



ДМИТРИЕВСКАЯ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев, Е. М. Табакаева

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В. М. Шукшина, Бийск, Россия

Приведены данные по петрогеохимии, петрологии дайковых образований и вольфрамовому оруденению Дмитриевского рудного поля, приуроченного к краевой магмо- и рудоподводящей части Белокурихинского плутона. Дайки представлены гранит-порфирами двуслюдяными, лейкогранитами двуслюдяными, лейкогранитами умеренно-щелочными мусковитовыми, аплитами. Они относятся к пералюминиевому и магнезиальному типам. В глубинном очаге при формировании даек происходило смешение шoshонитового и адакитового родоначальных источников. Пневматолит-гидротермальные процессы формировали кварцево-грейзеновые и фельдшпатолитовые месторождения и проявления вольфрамового состава. В рудах отмечены шеелит, вольфрамит двух генераций, халькопирит, пирит, галенит, сфалерит, турмалин, флюорит, мусковит, олигоклаз, ортоклаз. В строении Дмитриевской магмо-рудно-метасоматической системы выявлена вертикальная зональность стадийного типа, подчеркиваемая сменой минеральных парагенезисов, составом элементов-примесей в минералах. Зональность оруденения и околорудных метасоматитов обусловлена изменением во времени и пространстве состава флюидов и летучих компонентов.

Ключевые слова: дайки, гранит-порфиры двуслюдяные, лейкограниты двуслюдяные, лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые, аплиты, кварцевые жилы, грейзены, фельдшпатолиты, вольфрамит, шеелит.

DMITRIEVSKAYA MAGMA-ORE-METASOMATIC SYSTEM OF THE NORTHERN PART OF GORNY ALTAI

A. I. Gusev, E. M. Tabakaeva

V.M.Shukshin Altai State Humanitarian-Pedagogical University, Biysk, Russia

The data on petrogeochemistry, petrology of dike formations and tungsten mineralization of the Dmitrievskoye ore field confined to the marginal magmatic and mineralizing part of the Belokurikha pluton. Dikes are represented by granite-porphyry two-mica, leucogranites two-mica, leucogranites moderately alkaline muscovite, and aplite. They belong to the peraluminium and magnesia types. In the deep focus, a mixture of shoshonite and adakite parent sources took place during the dike formation. Pneumatolite-hydrothermal processes formed quartz-greisen and feldspatholite deposits and manifestations of tungsten composition. Scheelite, wolframite of two generations, chalcopyrite, pyrite, galena, sphalerite, tourmaline, fluorite, muscovite, oligoclase, and orthoclase were observed in the ores. In the structure of the Dmitrievskaya that system the stage-type vertical zonation underlined by the change of mineral parageneses and composition of impurity elements in minerals was revealed. The zoning of mineralization and circum-ore metasomatites is caused by temporal and spacial changes in the composition of fluids and volatile components.

Keywords: dikes, granite-porphyry two-mica, leucogranites two-mica, leucogranites moderately alkaline muscovite, aplite, quartz reef, greisen, feldspatholite, wolframite, scheelite.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-3-65-75

Магмо-рудно-метасоматические системы (МРМС) играют важную роль в формировании различных геолого-промышленных типов эндогенного оруденения (Au, W, Mo, Cu, Sn, Be, Pb, Zn и других металлов) [7, 13]. В зарубежной литературе эти системы часто называются магматогенно связанными [9].

Подвляющая часть МРМС Белокурихинского плутона приурочена к малым интрузиям. Отличительная особенность Дмитриевской МРМС – пространственно-парагенетическая связь с дайками кислого состава.

Дмитриевская МРМС объединяется в металлогенический таксон, отвечающий рудному полю и включающий гранодиориты усть-беловского комплекса Макарьевского ареала возрастом 353 млн лет, ряд даек гранитов, аплитов и лейко-

гранитов белокурихинского комплекса, связанные с ними месторождения и проявления вольфрама и молибдена, а также сопровождающие их метасоматиты (грейзены, кварциты, фельдшпатолиты) (рис. 1).

Дайковые образования Дмитриевской МРМС

Магматиты Макарьевского ареала описаны нами ранее [4]. Кратко охарактеризуем дайки Дмитриевской МРМС.

Дайки гранит-порфиров двуслюдяных имеют мощности от 0,5 до 2,8 м, падение 310–320°. Это среднезернистые породы, светло-серой окраски, местами с розоватым оттенком. Структура порфировая, а основной ткани – гипидиоморфнозернистая, редко – микропегматитовая. Состав (%): кварц (30–34), микроклин (28–40), плагиоклаз (20–22), биотит (5–7),

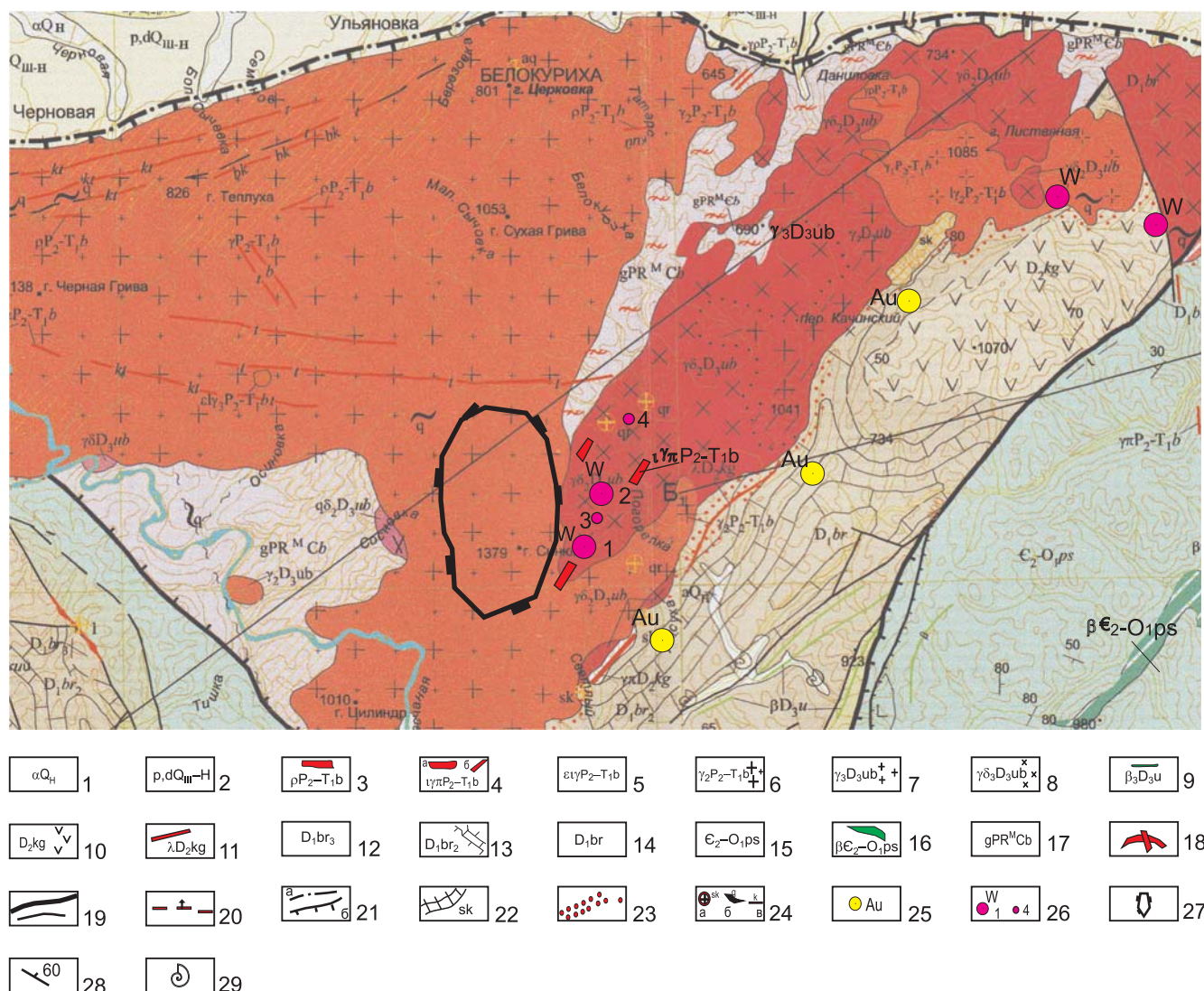


Рис. 1. Схематическая карта полезных ископаемых Белокурихинского плутона по В. А. Кривчикову с добавлениями авторов

1 – аллювиальные отложения пойм; 2 – пролювиальные и делювиальные отложения; белокурихинский комплекс: 3 – дайки аплитов; 4 – интрузии (а) и дайки (б) лейкогранит-порфиров; 5 – умеренно-щелочные лейкограниты биотитовые и двуслюдяные третьей фазы; 6 – граниты порфировидные главной (второй) фазы; магматиты Макарьевского ареала: 7 – гранодиориты третьей фазы; 8 – диориты, кварцевые диориты второй фазы; 9 – дайки долеритов, габбро-долеритов урскульского комплекса; 10 – лавы андезитов, андезибазальтов, базальтов, дацитов, риолитов, туфов и туфолав среднего и кислого составов куяганской свиты; барагашская свита: 11 – дайки риолитов, гранит-порфиров куяганского комплекса; 12 – песчаники, алевролиты, известняки верхней подсвиты; 13 – известняки биогермные средней подсвиты; 14 – пестроцветные песчаники, алевролиты, известняки, гравелиты, конгломераты нижней подсвиты; песчанский комплекс: 15 – пестроцветные песчаники, алевролиты, филлиты, туфиты, конгломераты нижнеанской толщ; 16 – силлы долеритов; 17 – гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты белокурихинского полиметаморфического комплекса эпидот-амфиболитовой фации; 18 – участки мигматизации гнейсов и амфиболитов белокурихинского метаморфического комплекса; тектонические нарушения: 19 – сбросы, взбросы, сдвиги; 20 – нерасчлененные тектониты; 21 – надвиги: а – под покровом четвертичных образований? б – в коренном залегании; 22 – скары; 23 – роговики; 24 – внемасштабные метасоматиты и гидротермалиты: а – скары, б – кварцевые жилы, в – кварциты; 25 – проявления золота; 26 – месторождения (1 – Верхнебелокурихинское, 2 – Дмитриевское) и проявления (3 – Дрезговитное, 4 – Лог Медвежий) вольфрама и их номера; 27 – контур корневой подводящей зоны Белокурихинского плутона; 28 – элементы залегания пород; 29 – места находок фауны

мусковит (3–6); аксессуарные минералы – магнетит, апатит, циркон, редко сфен, турмалин. Во вкрапленниках присутствуют микроклин и плагиоклаз. Последний имеет размеры 0,5–0,8 см. Он зонален: в ядре интрателлурических выделений кристаллизовался олигоклаз (№ 24–25) до андезина (№ 31), а по периферии – альбит. Биотит встречается в виде

чешуек и листочков и относится к маложелезистой разности ($f = 38–41$), по периферии нередко окружен хлоритом и мусковитом. Плагиоклаз в виде призматических выделений нередко отмечается внутри порфировых индивидов микроклина.

Дайки лейкогранитов двуслюдяных имеют мощности от 1 до 3 м. Они массивные, изредка



с миаролами от 1 до 3 см в поперечнике. Это светло-серые иногда с розоватым оттенком породы. Структура их гипидиоморфнозернистая, местами – аплитовидная. Состав (%): кварц 34–40, микроклин 27–41, плагиоклаз 10–14, биотит и мусковит 1–4. Плагиоклаз образует идиоморфные призматические выделения, кварц и микроклин ксеноморфны. Микроклин чаще нерешетчатый и редко имеет решетчатую микроструктуру. Плагиоклаз зонален. В ядре определяется как андезин (№ 33–37), а в периферических каемках – как альбит-олигоклаз. Ядерная зона плагиоклаза часто замещается агрегатом пелита, хлорита, серицита, кварца. Чешуйчатый и листоватый биотит содержит включения аксессуариев (магнетита, апатита, циркона, сфена, турмалина). Мусковит кристаллизовался позднее биотита. Он образует самостоятельные выделения и корродировывает биотит.

Аплиты – мелкокристаллические породы, белые с розоватым оттенком, близкие по составу к умеренно-щелочным лейкогранитам, отличаясь от них почти полным отсутствием темноцветных минералов. Микроструктура аплитовая. Текстура массивная. Состав (%): кварц 40–42, микроклин 30–35, плагиоклаз 20–23, биотит 1–2; аксессуарные – апатит, циркон, ортит, ильменит, титанит. В аплитах максимальный коэффициент глиноземистости $al = 8,3–8,8$. Заметно выражена отрицательная аномалия по европию ($Eu/Eu^* = 0,06$).

Состав даек гранитов, лейкогранитов и аплитов представлен в табл. 1.

По главным компонентам химического состава SiO_2 , (Na_2O+K_2O) породные типы даек относятся

к подотряду умеренно-щелочных, семейству умеренно-щелочных лейкогранитов, а аплит – к ультракислым умеренно-щелочным гранитам по [6].

Все породные типы даек имеют низкие отношения U/Th , не превышающие 1. Отношения Eu/Eu^* сильно варьируют – от 0,04 до 0,65, но во всех случаях менее хондритовых.

На петрохимических диаграммах фигуративные точки составов даек попадают в поля пералюминиевых и магнезиальных типов (рис. 2).

На спайдер-диаграмме отчетливо просматривается негативная аномалия по европию и в некоторых породных типах – слабо выпуклые кривые распределения РЗЭ, свидетельствующие о наличии в них тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) лантанидов М-типа (рис. 3). Значения ТЭФ РЗЭ М-типа варьируют от 1,12 до 1,25 (значимые величины превышают пороговое значение 1,1) в двуслюдяных лейкогранитах и лейкогранитах умеренно-щелочных мусковитовых (см. табл. 1). При этом отмечается положительная корреляция концентраций W и значений ТЭФ РЗЭ. Известно, что проявление ТЭФ РЗЭ М-типа в высокоэволюционированных гранитных системах связано с высоководными, обогащенными летучими компонентами флюидами, и в первую очередь с фтором, бором, углекислотой, фосфором, хлором. Не случайна корреляция ТЭФ РЗЭ М-типа и концентраций W , так как последний переносится магматогенными флюидами, содержащими фтор-комплексы. Действительно, на диаграмме $W - TE_{1,3}$ наблюдается тренд увеличения концентраций W в породах с увеличением величин ТЭФ РЗЭ М-типа (рис. 4).

Таблица 1

Представительные анализы даек Дмитриевской МРМС (оксиды в мас. %, элементы – в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	72,5	74,1	74,0	74,1	74,8	76,4	75,1	76,2	79,6
TiO_2	0,23	0,18	0,17	0,18	0,13	0,07	0,07	0,07	0,03
Al_2O_3	13,7	13,71	13,73	13,3	13,4	13,1	13,3	12,7	12,4
Fe_2O_3	0,75	0,7	0,73	0,95	0,75	0,52	0,51	1,02	0,27
FeO	1,3	1,2	1,25	0,66	0,6	0,33	0,39	0,03	0,15
MnO	0,05	0,08	0,07	0,08	0,06	0,04	0,04	0,14	0,01
MgO	0,41	0,3	0,28	0,45	0,34	0,21	0,24	0,4	0,05
CaO	0,9	0,83	0,81	0,55	0,6	0,3	0,35	3,03	0,34
Na_2O	2,8	3,3	3,2	4,6	3,95	4,28	4,3	5,54	2,9
K_2O	4,9	4,65	4,61	4,55	4,87	4,2	4,3	3,4	4,0
P_2O_5	0,09	0,1	0,11	0,05	0,2	0,03	0,03	0,4	0,2
Сумма	99,7	99,8	99,8	99,8	99,7	100,01	100,0	99,95	100,0
Mo	1,2	1,1	1,2	1,1	2,8	2,5	2,7	2,5	1,6
Be	6,5	5,7	5,5	1,7	0,6	1,0	1,5	1,4	1,8
V	11,7	9,5	9,2	9,1	9,8	9,2	9,1	9,0	5,1
Cr	12,6	10,5	11,5	9,8	9,3	9,5	9,2	8,7	3,5
Ga	23,2	23,3	23,6	22,2	23,6	23,7	23,9	23,3	28,9
Rb	297	301	312	140	172	165	174	182	415
Sr	143	82	95	205	8,5	10,1	15,1	16,5	90
Y	20,5	16,2	16,1	10,8	19,2	11,3	11,1	10,9	20



Окончание табл. 1

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zr	45	35	38	225	215	195	197	201	104
Nb	22	24	23	62,2	77	68,5	66,5	62,7	46,5
Cs	16,1	19,1	19,0	3,8	2,1	2,5	2,6	2,2	5,1
Ba	375	310	313	250	35	45	55	48	25
Th	23,5	8,9	9,2	9,0	47	35	34	31	13
U	9,7	3,9	3,7	4,3	4,1	5,2	5,7	5,5	12
Ag	1,3	1	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1,3	1,2
Co	5,0	4,87	4,85	1,43	2,89	1,9	1,95	1,5	1,3
Ni	7,0	7,1	7,12	3,3	4,18	3,8	3,5	3,3	2,0
Zn	67,9	70,1	65,1	34,7	9,19	10,5	13,5	14,1	12,1
Pb	40,2	34,5	35,1	13,7	7,48	7,3	9,3	8,7	7,8
Li	141	167	172	122	48,3	49,9	49,3	50,7	13,8
Sc	3,1	2,72	2,8	3,49	2,4	2,5	2,5	2,3	1,5
Ge	1,6	1,1	1,2	1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6
Cu	14,6	13,7	14,5	6,92	16,6	15,1	17,1	16,9	12,7
Hf	7,5	7,3	7,2	7,8	4,5	5,1	5,3	5,2	5,4
Ta	2,9	5,4	5,5	5,5	4,8	4,5	4,6	4,4	19,0
W	4,2	3,9	30,5	34,3	34,1	4,0	4,3	45,5	3,1
Sn	8,1	7,3	7,1	7,4	10,2	8,5	8,3	9,1	7,2
La	38,0	27,8	28,1	3,08	5,64	4,5	4,0	4,35	7,3
Ce	96,5	60,1	58,1	6,73	15,2	7,1	10,1	8,51	17,5
Pr	7,1	6,8	6,9	0,93	1,87	1,05	1,0	1,02	1,2
Nd	34,1	25,4	23,4	3,15	7,11	4,1	4,2	3,66	11,6
Sm	6,4	4,61	4,6	1,11	2,25	1,8	1,9	0,81	3,5
Eu	0,7	0,49	0,45	0,06	0,03	0,12	0,13	0,08	0,08
Gd	4,7	3,89	3,8	1,24	2,17	1,5	1,9	0,73	4,8
Tb	0,9	0,55	0,65	0,27	0,46	0,35	0,3	0,35	1,1
Dy	3,2	3,01	3,1	1,77	2,87	2,05	2,1	0,94	3,2
Ho	0,8	0,51	0,5	0,32	0,61	0,5	0,7	0,26	0,7
Er	1,5	1,48	1,42	0,98	1,88	1,2	1,2	0,63	1,2
Tm	0,3	0,22	0,23	0,16	0,34	0,2	0,2	0,14	0,3
Yb	1,9	1,5	1,4	1,37	1,43	1,41	1,5	1,2	6,4
Lu	0,24	0,2	0,21	0,21	0,38	0,28	0,25	0,19	1,3
Au	0,005	0,0036	0,0032	<0,002	<0,002	<0,002	0,003	0,002	0,002
Ag	0,95	0,28	0,05	0,043	0,086	0,075	0,03	0,076	0,15
Sb	0,15	0,11	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,011	<0,1	<0,1
ΣREE	216,84	152,76	148,32	32,18	61,44	37,46	40,58	32,47	80,18
TE _{1,3}	0,99	1,04	1,12	1,16	1,15	0,98	0,93	1,25	0,91
U/Th	0,41	0,44	0,4	0,48	0,09	0,15	0,17	0,18	0,92
Nb/La	0,58	0,89	0,82	20,2	13,6	15,2	16,6	12,3	10,5
Eu/Eu*	0,38	0,35	0,32	0,16	0,04	0,65	0,21	0,31	0,06

Примечания. Дайки: 1 – гранит-порфир двуслюдяной; лейкограниты: 2–3 – двуслюдяные, 4–8 – умеренно-щелочные мусковитовые; 9 – аплит. Анализы выполнены в лаборатории ИМГРЭ (Москва) методами ICP-MS и ICP-AES. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, рассчитанный как среднее между первой и третьей тетрадами по [11]. Нормализация элементов относительно хондритов по [8].

В целом состав даек обнаруживает близость к шошонитовым разностям и к высококалиевым адакитовым гранитоидам (низкие концентрации Y, Yb), что указывает на возможное смешение различных родоначальных источников в глубинном очаге. Такое смешение и совмещение шошонитовых и адакитовых гранитоидов предполагалось

нами ранее для подобных магматических ареалов северной части Горного Алтая (Айский, Точильный ареалы) [2].

Оруденение Дмитриевской МРМС

Оруденение исследуемого металлогенического таксона включает грейзеновые месторождения

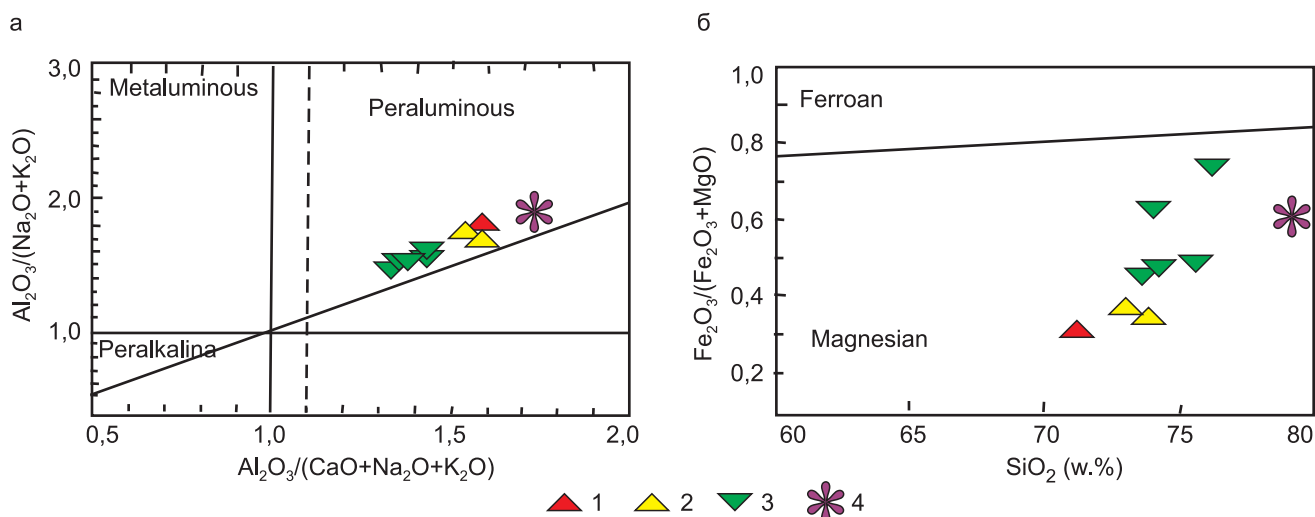


Рис. 2. Диаграммы $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (а) по [12] и $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}) - \text{SiO}_2$ (б) по [14] для дайковых образований Дмитриевской МРМС

1 – гранит-порфир двуслюдяной; 2 – двуслюдяные лейкограниты; 3 – лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые; 4 – аплит

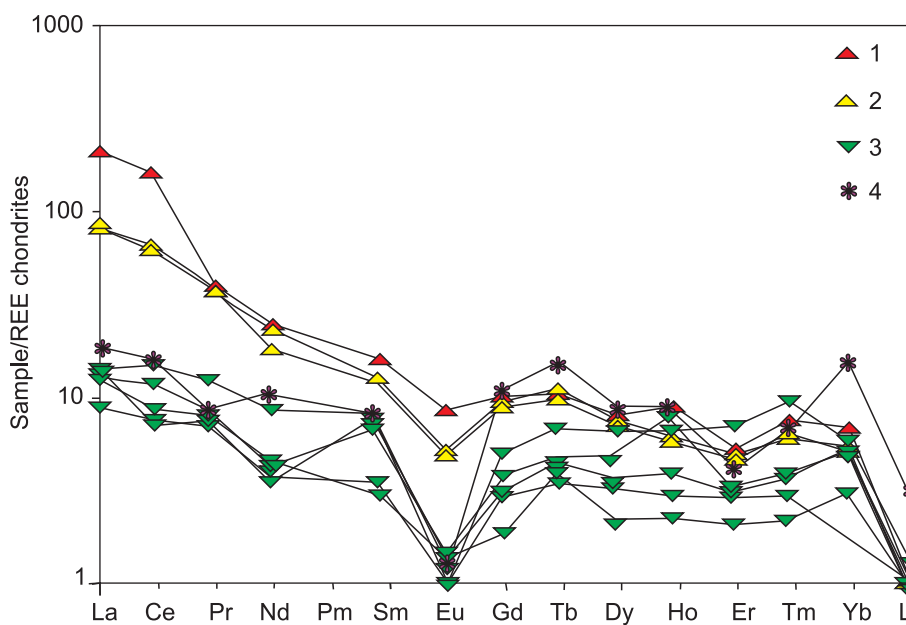


Рис. 3. Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ в породах даек.

Усл. обозн. см. на рис. 2

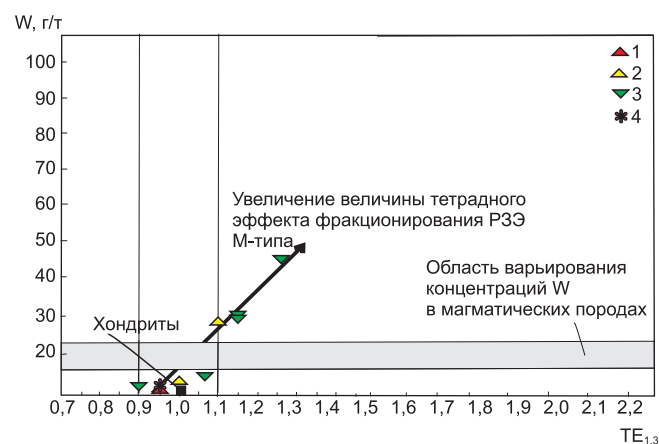


Рис. 4. Диаграмма $W - TE_{1,3}$ по [3] для породных типов дайковых образований Дмитриевского рудного поля

$TE_{1,3}$ – ТЭФ РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [11]. Серая область на диаграмме выделена на основании средних содержаний вольфрама в изверженных породах по [1]. Содержания вольфрама в хондритах по [15]. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2

(Верхнебелокучинское, Дмитриевское) и проявления (Дрезговитное, Лог Медвежий).

Верхнебелокучинское вольфрамовое месторождение находится в верховьях р. Большая Белокучиха, в истоках ее правых притоков ручьев

№ 6–8, в 2,5–3 км к юго-западу от Дмитриевского месторождения. Открыто в 1951 г. и разведано Дмитриевской партией Западно-Сибирского геологического управления. Месторождение приурочено к Осиновско-Дмитриевской тектонической зоне,

представлено одиннадцатью субширотными кварцевыми жилами среди полос грейзенизированных гранодиоритов усть-беловского комплекса и мелкими субпараллельными, быстро выклинивающимися прожилками. Простираение жил 250–310°, падение на север под углами 45–80°. По простиранию жилы прослежены от 10 до 340 м при мощности от 0,04 до 0,40 м, а с учетом сопровождающих жилы грейзенов – до 2,25 м. Ведущий рудный минерал – вольфрамит, вокруг которого узкими каймами развивается шеелит. Из других рудных минералов встречаются пирит, халькопирит; реже галенит, сфалерит; из жильных – флюорит, серицит, редко турмалин. Аналогичная минерализация, но очень убогая устанавливается и среди полос грейзенизированных пород, в которых, кроме того, найдены единичные зерна золота. Вольфрамит в грейзенах образует вкрапленность и гнезда размерами до 1×1,5 см. Он часто ассоциирует с шеелитом, который кристаллизовался позже вольфрамит. Шеелит образует каемки вокруг вольфрамитов шириной 0,05–1 мм. Чаще же формирует тонкие субпараллельные прожилки, приуроченные к плоскостям спайности. Изредка отмечаются прожилки шеелита в вольфрамите мощностью 1–2 мм. В наиболее мощных прожилках наблюдаются таблитчатые и октаэдрические правильные кристаллики вольфрамит. Местами вольфрамит в грейзенах ассоциирует с пиритом, халькопиритом.

Вследствие низких содержаний триоксида вольфрама большинство жил практического интереса не представляют. Достаточно высокие содержания установлены в трех жилах (№ 2, 8, 10).

Жила № 2 прослежена выработками по простиранию на 370 м. Ее мощность на этом интервале меняется от первых до 30–40 см. Весьма характерно выклинивание, линзование и ветвление как по простиранию, так и по падению. Вольфрамовое оруденение характеризуется ярко выраженным гнездовым распределением. В кварце помимо вольфрамитов и шеелитов редко встречаются галенит, сфалерит, халькопирит, азурит и ковеллин. В жилах, и особенно в грейзеновых оторочках, постоянно присутствует окисленный пирит. В интервале 227 м средняя мощность жил с учетом оруденелых грейзенов, составляет 0,40 м, среднее содержание триоксида вольфрама – 0,35 %. В результате химического анализа жильного кварца с вкрапленностью пирита, флюорита и мелкочешуйчатой слюдки из канавы № 1060 установлено содержание золота 0,8 г/т, серебра 37,2 г/т; триоксида вольфрама 0,1 %. В штуфной пробе из жилы № 2 (кварц с пиритом, галенитом и халькопиритом) содержание золота 2,3 г/т, серебра 45,7 г/т.

Описание остальных жил приведено в [5].

В штуфных пробах из кварцевых жил с вкрапленностью вольфрамитов и лимонита установлены промышленные концентрации вольфрама (от 0,1 до 1 % и более), бериллия (0,001–0,1 %), золота

(0,1–6 г/т) и повышенные концентрации серебра (до 25 г/т), а также литий (до 0,025 %) и мышьяк (до 0,035 %). Максимальное содержание золота (6 г/т) в жиле № 10. Кварц в этой жиле образует три генерации. Кварц 1-й генерации гетерогранобластовый, имеет «запыленный» вид с гнездами и скоплениями мусковита (размерами до 0,5–1 см), вкрапленность и гнезда вольфрамитов 1-й генерации. Кварц 2-й генерации, мелкокристаллический, прозрачный, содержит вкрапленность пирита, вольфрамитов 2-й генерации, галенита, сфалерита, халькопирита и арсенопирита размерами до 3 мм. Кварц 3-й генерации представлен прожилками стебельчатой разновидности с вкрапленностью лимонитизированного пирита, флюорита. Вольфрамит 1-й генерации по составу элементов-примесей можно отнести к высокоскандиевому типу и низкоредкоземельному, а 2-й – к высокоредкоземельному и низкоскандиевому (табл. 2). В нем также отмечены повышенные концентрации урана. Генерации вольфрамитов различаются и по характеру проявления ТЭФ РЗЭ: в ранней проявлен W-тип ТЭФ РЗЭ, а в поздней – М-тип (см. табл. 2), что свидетельствует о разном составе и активности летучих компонентов в пневматолито-гидротермальном процессе.

В измененных вмещающих породах содержания вольфрама до 1 %, бериллия до 0,05 %, золота до 0,2 г/т, серебра до 20 г/т, лития до 0,06 %, мышьяка до 0,08 %. Запасы триоксида вольфрама категории C_1 по трем описанным жилам составляют 63,3 т при средней концентрации 0,24 %, а прогнозные ресурсы категории P_1 по 11 жилам – 6300 т, включая запасы категории C_1 .

Дмитриевское месторождение находится в верховьях р. Белокуриха, в бассейне ее правых притоков – ручьев Дмитриевский и Дрезговитный. Месторождение открыто в 1943 г. Ю. А. Спейтом в виде кварц-полевошпатовых свалов с вольфрамитом. Дальнейшая история разведки месторождения приведена в работе [5].

Месторождение локализовано среди гнейсогранодиоритов усть-беловского комплекса, в которых проявлены две крупные зоны широтного простирания, насыщенные кварц-полевошпатовыми жилами и прожилками того же состава, что и зоны субширотного простирания при крутом падении на север. Мощность жил колеблется от 0,05 до 1,15 м (в среднем 0,6 м). Наиболее мощные жилы содержат реликты грейзенизированных гранодиоритов. Характерны полосчатые жилы, представляющие собой чередование полосок, сложенных полевошпатовым материалом, и тонких (иногда нитевидных) полосок серого кварца, что создает своеобразный «бурундучный» текстурный рисунок. Полевошпатовая матрица представляет собой фельдшпатолит, сложенный преимущественно плагиоклазом (олигоклаз № 15–22) в виде идиоморфных выделений размерами до 2 мм. Иногда отмечаются порфириобласты плагиоклаза зонального строения



Таблица 2

Содержание элементов-примесей в минералах Верхнебелокурихинского месторождения (г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	42,6	14,8	64,1	72,3	11,3	7,9	5,0	102	77,3
Cr	12,7	11,1	24,1	23,5	9,6	4,5	0,9	4,3	34,1
Co	5,1	14,9	7,7	8,3	8,5	5,7	1,4	9,1	20,6
Ni	7,3	7,2	10,8	11,5	3,8	3,2	2,5	8,7	5,3
Cu	67,5	—	289	295	35,8	7,4	5,9	15,1	54,7
Zn	101	985	256	240	145	15,7	14,9	40,1	135
Rb	8,8	3,5	8,0	6,6	2,8	15,8	1350	5,6	1754
Sr	78	12,8	71,5	65,1	6,8	8,4	77,2	96,1	364
Nb	44,6	22,8	54,9	55,3	1,9	3,5	15,6	2,9	49,1
Cs	8,1	3,3	4,5	3,6	1,5	1,95	56,9	0,4	54,6
Ba	31,5	16,6	270	237	4,8	23,7	1130	5,6	230
Pb	103	12,2	2390	1240	—	9,5	5,8	16,1	13,2
Th	11,3	1,3	3,99	11	0,7	0,5	0,5	4,2	1,5
La	6,9	11,3	5,7	3,9	2,4	1,8	1,6	10,1	2,6
Ce	17,1	23,7	28,9	9,3	5,2	3,0	5,6	25,3	8,3
Pr	3,4	2,7	0,81	1,1	0,7	0,45	0,2	1,6	0,41
Nd	8,5	12,7	2,9	5,9	2,2	2,45	2,6	5,3	2,5
Sm	7,1	13,6	1,2	2,1	1,03	0,41	0,6	0,7	0,6
Eu	0,35	2,1	0,26	0,15	0,23	0,016	0,1	0,12	0,05
Gd	8,1	10,8	3,75	2,9	0,35	0,55	1,3	1,4	0,9
Tb	0,6	0,5	1,45	0,5	0,06	0,04	0,7	0,73	0,76
Dy	3,7	7,5	15,0	3,5	0,5	0,35	1,6	1,5	1,9
Ho	0,9	0,9	3,7	0,4	0,05	0,05	0,5	0,15	0,16
Er	3,9	1,0	11,4	1,25	0,3	0,6	0,9	1,48	0,34
Tm	0,4	0,5	2,1	0,22	0,046	0,2	0,12	0,09	0,12
Yb	2,9	4,7	25,2	21,7	0,11	2,3	1,8	1,85	1,0
Lu	0,3	0,5	3,0	0,2	0,009	0,03	0,2	0,15	0,2
Y	41,8	33,8	67,4	37,8	8,9	11,7	9,7	7,9	7,8
Ga	6,9	8,3	5,3	2,5	3,6	1,3	77,7	54,5	176
Zr	23,2	22,3	20,1	31,2	23,4	5,2	8,7	0,9	222
Sc	66,1	69,1	288	496,3	55,8	47,4	0,2	10,1	13,1
Hf	3,8	4,1	2,3	1,6	0,9	0,8	0,15	0,2	6,7
Ta	1,9	1,8	2,1	1,9	0,2	0,15	0,7	1,3	91,1
Mo	115	116	10,5	30	2,3	4,2	5,7	7,3	10
Sb	5,2	6,1	5,8	6,7	6,2	0,25	0,5	4,8	20
Sn	44,4	48,2	54,8	45,3	45,9	0,66	14,8	31,2	1,3
Be	5,4	5,1	4,8	22,1	4,3	9,0	10,9	4,4	17,2
W	—	—	—	—	7,9	3,7	6,1	12,1	10,3
U	8,3	4,3	31,5	5,7	0,3	0,2	1,5	0,3	18,7
Li	21,5	10,5	8,5	9,7	8,4	8,7	25,9	85,7	41,1
Ge	0,65	0,55	0,4	1,9	0,6	0,3	0,5	1,5	8
Ag	0,1	0,9	0,03	0,15	34,8	14,8	0,3	0,17	5,8
Bi	55,8	44,8	24,7	55,3	545	23,6	0,4	1,7	5,2
ΣREE	105,65	126,3	172,8	90,9	22,08	23,95	27,52	58,37	34,84
(La/Yb) _N	1,57	1,59	0,15	0,12	14,3	0,52	0,59	3,61	1,7
TE _{1,3}	1,0	0,82	1,53	0,85	1,31	0,78	1,08	1,86	2,24

Примечания. Минералы: 1 – шеелит; 2 – халькопирит; вольфрамит: 3 – 2-й генерации, 4 – 1-й генерации; 5 – галенит; 6 – пирит; 7 – олигоклаз; 8 – турмалин, 9 – мусковит. Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва).

с ядром, сложенным олигоклазом и каемкой альбита. В матрице плагиоклаза наблюдаются зерна кварца. Позже кристаллизовался микроклин, корродирующий олигоклаз и образующий прожилко-

видные обособления мощностью 0,5–3 мм. В полевошпатовом материале развиты прихотливой формы выделения флюорита, а также по мелким трещинам – серицита. К полевошпатовому матери-

алу тяготеет и вольфрамит 1-й генерации в сростках кристаллов, совместно с которым встречается шеллит. Изредка отмечаются прожилки кварца с пиритом, вольфрамитом 2-й генерации, висмутином и фиолетовым флюоритом. Жилы местами разбиты на ряд тонких субпараллельных плит, ориентированных вдоль их простирания. По характеру строения и минерализации И. П. Коропец сопоставляет эти жилы с таковыми Осинского месторождения, имеющими на верхних горизонтах аналогичный кварц-полевошпатовый состав. Золото отмечалось в виде единичных зерен в искусственных шлихах из грейзенизированных гранитов.

На участке вскрыты две кварц-полевошпатовые жилы (№ 1 и № 2) с промышленным содержанием триоксида вольфрама и несколько мелких оруденелых прожилков, не представляющих промышленного интереса.

Жила № 1 проходит вдоль левого борта долины руч. Каменный (правый приток руч. Дмитриевский), прослежена выработками на 600 м и вскрыта рельефом на глубину 130 м. Элементы залегания жилы почти на всем протяжении остаются постоянными: простирание 290–300°, падение на северо-восток под углами 70–85°. Мощность жилы варьирует от 5 см до 1,15 м, средняя, с учетом вмещающих оруденелых грейзенов, составляет 0,6 м. Вольфрамовое оруденение распределено неравномерно и приурочено преимущественно к полевошпатовому материалу жилы. Совместно с вольфрамитом присутствует вкрапленность турмалина 1-й генерации. В полевошпате в виде вкрапленников и тонких коротких прожилков также встречаются фиолетовый флюорит и турмалин 2-й генерации. Среднее содержание в жиле триоксида вольфрама 0,24 %.

Жила № 2 расположена в 50–70 м севернее жилы № 1 и состоит из двух кулисообразных, заходящих друг за друга отрезков, имеющих одинаковое простирание. Разведочными работами прослежена на 200 м. Ее мощность 0,04–0,70 м, простирание 290–310°, падение на северо-восток под углами 50–70°. Иногда наблюдается выклинивание жилы со смещением на 1–1,5 м под острым углом. Строение жильного материала чаще полосчатое за счет последовательного чередования полосок розового полевого шпата и тонких, иногда нитевидных, прожилков серого кварца с вольфрамитом и турмалином 2-й генерации и сульфидами. В составе руд Дмитриевского месторождения также выделяются две генерации вольфрамитов – высоко- и низкоскандиевая (табл. 3).

Спайдер-диаграммы для минералов Дмитриевского и Верхнебелокурихинского месторождений показывают значительные различия по характеру кривых распределений РЗЭ (рис. 5).

Средняя мощность жилы с учетом оруденелых вмещающих грейзенизированных гранодиоритов 0,61 м, содержание триоксида вольфрама 0,17 %. На участке раздува кварца с вкрапленностью пирита и арсенопирита определено содержание золота от 1,5 до 6,2 г/т. Общие запасы триоксида вольфрама по двум жилам категории С₁ 66 т, прогнозные ресурсы категории Р₁ 3100 т. По авторской оценке, прогнозные ресурсы категории Р₂ на площадь рудного поля составляют 15,7 т триоксида вольфрама.

Интерпретация результатов

Форма Белокурихинского плутона лакколитообразная. По результатам геолого-геофизического моделирования его мощность составляет 2–3 км,

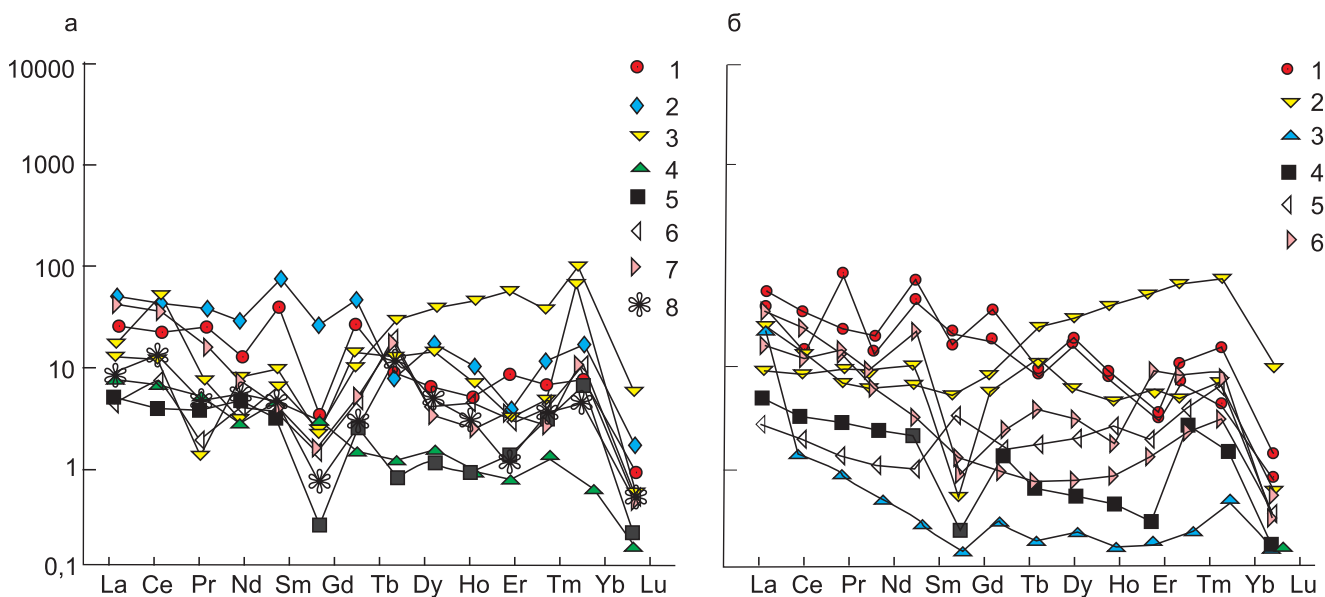


Рис. 5. Спайдер-диаграммы распределения РЗЭ в минералах Верхнебелокурихинского (а) и Дмитриевского (б) месторождений

Верхнебелокурихинское месторождение: 1 – шеллит, 2 – халькопирит, 3 – вольфрамит, 4 – галенит, 5 – пирит, 6 – олигоклаз, 7 – турмалин, 8 – мусковит; б – Дмитриевское месторождение: 1 – шеллит, 2 – вольфрамит, 3 – висмутин, 4 – пирит, 5 – олигоклаз, 6 – турмалин



Таблица 3

Содержание элементов-примесей в минералах Дмитриевского месторождения (г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	45,6	34,8	68,3	74,5	12,3	5,9	5,5	93	34,8
Cr	13,7	11,3	44,1	33,5	12,6	4,9	0,7	5,3	45,0
Co	5,7	4,9	7,29	8,3	10,5	15,7	1,3	9,6	12,4
Ni	7,9	8,2	20,8	21,5	13,8	4,2	2,8	12,7	20,6
Cu	56,9	76,2	255	245	45,8	3,4	5,7	5,1	5,5
Zn	103	98	156	143	107	5,7	4,9	50,5	65,6
Rb	8,1	7,5	8,2	2,6	20,8	10,8	1250	2,6	62,1
Sr	76	54	74,5	25,3	3,8	3,4	67,8	97,4	94,6
Nb	34,6	26,8	54,5	45,7	1,6	1,5	5,6	2,95	12,5
Cs	4,2	3,9	4,46	0,65	1,8	0,95	56,9	0,36	0,7
Ba	21,8	18,6	274	23,7	6,8	29,7	1120	5,57	29,5
Pb	123	127	2695	1280	1345	10,5	3,8	6,8	7,1
Th	10,9	9,3	3,95	15	0,3	0,4	0,3	4,23	11,3
La	10,8	11,3	6,75	2,9	11,2	1,6	0,9	10,4	5,86
Ce	13,9	23,7	8,96	7,3	1,2	3,1	1,6	20,3	11,4
Pr	11,4	2,7	0,83	1,2	0,1	0,4	0,13	1,7	1,89
Nd	10,2	12,7	2,95	5,4	0,2	1,45	0,6	5,26	8,91
Sm	11,1	13,6	1,16	2,2	0,03	0,42	0,2	0,49	5,41
Eu	2,7	2,1	0,36	0,05	0,005	0,015	0,3	0,13	0,09
Gd	9,6	10,8	3,72	1,9	0,06	0,3	0,3	0,43	6,99
Tb	0,4	0,5	1,42	0,5	0,006	0,03	0,07	0,072	1,73
Dy	6,2	7,5	14,0	2,5	0,06	0,15	0,6	0,51	9,27
Ho	0,7	0,9	3,73	0,4	0,006	0,03	0,2	0,12	1,42
Er	0,8	1,0	13,4	1,3	0,03	0,06	0,5	0,48	3,16
Tm	0,3	0,5	2,7	0,25	0,006	0,2	0,12	0,091	0,37
Yb	1,5	4,7	21,2	1,7	0,12	0,3	1,5	0,85	2,11
Lu	0,3	0,5	3,3	0,24	0,007	0,008	0,2	0,15	0,28
Y	26,8	33,8	61,4	17,8	1,9	1,7	10,7	4,97	82,0
Ga	6,3	8,3	5,3	2,6	3,8	1,3	87,7	54,6	14,3
Zr	21,8	22,3	20,1	30,6	23,8	3,2	4,7	0,5	60,1
Sc	76,8	69,1	88	590,4	55,8	0,4	0,3	9,1	10,5
Hf	3,3	4,1	2,3	1,4	0,9	0,2	0,11	0,14	0,73
Ta	1,6	1,8	2,1	1,7	0,2	0,1	0,3	1,31	3,76
Mo	105	116	10,5	306	2,3	2,2	35,7	7,31	10,4
Sb	5,2	6,1	5,8	6,4	6,2	0,2	0,5	3,8	4,4
Sn	54,1	48,2	54,8	45,8	45,9	0,6	54,8	51,2	97
Be	5,2	5,1	4,8	22,8	4,3	9,1	3,9	4,42	10,4
W	–	–	–	–	7,9	1,7	16,1	12,9	16,9
U	8,6	9,3	31	5,6	0,2	0,2	1,5	0,18	2,31
Li	20,3	20,5	8,5	9,0	8,4	10,7	28,9	65,7	70,5
Ge	0,5	0,55	0,4	0,9	0,6	0,2	0,5	1,48	1,5
Ag	0,08	0,09	0,03	0,1	34,8	4,8	0,3	0,1	0,02
Bi	45,7	44,8	34,7	45,7	–	5,6	0,4	1,5	1,2
ΣREE	106,7	126,3	145,9	45,14	14,8	9,28	17,92	45,95	140,9
(La/Yb) _N	4,76	1,59	0,21	1,13	61,4	3,53	0,4	8,0	1,84
TE _{1,3}	1,18	0,82	1,08	1,23	0,71	0,91	0,89	1,11	1,15

Примечания. Минералы: 1, 2 – шеелит; вольфрамит: 3 – 2-й генерации, 4 – 1-й генерации; 5 – висмутин; 6 – пирит; 7 – олигоклаз; турмалин: 8 – 1-й генерации, 9 – 2-й генерации. Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лаборатории ИМГРЭ (Москва).

за исключением корневой части (водораздел рек Сосновка и Белокуриха), где она превышает 10 км. Восточная часть этой корневой зоны плутона занята гранитоидами усть-беловского комплекса, а Дми-

триевская МРМС вытянута в субмеридиональном направлении параллельно восточной периферии корневой зоны плутона. Все рудные объекты МРМС приурочены к разломной зоне субмеридио-

нального направления, подчеркиваемой ориентировкой даек, кварцевыми жилами и грейзенами. Нами установлено, что описанные дайки встречаются и среди пород ранних фаз Белокурихинского комплекса, имея с ними интрузивные контакты. Следовательно, оруденение Дмитриевской МРМС связано с глубинным очагом, генерировавшим все фазы Белокурихинского плутона и заключительные инъекции даек, сопровождавшихся метасоматитами фельдшпатолитового состава, кварцевыми жилами и грейзенами. Верхнебелокурихинское месторождение представляет собой более эродированную часть пневматолито-гидротермальной системы с преобладанием вольфрамитов над шеелитами. Проявление Дрезговитное отвечает нижней рудной части с убогим вольфрамитовым оруденением без шеелита и флюорита. Дмитриевское месторождение расположено в менее эродированной части гидротермальной колонны с преобладанием шеелита над вольфрамитом, а проявление Лога Медвежьего – в надрудной.

Ранние парагенезисы на обоих месторождениях несут высокоскандиевый вольфрамит, а поздние – высокоредкоземельный в ассоциации с флюоритом.

Дмитриевская МРМС имеет зональное строение. В северном направлении наблюдаются верхние и надрудные части рудной колонны, а в южном – рудная и нижняя рудная. В составе минералов выражена значительная дифференциация редкоземельных элементов по вертикали. На Верхнебелокурихинском месторождении во всех минералах четко выражена негативная европиевая аномалия, а на Дмитриевском месторождении в некоторых минералах европиевый минимум не проявлен, в то время как в полевом шпате отмечена заметная позитивная аномалия по европию.

Обращает на себя внимание состав турмалина на обоих месторождениях. Как известно, турмалин является чутким индикатором обстановки формирования [10]. На Верхнебелокурихинском месторождении турмалин характеризуется ясной европиевой негативной аномалией с невысокой суммарной концентрацией РЗЭ, а на Дмитриевском месторождении выделяются две генерации турмалина: 1) низкоредкоземельный без европиевой аномалии, 2) высокоредкоземельный с резкой европиевой отрицательной аномалией. Появление последнего связано с притоком высокоборных растворов в гидротермальную систему и, вероятно, обильных фтор-комплексов (ассоциация турмалина 2-й генерации и флюорита), переносивших редкие земли в растворах.

Выводы

Дмитриевская МРМС представляет собой сложный объект с пневматолито-гидротермальными образованиями существенно вольфрамового состава. Оруденение приурочено к краевой части маг-

мо-рудоподводящего канала Белокурихинского плутона. В глубинном очаге, с которым связано формирование оруденения и метасоматитов, происходило возможное смешение шошонитовых и адакитовых родоначальных источников. Многоактное поступление пневматолито-гидротермальных ингредиентов способствовало формированию зональной МРМС, в которой с юга на север наблюдается вектор смены разных частей пневматолито-гидротермальной колонны: нижнерудной – рудной – верхнерудной – надрудной. Зональность относится к типу стадийной, обусловлена эволюцией флюидной фазы с трансформацией летучих компонентов от стадии к стадии и подчеркивается изменением состава окколорудных метасоматитов, парагенетических ассоциаций, состава элементов-примесей в минералах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов А. П.** Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия*. – 1962. – № 7. – С. 555–572.
2. **Гусев А. И.** Петрогенезис совмещенных шошонитовых и высококальциевых адакитовых гранитоидов раннего мезозоя Горного Алтая // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. – С. 58–60.
3. **Гусев А. И.** Турмалин в гранитоидах Горного Алтая // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 3, ч. 4. – С. 627–631.
4. **Гусев А. И., Коробейников А. Ф.** Петрология и золотоносность адакитовых гранитоидов усть-беловского комплекса Макарьевского ареала Горного Алтая // *Изв. ТПУ*. – 2015. – Т. 326, № 10. – С. 81–91.
5. **Кривчиков В. А., Селин П. Ф., Русанов Г. Г.** Геологическая карта масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Алтайская. Лист М-45-1 (Солонешное). Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. – 183 с.
6. **Петрографический кодекс России.** Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 3-е, испр. и дополн. Утвержден МПК 10 января 2008 г. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
7. **Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая / А. И. Гусев, Н. И. Гусев, Е. М. Табакаева, Е. М. Дзагоева.** – Бийск: АГАО, 2013. – 205 с.
8. **Anders E., Grevesse N.** Abundances of the elements: Meteoritic and solar // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1989. – Vol. 53, no 1. – P. 197–214.
9. **Hart C. J. R.** Reduced intrusion-related gold systems // *Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Di-*



vision / Goodfellow W. D. (ed.). – 2007. – Spec. Publ. no. 5. – P. 95–112.

10. **Hinsberg V. J., Henry D. J., Marschall H. R.** Tourmaline: an ideal indicator of its host environment // *The Canadian Mineralogist*. – 2011. – Vol. 49, no. 1. – P. 1–16.

11. **Irber W.** The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1999. – Vol. 63, no. 3–4. – P. 489–508.

12. **Maniar P. D., Piccoli P. M.** Tectonic discrimination of granitoids // *Geol. Soc. Amer. Bull.* – 1989. – Vol. 101, no. 5. – P. 635–643.

13. **Mobility** of Au and related elements during the hydrothermal alteration of the oceanic crust: implications for the sources of metals in VMS deposits / C. G. C. Patten, I. K. Pitcairn, D. A. H. Teagle, M. Harris // *Mineralium Deposita*. – 2016. – Vol. 51, no. 2. – P. 179–200.

14. **Villaseca C., Barbero L., Herreros V.** A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*. – 1998. – Vol. 89, no. 2. – P. 113–119.

15. **Wasson J. T., Kallemeyn G. W.** Compositions of chondrites // *Philosophical Transactions of the Royal Society A, London*. – 1988. – Vol. 325, no. 1587. – P. 535–544.

REFERENCES

1. Vinogradov A. P. [Mean contents of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhimiya*, 1962, no. 7, pp. 555–572. (In Russ.).

2. Gusev A. I. [Petrogenesis of combined shoshonite and high-K adakite granitoids of the Early Mesozoic of Gorny Altai]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)* [Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent)]. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust SB RAS Publ., 2016, pp. 58–60. (In Russ.).

3. Gusev A. I. Turmalin v granitoidakh Gornogo Altaya [Tourmaline in granitoids of Gorny Altai]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 3, part 4, pp. 627–631. (In Russ.).

4. Gusev A. I., Korobeinikov A. F. [Petrology and gold content of adakite granitoids of the Ust-Belovsky complex of the Makar'yevsky range of Gorny Altai] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 10, pp. 81–91. (In Russ.).

5. Krivchikov V. A., Selin P. F., Rusanov G. G. *Geologicheskaya karta masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Altayskaya. List M-45-I (Soloneshnoe). Ob'yasnitel'naya zapiska* [Geological map of scale 1:200 000. Second edition. The Altai series. Sheet M-45-I (Soloneshnoe). Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2001. 183 p. (In Russ.).

6. *Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formation]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. 200 p. (In Russ.).

7. Gusev A. I., Gusev N. I., Tabakaeva E. M., Dzagoeva E. M. *Petrologiya i rudonosnost' magmo-rudno-metasomaticheskikh sistem Soloneshenskogo rudnogo rayona Altaya* [Petrology and ore content of magmatic-ore-metasomatic systems of the Soloneshnoe ore district of Altai]. Biysk, AGAO Publ., 2013. 205 p. (In Russ.).

8. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1989, vol. 53, no. 1, pp. 197–214.

9. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems. *Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division* / Goodfellow W. D. (ed.), 2007, Spec. Publ. no. 5, pp. 95–112.

10. Hinsberg V. J., Henry D. J., Marschall H. R. Tourmaline: an ideal indicator of its host environment. *The Canadian Mineralogist*, 2011, vol. 49, no. 1, pp. 1–16.

11. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1999, vol. 63, no. 3–4, pp. 489–508.

12. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1989, vol. 101, no. 5, pp. 635–643.

13. Patten C. G. C., Pitcairn I. K., Teagle D. A. H., Harris M. Mobility of Au and related elements during the hydrothermal alteration of the oceanic crust: implications for the sources of metals in VMS deposits. *Mineralium Deposita*, 2016, vol. 51, no. 2, pp. 179–200.

14. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 1998, vol. 89, no. 2, pp. 113–119.

15. Wasson J. T., Kallemeyn G. W. Compositions of chondrites. *Philosophical Transactions of the Royal Society A, London*, 1988, vol. 325, no. 1587, pp. 535–544.

© А. И. Гусев, Е. М. Табакаева, 2018