месторождении Токичан маркируется отчетливой положительной Eu аномалией (см. рис. 3,б). Также несколько этапов рудообразования установлено на ЗРМ Школьное (Волков и др., 2011). Наложение на ранние

золото-редкометалльные жилы месторождения Школьное позднего эпипермального Au-Ag оруденения выражается отчетливой положительной Eu аномалией (см. рис. 3,а).

Сравнительный анализ показал, что бедные штоковерковые руды месторождения Родионовское по набору элементов-индикаторов и поведению РЗЭ практически не отличаются как от рядовых руд месторождений Наталка и Павлик, так и от богатых руд месторождения Мальдяк (см. табл. 2, 3), что свидетельствует о сходных условиях их образования.

В сравнительном плане на рис. 3,а показано распределение РЗЭ в рудах месторождения Ключ Флюоритовый, локализованного в верхне-

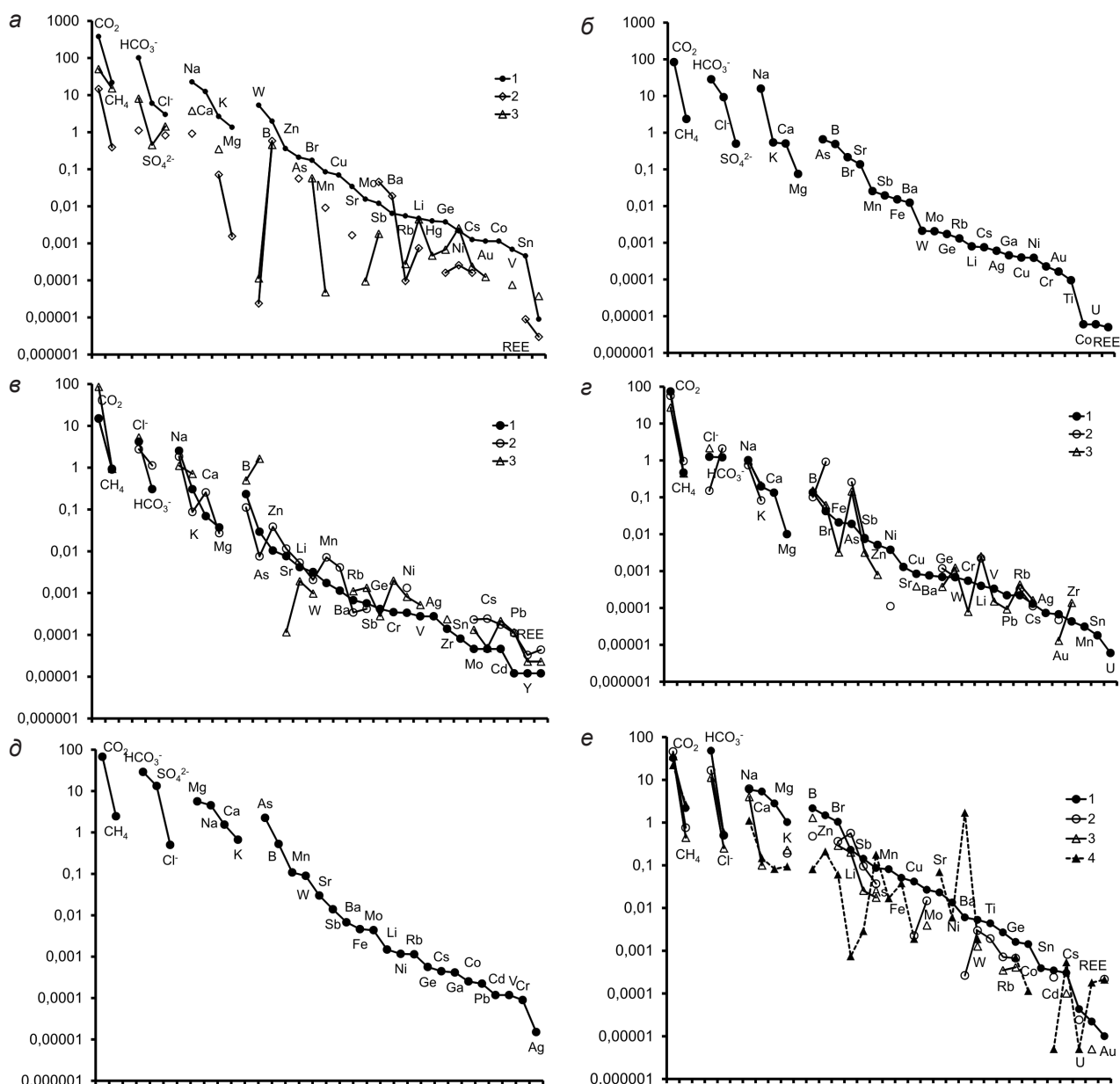


Рис. 6. Состав рудообразующих флюидов ЗКМТ. Месторождения: а – Родионовское (1–3), б – Игуменовское, в – Павлик (1–3), г – Наталка (1–3), д – Мальдяк, е – Дразное (1–3) и Золотая Горка (4); номера проб см. в табл. 6

Fig. 6. Composition of the TRGD ore-forming fluids. Deposits: а – Rodionovskoye (1–3), б – Igumenovskoye, в – Pavlik (1–3), г – Natalka (1–3), д – Mal'dyak, е – Drazhnoye (1–3) and Zolotaya Gorka (4); for sample numbers see Table 6

меловых гранитоидах ОЧВП. На рисунке видно, что этот спектр РЗЭ имеет обратный тренд, в сочетании с отрицательной Eu аномалией, что коренным образом отличается от трендов ЗРМ в ЯКС. Как видно на рис. 3,а (на примере месторождения Ключ Флюоритовый), ЗРМ в верхнемеловых постагрегационных гранитоидах ОЧВП и зон ТМА, несмотря на определенные элементы конвергентности с ЗРМ ЯКС, представляют собственный рудноформационный тип.

Результаты изучения флюидных включений в кварце руд ЗРМ и ЗКМТ позволяют охарактери-

зовать основные физико-химические параметры их формирования (см. табл. 4). Сравнительный анализ последних показал, что руды обоих типов месторождений формировались из гетерогенных углекислотно-водных растворов с высокими концентрациями солей, практически в одинаковых диапазонах температур и давлений (см. табл. 4; рис. 4). На бинарных диаграммах невозможно разделить поля руд ЗРМ и ЗКМТ (см. рис. 4). В целом ЗРМ – среднетемпературные (мезотермальные). Богатые углекислотой, слабоминерализованные рудообразующие флюиды

Таблица 6. Состав растворов флюидных включений в кварце рудных жил ЗКМТ

Table 6. Composition of fluid inclusion solutions in TRGD ore vein quartz

Элемент № пробы	Родионовское			Игуме- новское	Павлик			Наталка		
	1	2	3	ШТ-33	1	2	3	1	2	3
<i>Макрокомпоненты, г/кг воды</i>										
CO ₂	379,7	14,6	50,6	83,7	15,1	14,8	86,3	27,2	56,4	74,1
CH ₄	21,83	0,39	15,22	2,36	0,90	0,94	0,94	0,45	0,96	0,47
Cl ⁻	< 6	0,82	1,43	9,28	4,17	2,76	5,32	2,17	< 0,3	1,26
SO ₄ ²⁻	6,0	—	< 0,9	< 1	< 1	< 1	< 1,5	< 0,6	< 0,6	< 0,6
HCO ₃ ⁻	101,51	1,12	8,08	28,51	0,31	1,12	—	—	2,10	1,21
Na	22,61	0,92	3,78	15,81	2,53	1,84	1,11	1,00	0,75	1,01
K	2,65	0,07	0,35	0,54	0,31	0,09	0,71	0,21	0,08	0,20
Ca	12,47	—	—	0,51	0,07	0,26	—	—	—	0,13
Mg	1,35	0,002	—	0,075	0,037	0,027	—	—	—	0,010
<i>Микрокомпоненты, 10⁻³ г/кг воды</i>										
Br	174,0	—	57,35	213,7	—	108,9	—	61,79	915,4	42,06
As	210,2	56,1	—	656,3	29,29	7,56	1647,5	144,9	257,7	18,97
Li	4,70	0,45	4,44	0,80	4,17	5,29	1,93	2,54	2,22	0,40
B	1976,7	580,94	454,97	487,9	232,9	111,5	497,1	153,7	101,0	135,1
Rb	5,50	0,10	0,28	1,31	0,67	0,34	1,11	0,43	0,32	0,22
Cs	1,26	0,16	0,24	0,75	0,05	0,24	0,05	0,16	0,11	0,13
Sr	34,04	1,66	—	137,1	7,60	11,53	0,12	—	—	1,29
Mo	15,59	—	0,10	2,06	0,05	0,23	0,13	0,15	0,10	—
Ag	—	0,02	—	0,60	0,28	—	—	—	—	0,07
Sb	12,04	45,76	1,81	19,45	0,57	0,42	1,35	3,16	7,83	7,40
Cu	69,46	—	—	0,40	—	—	—	0,39	—	0,84
Zn	360,9	—	—	—	10,41	38,52	—	0,80	—	5,11
Cd	—	0,53	—	—	0,05	0,18	0,22	—	—	—
Pb	—	2,36	—	—	0,01	0,11	0,12	0,09	—	0,22
Bi	—	—	—	—	—	—	0,02	—	—	—
Th	—	—	—	—	—	0,01	0,01	—	0,01	—
U	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	0,01
Ga	—	—	0,19	0,45	—	0,20	—	—	—	—
Ge	3,78	0,16	0,68	1,73	0,42	—	0,28	0,38	1,18	0,69
Ti	—	0,03	—	0,10	—	—	—	—	—	—
Mn	84,70	9,16	0,05	25,49	1,74	7,16	—	—	—	0,03
Fe	—	0,03	96,89	15,17	—	—	3,50	3,22	—	20,82
Co	1,15	—	—	0,01	—	0,04	—	—	—	—
Ni	2,18	0,26	2,57	0,39	0,34	1,32	0,81	—	0,11	3,77
V	0,69	—	0,08	—	0,28	—	0,52	0,15	—	0,33
Cr	—	—	—	0,23	0,35	—	1,99	0,08	—	0,55
Y	0,02	—	—	—	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	—
Zr	—	0,002	—	—	0,14	—	0,24	0,14	—	0,04
Sn	0,46	0,01	—	—	0,08	—	—	—	—	0,02
Ba	6,42	18,86	—	12,38	1,14	4,09	—	—	—	0,76
W	5322,6	0,02	0,11	2,11	3,18	2,06	0,98	1,25	0,69	0,68
Au	1,146	—	0,124	0,163	—	—	—	0,013	0,047	0,067
Hg	4,01	—	0,47	—	—	0,15	—	—	—	—
Tl	—	—	0,09	—	—	0,10	—	0,03	—	—
REE	0,01	0,003	0,04	0,005	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	—
Na/K	8,5	12,9	10,8	29,3	8,3	21,1	1,6	4,7	9,1	5,1
CO ₂ /CH ₄	17,4	37,3	3,3	35,5	16,8	15,8	91,5	60,8	59,1	158,5
K/Rb	481,8	732,0	1262,2	411,9	454,2	254,3	641,1	494,3	254,9	894,5

Мальдяк	Дражное			Золотая Горка
СД-1	1	2	3	4
<i>Макрокомпоненты, г/кг воды</i>				
67,4	31,92	45,70	36,05	21,9
2,46	2,18	0,75	0,44	2,66
< 1	< 1	< 1	< 0,5	0,60
13,3	< 1	< 1	< 1	2,5
29,02	47,60	16,62	11,25	–
4,53	5,90	6,15	3,99	1,11
0,67	1,02	0,19	0,23	0,09
1,55	5,29	–	0,10	0,15
5,65	2,80	–	–	0,082
<i>Микрокомпоненты, 10⁻³ г/кг воды</i>				
–	1034,1	361,61	288,03	60,27
2247,8	85,86	36,88	17,58	176,0
1,48	229,62	562,43	200,60	0,74
524,7	2154,5	476,0	1294,6	80,87
1,14	2,68	0,72	0,35	–
0,44	0,30	–	0,10	0,54
29,89	23,07	–	–	69,14
4,36	26,62	14,68	3,94	–
0,02	–	–	–	0,03
13,95	141,34	94,31	25,53	2,89
–	41,35	2,24	–	1,89
–	1468,3	–	–	208,1
0,12	0,35	0,24	–	0,01
0,22	–	–	–	–
–	–	–	–	0,06
–	–	–	–	–
–	0,04	0,02	–	0,01
0,41	–	–	0,09	0,08
0,56	1,60	0,67	0,41	0,71
–	4,36	1,91	–	–
107,9	80,54	–	–	16,86
4,61	50,64	–	–	37,83
0,25	1,43	–	–	0,11
1,17	13,48	–	–	5,98
0,12	–	–	–	–
0,09	–	–	–	0,96
–	–	0,01	–	0,02
–	–	–	–	0,52
–	0,39	–	–	–
6,75	6,01	0,26	–	1687,5
89,43	5,27	2,96	1,27	1,86
–	–	0,215	–	0,211
–	–	–	–	0,33
–	–	–	–	0,04
–	0,02	–	0,01	0,18
6,8	5,8	32,4	17,5	11,9
27,4	14,7	60,6	81,4	8,3
587,4	380,7	265,4	656,7	–

были гетерогенными. Флюиды ЗКМТ несколько более высокотемпературные и высокобарические, чем ЗРМ (см. рис. 4, б, 5).

Валовой анализ химического состава флюидов из включений также показал сходство флюидов изученных типов месторождений по содержаниям основных компонентов. Судя по валовым анализам, среди катионов во флюидах большинства месторождений обоих типов доминировали калий и натрий, иногда натрий и кальций (Дорожное, Чистое, Малтан, Родионовское, Дражное). Среди анионов часто преобладал гидрокарбонат, концентрации которого были существенно выше хлора. Только на некоторых объектах среди анионов доминировал хлор (Школьное, Чистое, Павлик, Наталка). Редко проявлен сульфат-ион (Бутарное, Дорожное, Родионовское, Игуменовское, Дражное). Растворенных газов в рудообразующих флюидах было много, и среди них преобладала углекислота. Рудообразующие растворы в большинстве случаев можно отнести к гидрокарбонатно-натриевому типу – 60–80% гидрокарбоната и натрия от общего количества катионов и анионов.

Среди микроэлементов в составе флюидов обоих типов месторождений преобладали Br, As, Li, Sr, В (последний чаще в ЗКМТ). Из металлов наиболее распространены Sb, Zn, Cu, Mn, W, Fe. Флюиды ЗРМ часто обогащены Bi. Практически во всех анализах обнаружено Au, часто в высоких концентрациях: 20–1074 ppm для флюидов ЗРМ (см. табл. 5) и 13–1146 ppm – ЗКМТ (см. табл. 6). Обнаружены также высокие концентрации Ag: 10–1420 ppm для флюидов ЗРМ и 20–600 ppm для флюидов ЗКМТ, т. е. последние заметно отличаются меньшими концентрациями Ag от флюидов ЗРМ. Таким образом, можно сделать заключение о высокой металлоносности изученных флюидов, которые обогащались рудными концентрациями в источнике (вероятно, магматическом) и вполне могли формировать рудные концентрации при снижении температуры в ходе гидротермального процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные геохимические и термобарогеохимические данные указывают на образование золото-кварцевых руд месторождения из метаморфогенных флюидов, непосредственно связанных с вмещающими терригенными толщами верхоянского комплекса. С одной стороны, в рудах ЗРМ и ЗКМТ выявлены отрицательные аномалии Eu и низкие концентрации суммы РЗЭ, что характерно для метаморфогенных флюидов. С другой стороны, обогащенность руд ЗРМ и ЗКМТ Bi, W и Sn, а также положительные Eu аномалии свидетельствуют об участии в рудо-

образовании магматического флюида. Низкие Eu/Sm отношения (< 1) в изученных рудах позволяют считать, что рудообразование протекало на верхнекоровом уровне.

Геохимическое сходство руд ЗРМ и ЗКМТ свидетельствует, что эти месторождения – производные одной орогенной рудообразующей системы и подтверждают правомерность их объединения в рамках одной золото-кварцевой формации. Вместе с тем ЗРМ в верхнемеловых постагрегационных гранитоидах ОЧВП и зон ТМА, несмотря на определенные элементы конвергентности с ЗРМ ЯКС, представляют собственное рудно-формационное образование.

Поведение РЗЭ в рудах месторождений, по видимому, унаследовано от вмещающих пород. Особенности процесса рудообразования, отмеченные на ряде месторождений (Школьное, Токичан и др.), находят отражение в спектрах РЗЭ их руд. Выполненные исследования показали, что жильный и штокерный тип золото-кварцевых руд обладает сходным набором элементов-индикаторов и близкими содержаниями РЗЭ.

Изучения флюидных включений выявили, что руды обоих типов месторождений формировались из гетерогенных углекислотно-водных растворов с невысокими концентрациями солей, практически в одинаковых диапазонах температур и давлений.

Валовой анализ химического состава флюидов из включений также определил сходство флюидов изученных типов месторождений по содержаниям основных компонентов, что коррелирует с результатами изучения микроэлементов и РЗЭ в рудах. Флюиды характеризуются высокой металлоносностью. Флюиды ЗРМ отличаются от флюидов ЗКМТ более высокими концентрациями Cl , Bi и Ag , меньшими углекислоты , бикарбонат-иона, сульфат-иона, V , As и Mn .

Для обоих типов месторождений установлены высокие (более 250) значения K/Rb -отношений, которые указывают на взаимодействие флюида с вмещающими породами. В то же время в некоторых пробах руд ЗРМ наблюдаются низкие значения K/Rb -отношений (менее 250), которые свидетельствуют о магматогенном источнике флюида.

Полученные результаты в целом не противоречат метаморфогенно-магматогенной модели формирования золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского пояса (Гончаров, Волков, 2005; Voroshin et al., 2014).

Приведенная 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.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00170).

ЛИТЕРАТУРА

- Аристов В. В., Прокофьев В. Ю., Имамендинов Б. Н. и др. Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Дражное (Восточная Якутия, Россия) // ДАН. – 2015. – Т. 464, № 1. – С. 65–70.
- Борисенко А. С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
- Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В. и др. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 2. – С. 99–145.
- Винокуров С. Ф. Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их генетическое значение // ДАН. – 1996. – Т. 346, № 6. – С. 792–795.
- Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А. и др. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 3–31.
- Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю. и др. Месторождение золота в Бутарном гранитоидном штоке (Северо-восток России): геологическое строение, минералогия и условия формирования руд // Там же. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 214–237.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 527 с.
- Гончаров В. И., Волков А. В. О метаморфогенно-магматогенном рудообразовании на золото-кварцевом месторождении Совиное (Северная Чукотка) // ДАН. – 2005. – Т. 404, № 3. – С. 374–379.
- Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
- Горячев Н. А., Бердников Н. В. Типы рудоносных гранитов юго-восточной части мезозойского Северо-Востока России и их флюидная специализация // Тихоокеан. геол. – 2006. – Т. 25, № 3. – С. 40–52.
- Горячев Н. А., Викентьева О. В., Бортников Н. С. и др. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 5. – С. 414–444.
- Жариков В. А., Горбачев Н. С., Латфутт П. и др. Распределение редкоземельных элементов и иттрия между флюидом и базальтовым расплавом при давлениях 1–12 кбар (по экспериментальным данным) // ДАН. – 1999. – Т. 366, № 2. – С. 239–241.
- Константинов М. М. Золото в осадочных формациях. – М. : Мэйлер, 2009. – 210 с.
- Кряжев С. Г., Прокофьев В. Ю., Васюта Ю. В. Использование метода ICP-MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2006. – № 4. – С. 30–36.

- Лобковский Л. И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. – М. : Наука, 1988. – 251 с.
- Минеев Д. А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. – М. : Наука, 1974. – 237 с.
- Михайлов Б. К., Стружков С. Ф., Аристов В. В. и др. Потенциал золотоносности Яно-Колымской провинции // Руды и металлы. – 2007. – № 5. – С. 4–17.
- Михаилицына Т. И. Литология и геохимия верхнепермских пород юго-западного фланга Аян-Юряхского антиклинория на примере разреза по руч. Тихоня (Магаданская область) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2014. – № 4. – С. 17–28.
- Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. – М. : Мир, 1988. – 384 с.
- Трунилина В. А., Орлов Ю. С., Роев С. П. Петрология и рудоносность гранитоидов Главного батолитового пояса Верхояно-Колымской орогенной области // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 210–227.
- Шкодзинский В. С., Недосекин Ю. Д., Сурнин А. А. Петрология позднемезозойских магматических пород Восточной Якутии. – Новосибирск : Наука, 1992. – 238 с.
- Akinin V. V., Prokopiev A. V., Toro J. et al. U-Pb SHRIMP age of granitoids from the main batholith belt (North East Asia) // Doklady Earth Sciences. – 2009. – Vol. 426. – P. 605–610.
- 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. – Vol. 93. – P. 219–230.
- Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O – NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. – Pontignano : Siena, 1994. – P. 117–130.
- Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. – 1989. – Vol. 74. – P. 1390–1393.
- Goldfarb R. J., Baker T., Dube B. et al. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terrains // Economic Geology 100th Anniversary Volume. – 2005. – P. 407–450.
- Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis // Ore Geology Reviews. – 2001. – Vol. 18. – P. 1–75.
- Goldfarb R. J., Taylor R. D., Collins G. S. et al. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia // Gondwana Research. – 2014. – Vol. 25. – P. 48–102.
- Jones B., Manning D. A. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. – 1994. – Vol. 111. – P. 111–129.
- Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. – 2014. – Vol. 33. – P. 109–118.
- 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. – Vol. 202. – P. 709–724.
- 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. – Vol. 85, No. 1. – P. 1–28.
- Savva N. E., Palyanova G. A., Kolova E. E. Gold and silver minerals and conditions of their formation at the Dorozhnoye deposit (Magadan region, Russia) // Natural Resources. – 2014. – No. 5. – P. 478–495.
- Voroshin S. V., Tyukova E. E., Newberry R. J. et al. Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma District, Northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages // Ore Geology Reviews. – 2014. – Vol. 62. – P. 1–24.

Поступила в редакцию 17.05.2016 г.

OROGENIC GOLD DEPOSITS OF THE YANA-KOLYMA FOLD BELT: ORE AND FLUID GEOCHEMICAL PECULIARITIES, ORE FORMATION CONDITIONS

**A. V. Volkov, A. A. Sidorov, N. E. Savva, V. Yu. Prokof'ev, E. E. Kolova, Yu. S. Savchuk,
K. Yu. Murashov, N. V. Sidorova, M. I. Zemskova, V. V. Aristov, A. A. Wolfson**

The paper discusses geochemical and thermobarogeohimical features of gold-quartz vein ore deposits in granitoid intrusions and terrigenous sterile coal sequences within the Yano-Kolyma Fold Belt. The research results point to metamorphism significance of host carbon terrigenous sequences in both types of ore deposits. The geochemical similarity of ores and the results of studying fluid inclusions show that those ore deposits are derivatives of the same orogenic ore-forming system and confirm the validity of uniting them within a single gold-quartz ore formation.

Keywords: North-East, gold, ore, geochemistry, trace elements, REE, fluid inclusions, deposit, terrigenous sequences, intrusives.