

УДК 553.463.685+553.21/.24(571.63)

КРИТЕРИИ СВЯЗИ СКАРНОВОГО ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРДОННОЕ С РАЗНОВОЗРАСТНЫМ МАГМАТИЗМОМ

© 2014 г. Д. Г. Федосеев, В. А. Пахомова, В. И. Гвоздев, Н. В. Зарубина,
С. Ю. Буравлева, В. Б. Тишкина

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022, Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159*

Поступила в редакцию 07.03.2014 г.

В статье изложены результаты исследований гранитоидов одного из объектов Малиновского рудного поля — скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонное. Магматические породы района месторождения представлены разновозрастными гранитами, которые различаются по петрографическим признакам, по химическому и элементному составу, а также по термобарогеохимическим характеристикам. Обсуждаются критерии рудоносности гранитоидов татибинского комплекса, предполагается их генетическая связь с вольфрамовым (шеелитовым) оруденением в регионе, которая подтверждена сходством характера распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в магматических породах и шеелитах из рудных прожилков и результатами сопоставления термобарогеохимических характеристик рудных растворов и флюидов, сопровождающих формирование гранитов.

На основании анализа результатов комплексных исследований сделан вывод о полихронности и полигенности месторождения, обусловленных проявлением двух этапов магматизма и оруденения в процессе формирования рудно-магматической системы (РМС).

DOI: 10.7868/S0016777014060021

ВВЕДЕНИЕ

Современная оценка перспектив рудоносности в районах проявления гранитоидного магматизма предполагает всестороннее изучение геологического строения объектов, выяснение минералогическо-петрологических и геохимических особенностей гранитоидов, метасоматитов и руд, реконструкцию физико-химических условий их формирования на основании анализа результатов применения комплекса современных аналитических методов.

Характер связи вольфрамового оруденения с гранитоидным магматизмом — извечная дискуссионная проблема, в решении которой принимали участие выдающиеся исследователи вольфрамового оруденения (Рундквист, Денисенко, 1970; Шеглов, Буткевич, 1974; Барабанов, 1975; Рейф, 1990) и многие другие.

В этом отношении исключительно благоприятный полигон для исследования представляет собой месторождение Кордонное, для которого вопрос о связи вольфрамового оруденения с определенным интрузивным комплексом пока остается открытым. В задачи данной работы входило: исследование магматических пород (петрографических

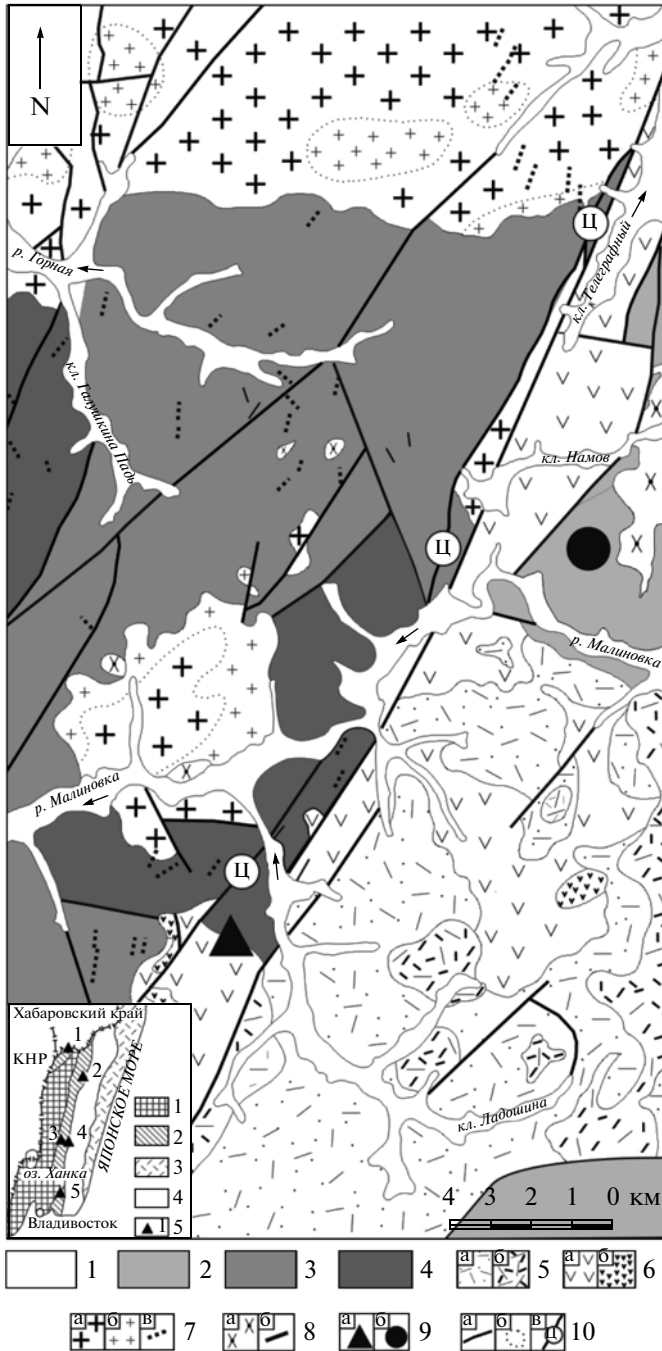
особенностей, химического и элементного состава), определение термобарогеохимических параметров формирования месторождения, интерпретация полученных данных для выяснения особенностей генезиса пород и оценки их потенциальной рудоносности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основное внимание в работе сосредоточено на изучении магматических пород для выяснения вопроса о степени участия гранитных магм, представленных на площади месторождения разными гранитными интрузиями, в формировании оруденения.

В процессе полевых работ документировались магматические, гидротермально-метасоматические образования и руды в естественных и искусственных обнажениях на дневной поверхности, в подземных горных выработках и скважинах. В камеральный период изготовлено и просмотрено более 300 прозрачных шлифов, 200 полировок и десятки пластин. Шлифы, аншлифы и пластинки изучались в ЦКП (ПЦЛЭИА) ДВГИ ДВО РАН на оптическом поляризационном микроскопе для геологических исследований NIKON E 600 POL (Япония), оснащенном термостолком TS1500 для

Адрес для переписки: Д.Г. Федосеев. E-mail: fedoseev@fegi.ru



расплавных включений, термо- и кристолитом THMS600 для проведения экспериментов с флюидными и расплавными включениями. Кроме традиционных методов термометрии, для уточнения состава газовой фазы флюидных и расплавных включений использовался спектрометр комбинационного рассеяния LabRam HR 800 (ДВГИ ДВО РАН).

Химический состав породообразующих и акцессорных минералов гранитоидов и руд, а также состав закаленных стекол расплавных включений в гранитах определены в лаборатории рентгено-

Фиг. 1. Схематическая геологическая карта Малиновского рудного узла (по материалам Г.С. Белянского, 2013, с изменениями автора).

1 – аллювиальные и пролювиальные образования: суглинки, глины, супеси, щебень, галька, гравий (Q); 2 – песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты, их переслаивание, линзы гравелитов (K_1kl); 3 – алевролиты, переслаивание алевролитов и песчаников, микститы с олистолитами базальтов, кремней, известняков, метафиолитовых габброидов, кристаллических сланцев ($J_{2-3}sm$); 4 – глинистые, кремнисто-глинистые и глинисто-кремнистые сланцы, часто филлитовидные, слюдяные, алевролиты, песчаники, кремнистые породы, кварциты, туффиты, базальты, линзы мраморизованных известняков (T_3td); 5 – богопольский вулканогенно-осадочный комплекс: а – туфы, лавы, туфолавы, игнимбриты риолитов, реже дациты, туфопесчаники, туффиты, б – субвулканические образования (K_2-P_1bg); 6 – дорфеевский вулканогенно-осадочный комплекс: а – андезиты, андезибазальты, реже их туфы, единичные прослои туфоалевролитов и туфов риолитов, б – субвулканические образования (K_2drg); 7 – татибинский комплекс диорит-порфировый. Граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов: а – крупнозернистые, б – мелкозернистые ($\gamma-\epsilon\gamma K_1t_2$), в – дайки умеренно-щелочных гранит-порфиров ($\epsilon\gamma K_1t_3$); 8а – монодиориты (μK_1t_1), б – дайки диорит-порфиров ($\delta\mu K_1t_1$). 9а – месторождение Кордонное (W), б – месторождение Малиновское (Au). 10а – разлом, б – фациальная граница, в – Центральный Сихотэ-Алиинский разлом.

На врезке: фрагмент схемы террейнов Сихотэ-Алиинского орогенного пояса и прилегающих территорий (Ханчук, 2000; Голозубов, 2006):

1 – Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 – Самаркинская аккреционная призма (турбидит-олистоострововая); 3 – Прибрежный вулканический пояс; 4 – осадки турбидитового бассейна и прилежащих к нему островных дуг; 5 – скарновые месторождения шеелита: 1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Бенеовское.

ских методов ДВГИ ДВО РАН, на рентгено-спектральном микроанализаторе GEOL JXA-8100 (Япония), с энергодисперсионным спектрометром INKA-sight производства Oxford Instruments (Великобритания).

Для выявления элементов-примесей (S, Cl, V, Cr, Co, Ba, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, As, Pb, Th, U, Ni, Cu, Zn, Ga) применялся рентгено-флуоресцентный анализ на спектрометре S4 Pioneer (ДВГИ ДВО РАН).

Содержания основных элементов, элементов-примесей и редкоземельных элементов в магматических и метаморфических породах и рудах и главном рудном минерале получены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ICP-MS-спектрометре Agilent 7500 (ДВГИ ДВО РАН). Для количественной оценки содержания редкоземельных элементов и выяснения геохимической специализации разных групп гранитоидов и руд проведен анализ методом ICP-MS с использованием способа хи-

мической пробоподготовки, который предполагает полное переведение навески образца в раствор (методика разработана Н.В. Зарубиной, ДВГИ ДВО РАН).

Определения возраста гранитов K/Ar-методом выполнены в лаборатории изотопных исследований ИГЕМ РАН.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ РУД

Малиновский рудный узел является составной частью Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой области, примыкая с запада по бассейну р. Малиновка к Центральному Сихотэ-Алинскому разлому. В структурном плане Малиновский рудный узел расположен в зоне пересечения разломов северо-восточного и северо-западного простирания, что, по мнению многих исследователей, является благоприятным фактором локализации вольфрам-сульфидно-скарноидного оруденения. Месторождение Кордонное локализовано в осадочных породах Самаркинской аккреционной призмь. В составе магматических ассоциаций месторождения преобладают межпластовые тела габбро, аплитов, базитов основного состава (фиг. 1). Магматические породы района разделены на три комплекса: юрский (кокшаровский) – пластовые тела габбро-диабазов, амфиболовых габбро, пироксенитов и др. (J_2); интрузивные тела габбро, пироксенитов, сиенитов (J_3); позднемеловой (татибинский) – диориты (первая фаза), биотитовые гранодиориты, граниты, лейкограниты (вторая фаза); позднемеловой-палеогеновый (вулканический) – дациты, риодациты, андезиты, их туфы, игнимбриты (Изох, 1978).

Татибинский комплекс представлен магматическими породами известково-щелочного ряда I-S-типа (ильменитовая серия), а рудно-магматические системы ассоциирующихся с ними месторождений следует рассматривать как относительно “открытые”, с “корневым” источником магматических расплавов (Гвоздев, 2010).

Породы кислого состава образуют на дневной поверхности месторождения редкие дайки и штокообразные тела. Однако по направлению к долине реки Малиновка их количество увеличивается, и в устье ключа Ладошин выделяется интрузив, переходящий на правый борт реки.

Рудные тела локализованы в осадочной толще над интрузивным массивом, который, по данным бурения, вскрыт на глубине около 100 м, и представляют собой горизонты полого залегающих карбонатно-кремнистых пород, протяженность которых достигает нескольких сот метров, мощность составляет от 0,5 до 2 м. Тела сложены минеральными ассоциациями роговиков, скарнов, грейзенов и сульфидных руд, характеризующимися

разные во времени эпизоды минерализации. Максимальные концентрации шеелита (до 2–3%) сосредоточены в участках пересечения горизонтов скарнированных пород с прожилками шеелит-полевошпат-кварцевого и шеелит-кварцевого (иногда с хлоритом, амфиболом, карбонатом, апатитом, пирротинном, пиритом, арсенопиритом и др.) состава. Редко в прожилках встречаются турмалин, слюды, сфалерит, минералы висмута (самородный висмут, висмутин, свинцово-висмутовые сульфосоли, сульфотеллуриды висмута), касситерит, галенит, молибденит, станнин и др. Мощность прожилков до 2 см. Количество и соотношения перечисленных минералов варьируют в широком диапазоне, от единичных зерен до номинеральных агрегатов того или иного состава. Шеелит – главный рудный минерал. Он распределен по массе рудных тел крайне неравномерно и часто пространственно тяготеет к участкам окварцевания скарнов, кварцевым прожилкам или их зальбандам. Сульфидные минералы (арсенопирит, пирротин, халькопирит) локализованы как в самих прожилках, так и в зонах околужильных метасоматитов. На юго-западном фланге месторождения прожилками сложено штокерное тело. Количество сульфидов в рудах часто превышает 30%, что сопоставимо с содержанием в рудах эталонных месторождений Восток-2 и Лермонтовское и позволяет относить месторождение Кордонное к сульфидному типу (Гвоздев, 2010). Более подробно результаты исследования скарнов и рудных ассоциаций приведены в работе (Гвоздев, 2013).

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНИТОВ

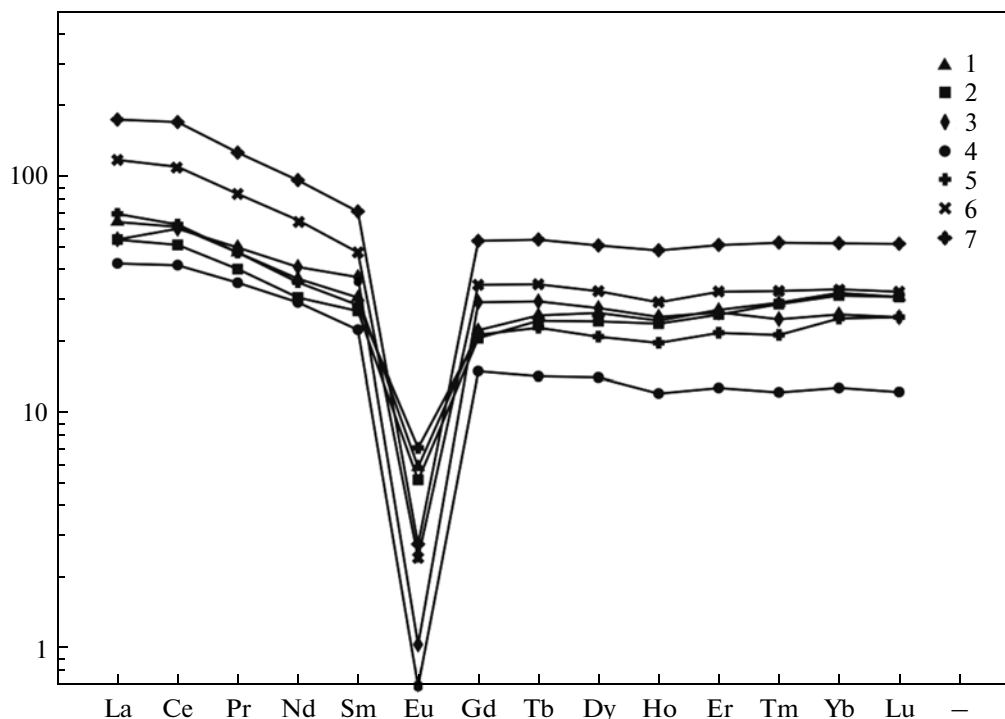
По данным петрографического изучения магматических пород установлены две группы гранитов: первая группа слагает скрытую на глубине интрузию, вторая образует интрузивное тело, обнаженное на поверхности в устье кл. Ладошина и далее переходящее на правый борт р. Малиновка; кроме того, вторая группа представлена в виде даек мощностью до 1 м в северной части площади рудопроявления. Граниты, отнесенные нами к разным группам, различаются по комплексу признаков, в том числе по структурным особенностям: граниты первой группы, как правило, крупно- и среднезернистые, второй – средне- и мелкозернистые, слабо порфиридовидные. И те и другие состоят из кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, биотита. В гранитах первой группы отмечаются также серицит, хлорит, мусковит и непрозрачные рудные минералы. В гранитах второй группы, кроме перечисленных минералов, присутствует амфибол (роговая обманка), который замещается биотитом, и ортит, имеющий в шлифах темную красновато-коричневую окраску.

Таблица

	1	2	3	4	5	6	7	8	9*	10*	11*	12*
	Граниты группы 1							Граниты группы 2				
SiO ₂	73.84	73.81	76.56	77.2	73.73	69.94	67.5	73.25	73.27	74.49	77.85	78
TiO ₂	0.13	0.13	0.06	0.06	0.18	0.45	0.61	0.15	0.27	0.15	0.06	0.04
Al ₂ O ₃	13.69	13.86	12.65	12.28	13.76	13.55	13.91	13.89	13.78	13.39	12.59	12.38
Fe ₂ O ₃	1.3	1.45	1.41	0.98	1.64	4.3	5.47	0.98	2.66	1.64	0.88	1.01
FeO								1.03				
MnO	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.08	0.11	0.05	0.06	0.04	0.02	0.02
MgO	0.38	0.35	0.07	0.06	0.46	1.18	1.59	0.13	0.32	0.16	0.05	0.03
CaO	0.96	0.91	0.11	0.09	1.13	0.7	0.85	1.37	1.41	0.7	0.42	0.34
Na ₂ O	3.16	3.4	3.9	2.95	3.31	2.62	2.46	3.86	4.11	3.77	3.63	3.55
K ₂ O	5.03	4.91	4.57	5.35	4.78	5.6	5.2	4.53	3.93	4.83	5	5.05
п.п.п.	0.95	0.76	0.33	0.6	0.59	1.03	1.81	0.54	0.41	0.48	0.4	0.41
F								0.06				
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.01	0.01	0.07	0.12	0.14		0.07	0.04	0.02	0.01
Сумма	99.52	99.68	99.69	99.58	99.68	99.58	99.65	99.88	100.3	99.69	100.91	100.83
As	66	27	4	12	0	3	8		3	1	3	4
S	810	730	40	1130	1130	930	470		800	100	600	110
Cl	50	40	30	20	70	170	70		170	70	30	70
B								–	4.6	4.4	5.4	11.05
Rb	205	208	213	205	201	193	174	231	185	200	209	200
Sr	103	98	15	41	111	48	55	122	145	96	32	11
Ba	183	152	32	69	221	216	190	298	199	260	100	40
Ni	6	5	6	5	4	9	12	10	2	2	2	4
Co	3	4	2	1	3	6	9	<1	2	2	1	2
Cr	246	248	369	369	85	166	117	–	100	106	124	145
V	25	22	18	16	24	57	75	19	14	10	6	6
Cu	21	28	3	28	43	36	33	12	2	2	3	2
Mo	13.86	18.8	23	20.07	4.3	7.02	5.35	<1.0	47	35	23	15
W	13.23	24.34	25.85	25	9.04	11.39	15.62	0.29	3.21	3.96	3.51	6.69
Sn	4.66	3.79	2.77	7.91	5.74	5.54	7.81	5	<5	<5	<5	<5
Pb	23	27	27	72	33	36	27	23	15	19	31	24
Zn	8	11	26	9	25	58	60	<30	3.21	3.96	3.51	6.69
Ag								–	0.20	0.18	0.16	0.16
Zr	66	67	87	83	79	132	153	463	173	118	152	69
Nb	10	10	19	17	12	19	25	15	17	17	12	15
Y	38	36	37	19	31	56	76	32	24	21	23	24
Th	9	10	23	15	9	19	25	23.84	23	19.36	51.69	27.09
U	7	7	5	3	5	8	8	4.72	3.74	3.78	7.1	5.46
La	15.15	12.74	12.76	10.1	16.38	27.76	41.15	21.25	35.6	22.3	9.62	17.43
Ce	37.31	31.26	36.58	25.63	38.13	67.03	103.68	51.53	77.26	54.61	38.85	38.94
Pr	4.5	3.83	4.73	3.35	4.5	7.98	11.94	4.97	7.99	4.76	3.06	5.02
Nd	17.14	14.25	19.21	13.6	16.55	30.39	44.86	18.26	29.08	17.16	11.28	18.7
Sm	4.67	4.1	5.7	3.41	4.34	7.26	10.82	4.15	5.57	3.37	3.05	4.52
Eu	0.34	0.3	0.06	0.04	0.41	0.14	0.16	0.45	0.63	0.43	0.15	0.09
Gd	4.56	4.22	5.99	3.06	4.36	7.1	10.91	3.66	5.75	3.9	3.19	4.33
Tb	0.96	0.91	1.1	0.53	0.85	1.3	2.01	0.63	0.81	0.55	0.54	0.66
Dy	6.68	6.15	6.99	3.56	5.29	8.25	12.89	4.22	5.05	4.19	4.2	5.02
Ho	1.38	1.34	1.43	0.68	1.11	1.65	2.74	0.82	0.89	0.78	0.87	0.99
Er	4.48	4.28	4.37	2.1	3.58	5.35	8.44	2.76	2.83	2.47	2.95	3.14
Tm	0.74	0.73	0.63	0.31	0.54	0.83	1.33	0.38	0.43	0.39	0.48	0.54
Yb	5.43	5.29	4.4	2.16	4.23	5.63	8.82	2.83	2.85	2.63	3.41	3.96
Lu	0.78	0.78	0.64	0.31	0.64	0.82	1.31	0.46	0.42	0.41	0.56	0.56

Примечание. Определение содержаний элементов выполнено в ЦКП (ПЦЛЭИА) ДВГИ ДВО РАН методами атомной абсорбции, рентгено-спектральной флуоресценции и ISP-MS с индукционно-связанной плазмой (ISP-MS).

* Определение методом РСФА. Железо суммарное. Пропуск в таблице – не определялось, прочерк – ниже предела чувствительности метода.



Фиг. 2. Диаграмма распределения РЗЭ в гранитах первой группы. Номера проб на диаграмме соответствуют номерам анализов в таблице.

Различия в минеральном составе гранитов разных групп отражаются на результатах химического анализа (таблица) и, как нам представляется, фиксируют особенности гранитов. Генетическая самостоятельность выделяемых нами групп гранитов подтверждается различиями их петрохимических характеристик. Граниты первой группы относятся к сильно пересыщенному глиноземом S-типу, граниты второй группы определяются как слабо пересыщенный глиноземом I-тип.

Абсолютный возраст гранитов первой группы, исходя из двух датировок, характеризующих парагенезис биотит–мусковит, соответствует интервалу 102.5 ± 2 млн лет; возраст гранитов второй группы, датированных по породообразующему биотиту, зафиксирован в интервале 88–86 млн лет (К/Аг-метод). Следует отметить, что определения методами U-Pb- и Rb-Sr-изотопного датирования абсолютного возраста гранитов татибинского комплекса (111–98 млн лет), которые пространственно ассоциируют с вольфрамовой минерализацией в пределах Малиновского рудного узла (Аленичева, 2008), вполне сопоставимы с нашими определениями для гранитов первой группы.

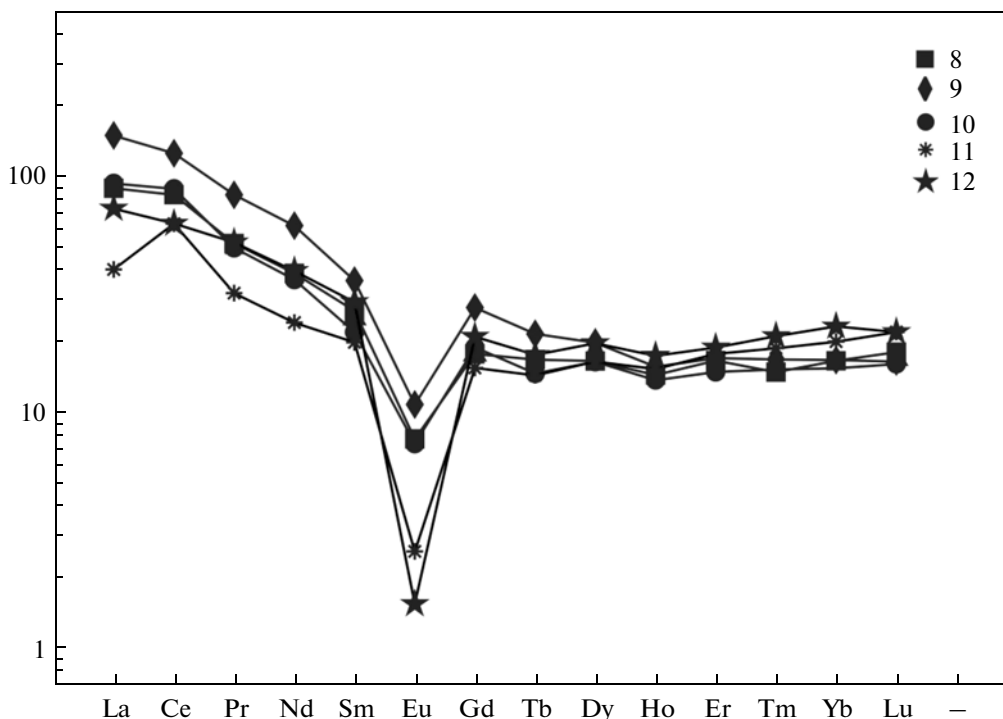
В целом, по совокупности полученных результатов, с учетом данных предшественников, граниты первой группы являются представителями татибинского комплекса, формирование которого обусловлено деятельностью внутрикоровых магматических очагов, при ограниченном участии глу-

бинных флюидов. В схемах геодинамической эволюции региона они фиксируют этап, в котором доминировал режим скольжения литосферных плит (Гвоздев, 2010). Граниты второй группы, вероятнее всего, являются комагматами вулканоплутонического комплекса, широко распространенного на площади месторождения Малиновского рудного узла, с которым связаны крупнообъемные оловянные, полиметаллические, золото-серебряные месторождения (Аленичева и др., 2008, Сахно и др., 2012).

Согласно современным представлениям, характер распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) является индикатором петрогенетических и рудообразующих процессов (Linnen *et. al.*, 2006, Сазонов и др., 2009; Федосеев и др., 2013).

Для количественной оценки содержания редкоземельных элементов и выяснения геохимической специализации разных групп гранитоидов и руд проведен анализ методом ICP-MS с использованием способа химической пробоподготовки, который предполагает полное переведение навески образца в раствор (методика разработана н.с. Н.В. Зарубиной, ДВГИ ДВО РАН).

Распределение РЗЭ для первой и второй групп гранитов (фиг. 2, 3) имеет сходные тренды. Однако при общем сходстве конфигурации трендов для пород первой группы характерно более высокое содержание тяжелых элементов и более выраженный европиевый минимум. Для второй груп-



Фиг. 3. Диаграмма распределения РЗЭ в гранитах второй группы. Номера проб на диаграмме соответствуют номерам анализов в таблице.

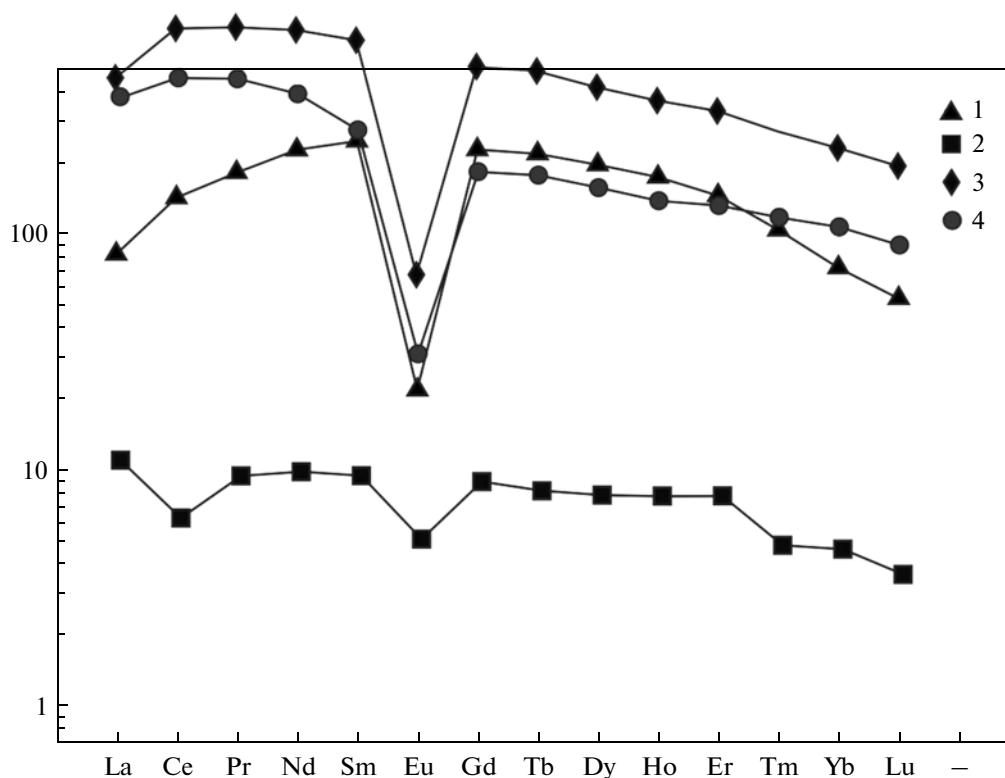
пы гранитов в распределении РЗЭ наблюдается тенденция выравнивания нормированных содержаний (стремление к “равноплечному” тренду) за счет увеличения содержания тяжелых и уменьшения легких РЗЭ при некотором увеличении их суммы, в последовательных интрузивных фазах. Интерпретация диаграммы распределения РЗЭ в шеелитах (фиг. 4) требует дополнительных разъяснений. Судя по взаимоотношениям шеелита с другими минералами, в рудах присутствует несколько его генераций. Наиболее ранняя генерация шеелита сближена с образованием пироксеновых скарнов, следующая ассоциирует с кварцем и апатитом в полевошпатовых метасоматитах и грейзенах; третья кристаллизовалась совместно с сульфидными рудами. Следует отметить, что скарны месторождения представлены двумя типами, которые характеризуются разной металлогенической специализацией – вольфрамовой и полиметаллической. Среди “вольфрамовых” скарнов преобладают пироксеновые (ранние), а гранат-пироксеновые и гранат-волластонит-пироксеновые (поздние) имеют подчиненное распространение (Гвоздев, 2013). На спайдерграмме (фиг. 4) содержания РЗЭ в шеелите ранней скарновой генерации соответствуют нижнему графику, обозначенному цифрой 2, содержания РЗЭ в шеелите поздней скарновой генерации отражены на графике, обозначенном цифрой 1. Полученные данные позволяют заключить, что законо-

мерное изменение концентраций (возрастание содержаний от ранних генераций к поздним) и характер изменчивости распределения редкоземельных элементов в шеелите могут служить индикаторами при выявлении последовательности минералообразования и стадийности в пределах месторождения.

Сопоставление концентраций и характера распределения РЗЭ на спайдерграммах в шеелитах месторождения Кордонное и магматических породах обнаруживает их аналогию (фиг. 2–4), что является одним из признаков генетического родства шеелитов и биотитовых гранитов татибинского комплекса, с которыми ассоциирует вольфрамовая минерализация в регионе.

ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инструментальным исследованиям включений предшествовало тщательное изучение полированных пластин с целью выявления разновременных генераций кварца (вкрапленники и основная масса, внешние и внутренние зоны кристаллов). Особое внимание уделялось вопросу о представительности исследуемых включений, выяснению частоты их встречаемости, типоморфности или экзотичности тех или иных включений, так как информативность и надежность получаемых данных определяется не столько количеством групп изу-



Фиг. 4. Диаграмма распределения РЗЭ в шеелитах. 1, 2 – шеелиты из скарнов, 3 – шеелит из кварцевого прожилка, 4 – шеелит из грейзена.

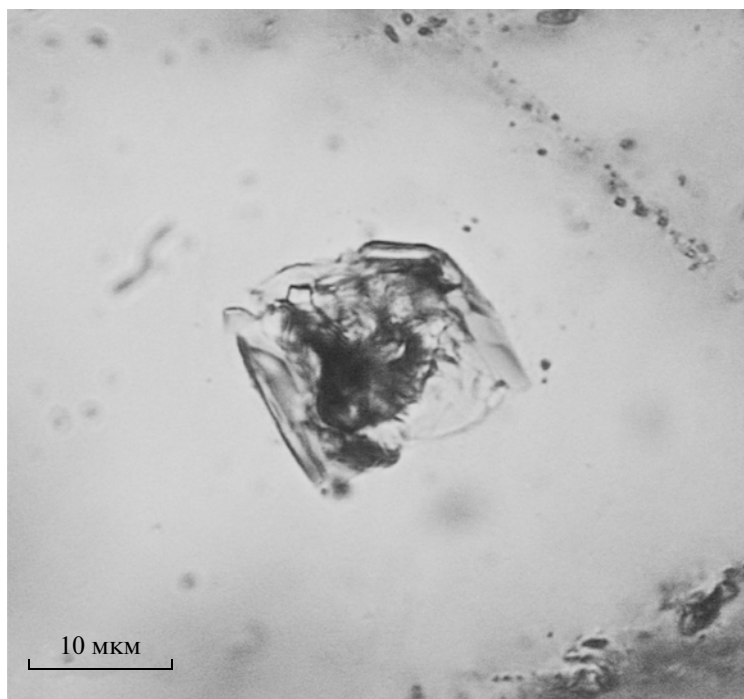
ченных включений, сколько обоснованностью их привязки к определенным эпизодам магматического и гидротермального процессов.

Для металлогенической интерпретации наличие термобарогеохимических характеристик первичных расплавных включений во вкрапленниках гранитов имеет принципиальное значение, так как имеет отношение к решению вопроса о связи (или ее отсутствии) между развитием магматической системы и гидротермальными растворами, формирующими оруденение. Сравнительное изучение включений магматического флюида в кварце гранитов и включений рудоносных растворов в минералах руд является одним из ориентиров при поисках ответа на поставленный вопрос.

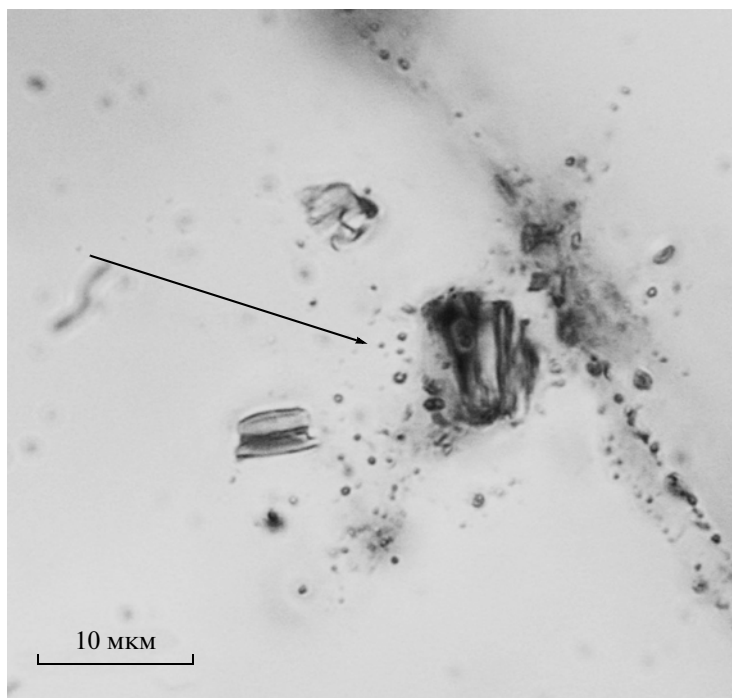
Предыстория магмы, сформировавшей интрузивные породы месторождения Кордонное, может быть восстановлена лишь частично, так как доступными для исследований оказались расплавные включения в гранитах первой группы. В гранитах второй группы, представленных на площади рудного поля, расплавные включения не обнаружены, что может служить косвенным признаком невысокой флюидонасыщенности материнских расплавов.

Минеральные включения во вкрапленниках кварца гранитов обеих групп, судя по форме вы-

делений, весьма разнообразны по составу. В гранитах первой группы определены циркон, полевой шпат, биотит и апатит, второй – биотит, циркон; заметно больше апатита. Вкрапленники кварца в гранитах первой группы содержат многочисленные расплавные (РВ) и флюидные (ФВ) включения. Первичные РВ обычно встречаются в центральной части вкрапленников, единичные (фиг. 5) или небольшими группами; вакуоли имеют в основном округлые формы и состоят из раскристаллизованного силикатного стекла и частично обособленной флюидной фазы, в крупных (до 20 микрон) включениях флюидная фаза, кроме того, отмечается в интерстициях силикатных фаз. Общий объем флюидной фазы занимает до 20–30% объема вакуолей. Следует заметить, что на периферии вкрапленников встречаются группы РВ, которые отличаются от первых формой, способом расположения и состоянием при нормальных условиях. Обычно это группы из нескольких (иногда первых десятков) вакуолей, которые в нормальных условиях состоят из чередующихся полосок силикатной и флюидной фаз и не имеют выраженного флюидного обособления. Иногда они сопровождаются сопутствующими включениями (включениями магматического флюида, ВМФ). Во многих случаях наблюдается разгер-



Фиг. 5. Первичное РВ в центральной части вкрапленника кварца гранитов первой группы.

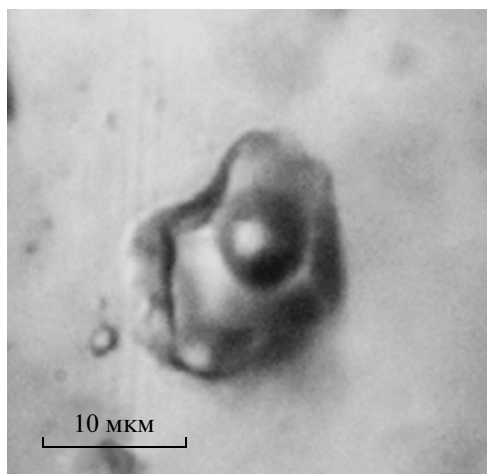


Фиг. 6. Группа взорванных первичных РВ на периферии вкрапленника кварца гранитов первой группы.

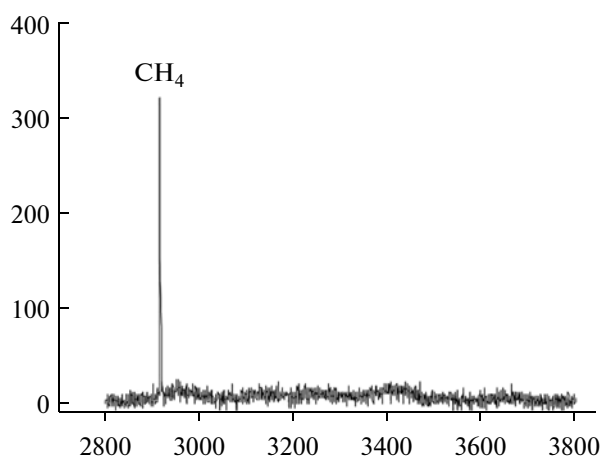
метизация вакуолей с появлением своеобразных “усиков” растрескивания (фиг. 6).

Температуры гомогенизации первичных РВ в кварце гранитов первой группы, соответствующие

началу кристаллизации вкрапленников кварца, при проведении экспериментов без противодействия составляют 750–775°C, давление флюида – около 150 МПа, водосодержание магмы по известной методике (Рейф, 1990) составляет 4.5–5.5 мас. %. По-



Фиг. 7. Флюидное включение в кварце из кварц-шеелитового прожилка.



Фиг. 8. Спектр газовой фазы включения на Раман-спектрометре комбинационного рассеяния LabRam HR 800.

скольку в нашем случае первичные РВ, расположенные в центре вкрапленников кварца, не сопровождаются сопутствующими включениями (ВМФ), определение газов во флюидной части проводилось по дочерним ФВ, образующимся при частичной разгерметизации РВ (Рейф, 2009), что представляется вполне оправданным. В газовой фазе таких включений диагностированы углекислота и примесь метана.

Анализ закаленных стекол РВ (среднее из трех определений) показал присутствие (мас. %): SiO_2 – 74.2; Al_2O_3 – 14.6; Na_2O – 4.18; K_2O – 3.85; сумма – 96.84. Близкие содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O в стеклах закаленных расплавных включений и гранитах первой группы указывают на то, что РВ могут служить достоверными источниками информации о ранних расплавах магматической камеры. Первичные РВ в центральных участках вкрапленников кварца представляют собой об-

разцы гомогенной магмы, достаточно флюидонасыщенной (судя по суммам анализов закаленных стекол РВ и расчету водосодержания). В периферических участках вкрапленников РВ, как правило, взорваны, что свидетельствует о существовании в этот период кристаллизации вкрапленников избыточного давления и гетерогенизации магмы. Присутствие метана в первично-вторичных включениях (ВМФ) гранитов татибинского комплекса и во включениях (ФВ) кварц-шеелитовых прожилков (фиг. 7) свидетельствует о значимой степени участия продуктов магматической дистилляции в метасоматическом и гидротермальном процессах. Наличие метана подтверждено методом Рамановской спектроскопии (фиг. 8) (LabRam HR800, ДВГИ ДВО РАН). Исследованиями физико-химических условий образования вольфрамового месторождения Кордонное показано, что особенности включений могут служить доказательством высокой флюидонасыщенности

рудогенерирующих расплавов, что является одной из теоретических предпосылок генетической связи вольфрамовых месторождений и гранитоидных магм (Баданина, 2008; Рейф, 2009; Abushkevich *et al.*, 2010).

Сопоставление термобарогеохимических характеристик гидротермальных растворов (Федосеев, 2012) и флюидов, сопровождающих формирование гранитов татибинской серии (ВМФ), показало присутствие признаков, указывающих на возможность существования генетической связи вольфрамового оруденения с гранитами первой группы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Критерии оценки месторождения по характеру связи между геологическим объектом и его рудоносностью подразделяются на вещественные (петрографические, минералогические, геохимические), структурные (пространственные), геохронологические (возрастные) и генетические. Критерии могут быть прямыми и косвенными и устанавливаются на основе закономерностей размещения месторождений и рудоконтролирующих факторов (Изох, 1978; Критерии..., 1986).

Граниты, отнесенные нами к разным группам, различаются по комплексу признаков, в том числе по структурным особенностям, минеральному составу и характеру вторичных изменений, а также по химическому составу и петрохимическим характеристикам (граниты татибинского комплекса относятся к сильно пересыщенному глиноземом S-типу, граниты синанчинского комплекса — слабо пересыщенный глиноземом I-тип).

Генетическая связь шеелитового оруденения с татибинским комплексом гранитов подтверждена сходным распределением РЗЭ в магматических породах и шеелитах из рудных прожилков, а также результатами сопоставления термобарогеохимических характеристик рудных растворов и флюидов, сопровождающих формирование гранитов.

Анализ результатов комплексных исследований приводит к выводу о том, что месторождение Кордонное сформировано в значительном временном интервале: с гранитами татибинского комплекса, возрастом 111–98 млн лет, связано шеелит-сульфидное оруденение; граниты синанчинского комплекса (возраст 88–86 млн лет) являются представителями более позднего магматизма Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, с которым связаны оловянные, полиметаллические, золото-серебряные месторождения. Участие в формировании РМС месторождения Кордонное разновозрастных магматических комплексов, материнские расплавы кото-

рых генерировали разнометальное оруденение, отражает его полихронность и полигенность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 12-05-31372 мол а, ДВО №12- III -А-08-146; 14-III-В-08-172; 14-III-В-08-189).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аленичева А.А., Сахно В.Г., Салтыкова Т.Е. U-Pb и Rb-Sr-изотопное датирование гранитоидов татибинской серии плутонического пояса Центрального Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 2008. Т 420. № 1. С 70–75.
- Баданина Е.В. Первые данные о содержании вольфрама в высокоспециализированных гранитоидных расплавах по данным изучения расплавных включений в кварце // Вопросы геохимии и типоморфизм минералов. СПбГУ. 2008. Вып. 6. С. 42–49.
- Барabanов В.Ф. Минералогия вольфрамитовых месторождений Восточного Забайкалья. Т. 2. Л.: Ленингр. ун-та, 1975.
- Белянский Г.С., Углова Н.И. Геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000, издание 2, серия Южно-Сихотэ-Алинская, лист L5327.
- Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток, Дальнаука, 2010.
- Гвоздев В.И., Федосеев Д.Г. Скарны вольфрамового месторождения Кордонное (Приморский край). Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 2. С. 100–111.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006.
- Изох Э.П. Оценка рудоносности гранитоидных формаций в целях прогнозирования. М.: Недра, 1978.
- Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Рундквиста Д.В. Л.: Недра, 1986.
- Рейф Ф.Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. М.: Наука, 1990.
- Рейф Ф.Г. Условия и механизмы формирования гранитных рудно-магматических систем. М.: ИМГРЭ, 2009.
- Рундквист Д.В., Денисенко В.К. Региональные и локальные закономерности размещения грейзеновых оловянно-вольфрамовых месторождений. Вып. 2. Л.: ВСЕГЕИ, 1970.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. Поведение РЗЭ в низко-среднетемпературном гидротермальном процессе и их индикаторная роль на примере метасоматических колонок, дифференцированных по составу эдуктов // Литосфера. 2009. № 4. С. 51–65.
- Сахно В.Г., Гвоздев В.И., Аленичева А.А., Прасолов Э.М., Зарубина Н.В. Гранитоидный магматизм вольфрамовых рудно-магматических систем Лермонтовская и Восток-2: U-Pb (SHRIMP) датирование, изотопная характеристика (³He/⁴He) руд // Докл. РАН. 2012. Т. 443. № 1. С. 84–91.

Федосеев Д.Г., Пахомова В.А., Гвоздев В.И. Флюидные включения в минералах рудных ассоциаций месторождения Кордонное // XV Всероссийская конф. по термобарогеохимии. Москва, 2012. С. 86–87.

Федосеев Д.Г., Гвоздев В.И., Остапенко Д.С., Зарубина Н.В., Степанов О.В., Тишкина В.Б., Буравлева С.Ю. Редкоземельные элементы в магматических породах и рудах скарнового шеелит-сульфидного месторождения Кордонное (Приморский край). Третья Российская молодежная Школа с международным участием. “Новое в познании процессов рудообразования”. Москва: ИГЕМ РАН, 2013. С. 238–241.

Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока Рос-

сии // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.

Щеглов А.Д., Буткевич Т. В. Месторождения вольфрама // Рудные месторождения СССР. Т. 3. М.: Недра, 1974. С. 170–214.

Abushkevich V.S., Badanina E.V., Syritso L.F. Wolframite and cassiterite: age of forming and isotope characteristics Sr and Nd. The 20-th general meeting of the International Mineralogical Association. 2010. Budapest, Hungary. P. 419.

Linnen R. L., Cuney M. Granite-related rare-element deposits and experimental constraints on Ta–Nb–W–Sn–Zr–Hf mineralization // Rare-element geochemistry and mineral deposits. Montreal: Geological association of Canada Short course notes, 2006. V. 18. P. 45–68.