



УДК (553.3/.6.061.2+553.8.061.2):552.2(571.15)

МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ ЮЖНО-КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев, Н. И. Гусев

Рассмотрены особенности магматизма и оруденения Южно-Калгутинского месторождения Горного Алтая. Охарактеризованы восточная часть Калгутинского плутона, малая интрузия двуслюдяных гранитов и дайки онгонитов и эльванов. Даны возрастные рубежи их формирования. Установлена прямая зависимость высоких концентраций вольфрама в породах и максимальных значений тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа. Выявлены и охарактеризованы типы оруденения: жильное кварц-карбонат-вольфрамит-флюоритовое, грейзеновое кварц-берилл-вольфрамит-флюоритовое и медно-молибден-порфировое во флюидо-эксплозивных брекчиях. Главное оруденение приурочено к жильной зоне № 1, имеющей зональное строение по вертикали. На верхних горизонтах зона сопровождается березитами, а глубже 150 м переходит в грейзены. Преобладающее оруденение представлено вольфрамитом, бериллом, шеелитом, тунгститом, халькопиритом и другими рудными минералами, а также минерализацией флюорита и барита. Содержания элементов в рудах варьируют (%): вольфрама от 0,1 до 1,8, молибдена от 0,01 до 0,9, бериллия от 0,05 до 1,1, меди от 0,2 до 0,9, висмута от 0,01 до 0,6. По изотопии углерода и кислорода оруденение формировалось в результате смешения ювенильного и корового материалов. Предполагается также участие трансмагматических флюидов в генерации Южно-Калгутинской магмо-рудно-метасоматической системы.

Ключевые слова: граниты, лейкограниты, онгониты, эльваны, состав руд, ферберит, берилл, молибденит, флюорит, халькопирит, изотопы углерода, кислорода и серы.

MAGMATISM AND MINERALISATION AT THE YUZHNO-KALGUTINSKOYE FIELD, GORNY ALTAI

A. I. Gusev, N. I. Gusev

The paper considers magmatism and mineralisation at the Yuzhno-Kalgutinskoye field in the Gorny Altai. The eastern part of the Kalgutinsky plutonic intrusion, small intrusion of binary granite and ongonite and elvan courses are characterised, age of their formation is provided. A direct correlation between high wolframium concentrations in rocks and maximum values of tetrad effect of fractionation of M-type rare earth elements was stated. The following mineralisation types were defined and characterised: quartz-carbonate-wolframite-fluorite vein mineralisation, quartz-beryl-wolframite-fluorite greisen mineralisation, and copper-molybdenum-porphyrity mineralisation in fluid-explosive breccia. Major mineralisation is confined to ore zone 1, which has zonal structure in vertical direction. At the near-surface horizons the zone contains beresites, and below 150 m they change to greisens. Prevailing minerals are wolframite, beryl, scheelite, tungstite, chalcopirite and other ore minerals, as well as fluorite and baryte mineralisation. The percent composition of elements in ore varies as follows: 0.1 to 1.8 wolframium, 0.01 to 0.9 molybdenum, 0.05 to 1.1 beryllium, 0.2 to 0.9 cuprum, 0.01 to 0.6 bismuth. According to carbon and oxygen isotope analysis, mineralisation occurred due to mixture of juvenile and crust materials. Trans-magmatic fluids are assumed to had been involved in generation of the Yuzhno-Kalgutinskoye magmatic-ore-metasomatic system.

Keywords: granite, leucogranite, ongonite, elvan, ore composition, ferberite, beryl, molybdenite, fluorite, chalcopirite, carbon, oxygen, and sulfur isotopes.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-2-110-120

Южно-Калгутинское флюорит-берилл-молибденит-вольфрамитовое месторождение находится на юго-востоке Горного Алтая вблизи границы с Монголией на северо-западном окончании Сайлюгемского хребта, в 1,2 км южнее Калгутинского медно-молибден-вольфрамового месторождения. Оно расположено в восточном экзоконтакте Калгутинского гранитного массива нижнеюрского возраста и локализуется в линейной жильной зоне субмеридиональной ориентировки среди вмещающих вулканогенных пород аксайского комплекса девонского обрамления. Калгутинскому месторождению обычно уделялось больше внимания [1, 5, 9], а Южно-Калгутинское оставалось, так сказать, в тени, хотя открыто было тоже в 1937 г. [2]. Оруденение

изучено в 1982–1988 гг. с помощью поверхностных горных выработок и скважин Курайской партией Горно-Алтайской поисково-съёмочной экспедиции. По результатам этих работ утверждены запасы категории C_2 : триоксида вольфрама 2,3 тыс. т (при среднем содержании 0,56%), молибдена 0,93 тыс. т (0,29%), меди 2,2 тыс. т (0,58%). В конце 1990-х гг. в ЗАО «Калгутинский рудник» (Екатеринбург) пройдены три штольни и оценены запасы по категориям C_1 и C_2 . Сведения о разведке носят закрытый характер. Цель настоящего исследования – охарактеризовать новые данные по петрологии магматизма, вещественному составу и геохимии руд Южно-Калгутинского месторождения. При дальнейшей его до-разведке возможен значительный прирост запасов



вольфрама, молибдена и бериллия, судя по их высоким концентрациям в рудах.

Интрузивный магматизм месторождения

В районе месторождения обнажается восточная часть Калгутинского плутона, представленная грубозернистыми крупнопорфировидными биотитовыми гранитами чиндагатуйского комплекса (граниты главной фазы). В них иногда отмечаются изометричные меланократовые шпильки, сложенные мелкозернистыми биотитовыми гранодиоритами.

В юго-восточном эндо- и экзоконтакте Калгутинского плутона выделяется пояс малых интрузивов и даек кислого состава северо-восточного простирания протяженностью 17 км и шириной до 5 км. Дайки в основном ориентированы вдоль простирания пояса, их мощность обычно варьирует от 1 до 5–6 м (иногда до 10 м), протяженность – десятки, редко первые сотни метров. Дайки сложены микрогранит-порфирами, риолит-порфирами, эльванами, онгонитами, при этом в восточно-калгутинском комплексе преобладают эльваны, а ультраредкометалльные онгониты редки [1, 9]. Конкордантный возраст даек восточно-калгутинского комплекса следующий: эльванов – 204 ± 2 млн лет, ультракалийевых риолит-порфиров – $200,8 \pm 1,1$ млн лет. Общий временной интервал формирования комплекса 200–204 млн лет (конец позднего триаса) [7].

В восточном контакте главной фазы Калгутинского плутона залегает небольшой массив двуслюдяных и мусковитовых лейкогранитов (рис. 1). Подобные двуслюдяные гранитоиды обычно относятся к третьей фазе внедрения чиндагатуйского комплекса ранней юры. Представительные анализы интрузивных пород сведены в табл. 1.

Основные петро- и геохимические особенности пород близки таковым для Калгутинского месторождения [7]. Следует указать, что в двуслюдяных гранитах, онгонитах и эльванах наблюдаются резко повышенные концентрации W, Nb, Ta, Be, Cs (см. табл. 1). В этих же породах проявлен и тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа, превышающий граничное значение 1,1.

Соотношение $Y/No - Zr/Hf$ показывает, что только один анализ эльвана демонстрирует поведение типа CHARAC (CHArge and RAdius Controlled) [12], когда элементы с одинаковым ионным радиусом и зарядом (пары Y-No и Zr-Hf) экстремально когерентны и остаются вблизи хондритового отношения. Все остальные породы выходят за пределы поля CHARAC и дают эволюционный тренд в сторону уменьшения Zr/Hf. Это подтверждает их происхождение из магматической системы с влиянием внешнего F-обогащенного водного флюида, который характеризовался высокой флюидонасыщенностью (рис. 2, а). Такие гранитоиды следует относить к высоко фракционированным. По соотношениям $Zr/Hf - SiO_2$ породы Южно-Калгутинского месторож-

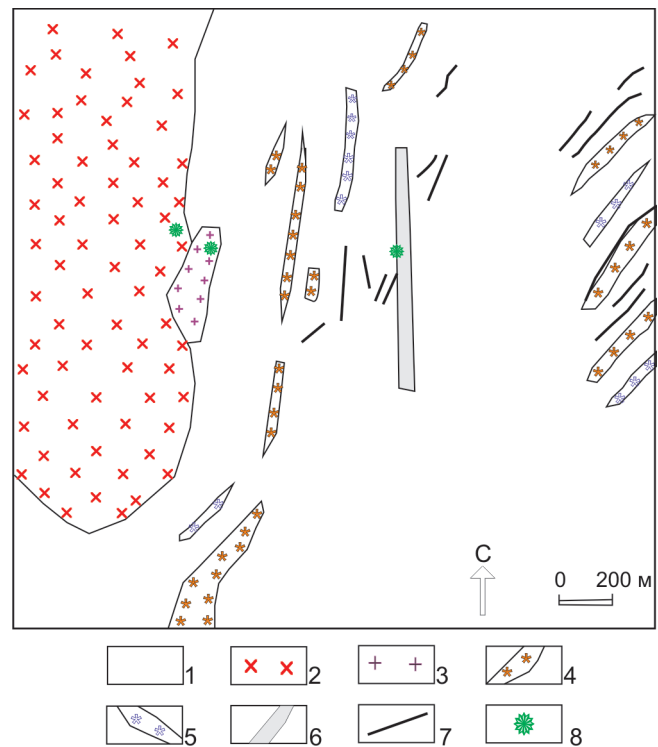


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Южно-Калгутинского месторождения (сост. А. И. Гусевым с использованием материалов П. Ф. Селина и Б. Г. Семенцова)

1 – девонские вулканогенно-осадочные образования нерасчлененные; 2 – биотитовые порфировидные граниты главной интрузивной фазы; 3 – двуслюдяные лейкограниты; дайки: 4 – эльванов, 5 – онгонитов; 6 – минерализованная рудная зона; 7 – кварц-ферберитовые жилы; 8 – флюидо-эксплозивные брекчии с медно-молибденпорфировым оруденением

дения попадают в разные поля, однако дайковые образования и двуслюдяные лейкограниты локализуются в области Sn-W-Mo-Be месторождений грейзенового типа (см. рис. 2, б).

На диаграмме соотношений $Fe_2O_3/FeO - Rb/Sr$ наблюдается тренд изменений положения фигуративных точек, направленный от крупнозернистых порфировидных гранитов главной фазы к двуслюдяным лейкогранитам и дайкам эльванов и онгонитов, и смена окисленной обстановки на восстановленную (рис. 3).

Специфичность двуслюдяных лейкогранитов и даек онгонитов и эльванов подтверждается также и на диаграмме $W - TE_{1,3}$, где наблюдается важная металлогеническая закономерность – увеличение содержаний вольфрама в магматических породах с увеличением величины тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (ТЭФ РЗЭ) (рис. 4). Как известно, проявление ТЭФ РЗЭ М-типа обусловлено специфичностью магматогенных флюидов, в которых повышенные концентрации и активность фтора и его комплексов обеспечивают и дифференцированный тип распределения РЗЭ, и проявление ТЭФ РЗЭ, и извлечение из расплавов и перенос редких металлов и вольфрама



Таблица 1

Представительные анализы интрузивных пород и даек Южно-Калгутинского месторождения (оксиды в мас. %, элементы в г/т)

Оксид, элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	72,01	72,5	78,0	73,9	74,3	73,3	73,6	74,5	76,0	74,9
TiO ₂	0,45	0,44	0,11	0,22	0,09	0,1	0,05	0,09	0,12	0,08
Al ₂ O ₃	13,9	13,8	12,4	14,8	14,5	14,7	15,5	14,6	13,5	14,3
Fe ₂ O ₃	0,63	0,95	0,25	0,35	0,21	0,5	0,32	0,5	0,3	0,31
FeO	0,73	1,3	0,4	0,63	0,49	0,8	0,64	0,7	0,48	0,43
MnO	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,07	0,16	0,07	0,06	0,03
MgO	0,74	0,81	0,05	0,24	0,11	0,2	0,19	0,18	0,24	0,1
CaO	1,6	1,7	0,41	0,5	0,51	0,56	0,47	0,58	0,85	0,46
Na ₂ O	3,2	3,4	3,7	6,5	4,3	3,3	3,83	3,5	3,8	3,83
K ₂ O	4,7	4,4	4,2	1,8	3,9	5,1	3,4	5,15	4,3	4,73
P ₂ O ₅	0,2	0,19	0,08	0,27	0,43	0,31	0,47	0,42	0,2	0,3
П.п.п.	0,8	0,41	0,37	0,3	0,8	1,0	0,98	0,7	0,4	0,72
Σ	99,53	99,95	99,96	99,95	99,67	99,8	99,7	99,99	100,2	99,98
Li	147	152	15,5	241	116	223	457	218	71,0	122
Rb	321	278	494	435	985	623	740	567	415	550
Cs	42	30,1	15,6	103	297	76,7	165	77,1	17,2	56,3
Ba	352	270	18,2	88	56	173	11,1	175	43,0	45,1
Be	6,8	7,2	8,9	10,3	58,9	74,7	23,5	34,2	76,3	43,3
Sr	136	125	12,5	69	34,1	98	23,1	101	30,1	18,3
Mo	8,3	6,7	2,9	4,3	2,9	14,5	18,7	15,2	1,2	2,0
W	6,4	2,1	23,1	32,1	19,2	78,3	80,3	77,4	17,0	41,3
Nb	67,5	35,1	54,1	77,1	56,2	47,1	72,1	45,6	52,0	53,3
Ta	2,7	3,2	10,7	37,1	41,1	12,1	50,0	11,9	9,8	10,1
Zr	182	165	46,1	38,2	30,2	89,2	24,1	90,1	50,1	45,0
Hf	5,4	5,1	1,8	1,7	1,6	2,1	2,1	2,2	2,1	1,7
Sc	8,4	9,2	4,3	5,8	1,4	1,9	5,1	4,8	4,3	5,3
Y	45,2	33,1	11,1	5,8	10,4	13,1	4,5	13,0	25,2	11,5
Th	26,4	25,1	5,4	2,5	4,2	12,3	1,6	12,5	12,0	4,1
U	8,4	5,7	13,9	19,4	12,1	16,8	21,2	15,2	25,5	3,4
La	25,9	40,8	5,8	6,2	7,4	31,6	1,95	34,8	25,1	5,7
Ce	55,2	86,1	13,3	12,1	14,5	73,0	3,8	81,0	55,3	12,5
Pr	7,8	10,6	1,59	1,3	1,73	9,1	0,42	9,8	6,75	1,5
Nd	29,4	38,2	5,8	4,2	6,5	34,6	1,2	37,1	25,2	5,4
Sm	6,1	8,1	1,36	0,98	1,4	7,2	0,26	7,5	5,82	1,5
Eu	0,99	1,1	0,12	0,09	0,2	0,73	0,02	0,75	0,6	0,17
Gd	5,5	7,4	1,27	0,98	1,5	5,4	0,29	5,35	5,0	1,3
Tb	0,93	1,1	0,28	0,19	0,24	0,76	0,06	0,74	0,74	0,25
Dy	4,96	6,3	1,64	1,22	1,47	3,36	0,41	3,3	4,3	1,72
Ho	1,08	1,2	0,31	0,25	0,35	0,6	0,08	0,52	0,85	0,33
Er	2,9	3,1	0,97	0,68	0,94	1,54	0,28	1,24	2,55	0,96
Tm	0,46	0,49	0,23	0,14	0,18	0,21	0,05	1,16	0,4	0,17
Yb	2,83	3,4	1,4	0,9	1,1	1,2	0,38	1,1	3,4	1,12
Lu	0,39	0,46	0,24	0,12	0,17	0,15	0,05	1,12	0,5	0,17
ΣTR	143,9	207,8	34,4	29,4	37,3	168,4	9,28	182,2	135,5	33,2
U/Th	0,32	0,23	2,57	7,76	2,88	1,37	13,5	1,22	2,1	0,83
(La/Yb) _N	6,0	7,9	2,7	4,6	4,4	17,2	3,4	20,8	4,9	3,4
Eu/Eu*	0,52	0,43	0,28	0,28	0,42	0,35	0,23	0,35	0,34	0,37
TE _{1,3}	1,01	1,02	1,16	1,08	0,95	1,04	1,14	1,06	1,03	1,11

Примечание. Силикатные анализы на главные компоненты выполнены в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра (Новокузнецк); микроэлементы определены методом ICP-MS в лаборатории СО РАН (Иркутск). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [9], TE_{1,3} по [14]; Eu* = (Sm_N+Gd_N)/2. Интрузивные и дайковые породы Южно-Калгутинского месторождения: 1, 2 – граниты крупнокристаллические биотитовые главной фазы; 3 – двуслюдяные лейкограниты; дайки: 4–5 – онгониты; 6 – эльваны.

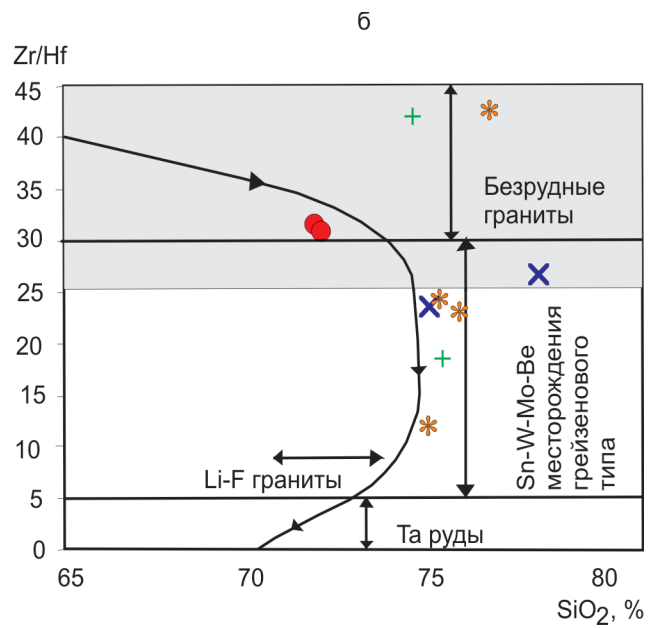
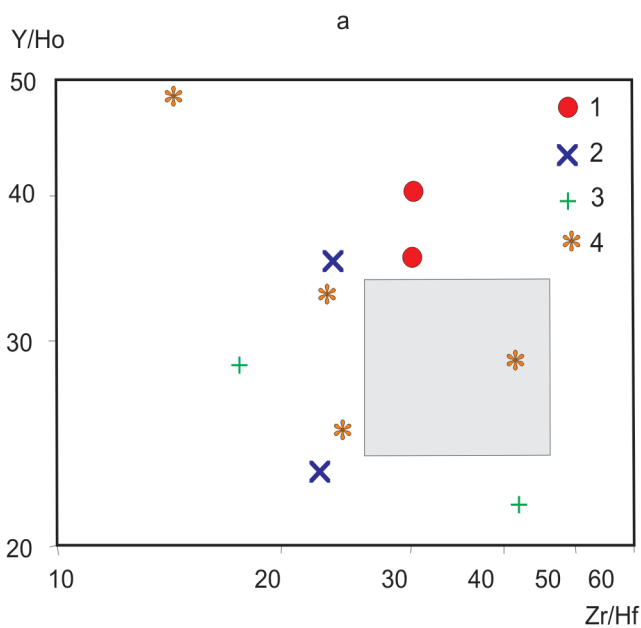


Рис. 2. Диаграммы трендов фракционирования составов гранитоидов и даек Южно-Калгутинского месторождения (серым фоном показано поле CHARAC по [12]; дугообразная линия со стрелками – кривая фракционирования расплавов редкометалльных гранитов и поля металлогенической специализации по [8])

Породы Южно-Калгутинского месторождения: 1 – граниты крупнокристаллические биотитовые главной фазы; 2 – двуслюдяные лейкограниты; дайки: 3 – онгониты, 4 – эльваны

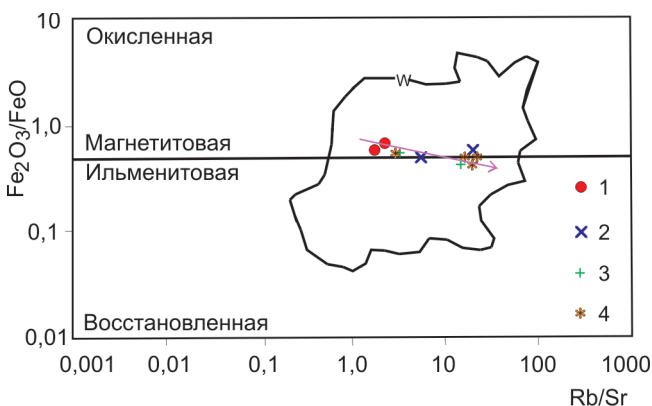


Рис. 3. Диаграмма $Fe_2O_3/FeO - Rb/Sr$ по [11] для интрузивных пород и даек Южно-Калгутинского месторождения (поле вольфрамоносных гранитоидов выделено автором по материалам [9])

Усл. обозн. см. на рис. 2

в гидротермальных растворах [6]. Аномальные параметры флюидного режима магматитов Калгутинского рудного поля и важная роль фтор-комплексов в переносе вольфрама гидротермальными растворами описаны ранее [5].

Структурные и морфологические особенности

На Калгутинском медно-молибден-вольфрамовом месторождении рудная минерализация приурочена преимущественно к серии кварцевых жил северо-восточной ориентировки и грейзенов, локализованных в многофазном Калгутинском гранитном массиве раннеюрского возраста и лишь частично секущих вмещающие вулканогенные породы девонского обрамления. При этом Южно-Калгутинское месторождение локализовано в линейной

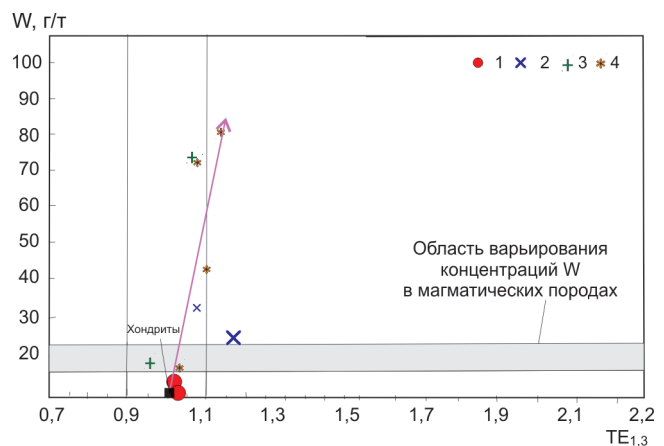


Рис. 4. Диаграмма $W - TE_{1,3}$ для интрузивных пород и даек Южно-Калгутинского месторождения ($TE_{1,3}$ – ТЭФ РЭЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [12]; область варьирования концентраций W в магматических породах выделена на основании средних его содержаний в изверженных породах по [3]; содержания вольфрама в хондритах по [13])

Усл. обозн. см. на рис. 2

жильной зоне субмеридиональной ориентировки, расположенной среди вулканогенных пород и интрузий субвулканического комплекса кислого состава нижнего девона. Жильная зона имеет западное падение (50–80°) навстречу контакту гранитов Калгутинского массива. Прослеженная длина зоны около 5 км, наиболее изучена ее часть протяженностью 1,15 км (собственно месторождение), где наличие промышленного оруденения установлено на глубину до 320 м без признаков выклинивания. На северном продолжении зоны с поверхности концентрированного оруденения не выявлено.



Жильная зона в пределах месторождения образована серией сложных кварцевых, флюорит-кварцевых, сидерит-кварцевых жил невыдержанной мощности (от 0,2 до 15,0 м), а сами жилы окружены кварцевыми штокверками и серицит-пирит-кварцевыми метасоматитами мощностью до 80 м, образованными по субвулканическим породам кислого состава. На нижних горизонтах месторождения (на глубинах свыше 150 м) в значительном объеме появляются грейзены. Морфология зоны в плане подчеркивает возможность ее образования в процессе правостороннего сдвига, при этом сдвиг осуществлялся в плоскости зоны. Под острым углом и в основном в лежачем боку к ней примыкают апофизы, формирующиеся по закономерностям правостороннего сдвига в трещинах растяжения.

Характеристика рудных тел и минерального состава

Сложно построенная кварцево-жильная зона № 1 сопровождается невыдержанным оруденением вольфрамитов, берилла, шеелита, тунгстита, халькопирита и других рудных минералов, а также минерализацией флюорита и барита. Наиболее распространены вкрапленные, прожилково-вкрапленные, прожилковые, гнездовые, брекчиевидные, крустификационные текстуры оруденения.

Самое богатое вольфрамовое оруденение преимущественно приурочено к интервалам жильной зоны, имеющей очень сложное внутреннее строение и многостадийное минеральное выполнение. Они характеризуются неоднократным брекчированием в процессе формирования как жил, так и оруденения. Очевидно, что именно такие участки зоны были наиболее благоприятными для проникновения рудоносных гидротермальных растворов. Кроме вольфрамовой минерализации здесь также широко развиты флюорит, берилл, реже сидерит, барит, шестоватый и халцедоновидный кварц. Подобные участки обычно имеют значительную протяженность по простиранию зоны и, вероятно, значительный размах по вертикали, т. е. могут образовывать рудные столбы.

Важную роль в образовании рудных столбов, очевидно, играли также зоны пересечения указанной зоны и калгутинских тектонических структур северо-восточной ориентировки. Последние, видимо, являются более ранними. Учитывая, что калгутинская система разрывных нарушений в пределах участка характеризуется крутым северо-западным падением, следует ожидать северо-западное склонение рудных столбов. По данным буровых работ наибольшая концентрация рудных тел отмечена в зоне сопряжения основной рудной жильной зоны и ее ответвлений, а также в местах увеличения мощности и разветвления жильной зоны и в верхних частях выклинивающихся более мелких кварцевых жил при их переходе по восстанию в кварцевые

штокверки. Большинство рудных тел локализовано преимущественно в висячем боку рудной зоны. В целом средние углы падения рудных тел колеблются в значительных пределах (от 50 до 80°), но четко выраженной зависимости увеличения рудности зоны от выполаживания жильной зоны не установлено.

Наиболее богатое оруденение вольфрамитов часто приурочено к брекчированным жилам, которые имеют согласную с жильной зоной субмеридиональную либо северо-восточную ориентировку, и оперяющим их более мелким жилам и штокверкам.

Минеральный состав руд месторождения весьма сложен и разнообразен. Визуально и при микроскопических исследованиях установлено свыше 60 минералов. Главные жильные минералы – кварц, флюорит, сидерит, барит; рудные – вольфрамит (ферберит), берилл, пирит, халькопирит, шеелит. Кроме того, также широко развиты минералы зоны окисления: лимонит, гетит, пиролюзит, тунгстит, ферротунгстит, куприт, халькозин, лейкоксен. К второстепенным и редким минералам среди *рудных* относятся гюбнерит, медь самородная, гематит (мартит), арсенопирит, блеклая руда, висмутин, сфалерит, галенит, молибденит, киноварь, золото самородное, ильменит, ильменорутил, брукит, пирротин, рутил, хромит, кубанит; среди *нерудных* – турмалин, серицит, мусковит, лепидолит, биотит, полевые шпаты, эпидот, цоизит, апатит, циркон, малакон, гранат, амфибол, актинолит-асбест, асбест, родохрозит; среди *гипергенных* – тенорит, малахит, азурит, смитсонит, эритрин, бисмутит, торбернит, карфосидерит.

Среди жильных минералов с глубиной еще больше возрастает роль кварца при уменьшении количества флюорита и сидерита. В верхних горизонтах Южно-Калгутинского месторождения имеется ряд особенностей минерального состава руд, отличающих его от Калгутинского и других близко расположенных месторождений:

- 1) многостадийность формирования руд, проявленная в пределах одной мощной и протяженной жильной зоны, преобладание брекчиевых и крустификационных текстур руд, указывающих на близость к эпитептермальному оруденению;
- 2) значительная роль в составе жильных минералов кроме кварца также флюорита нескольких генераций, сидерита, барита;
- 3) существенно меньшая роль молибденита;
- 4) более низкотемпературный режим рудоотложения в верхних горизонтах месторождения (по данным гомогенизации газовой-жидких включений 83–183°C);
- 5) ферберитовый и стабильный состав вольфрамитов, их короткопризматический облик, низкие содержания в них тантала и ниобия;
- 6) обогащенность флюоритов элементами иттриевой группы.



Таблица 2

Элементы-примеси в минералах Южно-Калгутинского месторождения (г/т)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Be	1,67	4,3	0,7	1,52	15,7	22,6	223	97,6	5,37	95,5
V	7,1	7,7	7,64	8,05	20,6	19,0	6,08	4,46	7,68	4,5
Cr	2,5	3,1	3,0	2,2	2,8	2,6	2,1	2,0	2,0	3,7
Co	2,1	2,3	2,5	2,3	2,6	2,4	2,2	2,1	1,1	3,0
Ni	1,9	2,0	2,1	2,0	2,2	2,6	2,5	2,4	1,8	2,2
Cu	10,4	15,6	14,7	14,5	15,3	16,4	15,5	16,7	14,7	14,7
Zn	23,4	34,2	24,5	25,6	20,5	19,8	18,7	19,1	15,7	30,5
Rb	2	2,1	7,35	2	720	904	73,9	5,77	25,0	6,8
Sr	4,48	3,8	10,9	5,21	4,67	5,51	1,65	2,47	2,72	4,5
Nb	1020	1300	1260	4520	34,8	16,8	11,4	2,04	3,44	3,1
Cs	235	225	212	205	236	241	40	145	34	134
Ba	4,29	4,15	4,52	5,43	85	40,7	1,6	3,14	6,27	3,5
Pb	125	106	87	67	45	56	44	42	34	34
Th	0,68	3,89	3,07	3,66	0,7	26,8	1,38	1,08	0,68	3,3
La	0,15	0,85	0,3	0,19	0,25	58	0,12	0,64	0,24	0,66
Ce	0,36	1,89	0,59	0,5	1,22	168	0,71	3,42	0,92	3,45
Pr	0,22	0,28	0,12	0,13	1,31	25	0,42	2,21	1,17	2,29
Nd	0,36	1,12	0,47	0,38	0,96	99,7	1,08	3,41	0,97	3,45
Sm	0,049	0,29	0,39	0,05	0,14	14,3	0,11	0,65	0,17	0,65
Eu	0,022	0,09	0,16	0,06	0,056	1,82	0,031	0,13	0,048	0,14
Gd	0,061	0,41	0,92	0,096	0,081	8,82	0,098	0,43	0,11	0,44
Tb	0,035	0,12	0,47	0,047	0,01	1,0	0,017	0,076	0,02	0,08
Dy	0,3	1,11	5,06	0,32	0,038	2,95	0,12	0,39	0,11	0,4
Ho	0,092	0,29	1,52	0,11	0,0091	0,37	0,021	0,058	0,022	0,06
Er	0,42	1,21	6,3	0,4	0,01	0,93	0,043	0,16	0,074	0,15
Tm	0,12	0,31	1,35	0,13	0,0054	0,13	0,009	0,013	0,015	0,014
Yb	1,51	2,49	13,4	1,41	0,024	0,91	0,048	0,076	0,072	0,095
Lu	0,3	0,48	1,84	0,24	0,005	0,11	0,013	0,018	0,011	0,017
Y	5,72	8,84	34,5	8,25	14,9	25,5	4,27	11,8	1,14	12,2
Ga	7,5	8,4	9,7	7,7	15,7	16,4	16,6	16,5	15,8	17,9
Zr	28,7	34,6	29,7	57,3	3,4	6,48	2,64	3,4	4,7	5,8
Sc	105	108	145	102	10,1	9,7	2,5	9,7	2,1	12,7
Hf	0,12	0,87	1,13	2,57	0,1	0,21	0,024	0,043	0,12	0,05
Ta	0,37	70,8	1,74	392	0,84	2,66	0,6	0,23	0,37	0,4
Mo	111	407	405	233	–	–	–	–	–	–
Sb	2,4	2,5	2,7	2,6	3,5	2,8	2,6	3,2	2,3	4,5
Sn	4,3	3,9	4,1	4,0	20,3	22,4	13,4	24,6	10,4	23,5
W	–	–	–	–	251	799	658	60,4	358	55
U	20,3	25,9	19,6	62,6	0,63	2,16	11,2	23,7	5,56	24,8
Li	65	76	66	56	77	87	28	65	23	66
Ag	80,4	76,8	65,6	70,3	56,7	66,5	25,7	60,5	15,7	456
Bi	14,5	17,4	18,6	19,6	21,8	23,3	12,7	23,6	9,7	4,7
Re	3,5	4,2	2,8	1,9	34,9	36,5	38,5	15,6	14,8	198,7
ΣTR	9,72	19,87	67,39	12,31	19,0	407,5	7,11	23,48	5,22	24,1
(La/Yb) _N	0,066	0,23	0,015	0,09	7,18	42,0	1,65	5,56	2,17	4,54
TE _{1,3}	1,59	1,1	1,21	1,32	3,3	1,13	1,62	1,91	2,05	1,91

Южно-Калгутинское месторождение представляет собой самую верхнюю часть гидротермальной колонны оруденения Калгутинского рудного поля.

Содержания элементов в рудах варьируют (%): вольфрама от 0,1 до 1,8, молибдена от 0,01 до 0,9,

бериллия от 0,05 до 1,1, меди от 0,2 до 0,9, висмута от 0,01 до 0,6.

Рудная минерализация, кроме основной жильной зоны, проявлена в кварцевых жилах с ферберитом и во флюидо-эксплозивных брекчиях. В по-



Продолжение табл. 2

Элемент	11	12	14	14	15	16	17	18	19
Be	1390	24	31,6	0,88	0,96	2,02	1,16	1,1	95,3
V	5,05	4,4	3,95	3,64	3,81	3,9	8,61	3,5	4,4
Cr	12,5	7,8	8,1	7,7	7,6	6,5	4,7	7,1	4,6
Co	4,9	3,4	3,5	4,2	4,0	3,7	2,4	2,8	2,0
Ni	2,8	2,3	2,4	3,6	3,5	3,1	2,0	3,4	2,3
Cu	12,7	9,7	9,6	–	–	–	675	–	576
Zn	38,9	23,6	21,2	77,9	80,4	87,7	–	267	89,5
Rb	26,1	34,5	23,5	2	2	2	3,72	2,1	6,0
Sr	2,48	1,9	1,0	1	1,49	1,85	2,78	1,9	8,5
Nb	2,11	1,39	14,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,2
Cs	11,7	6,8	7,3	3,4	2,1	2,0	3,3	3,7	4,2
Ba	12,6	14,5	6,07	3,0	4,96	3,0	4,48	3,3	3,6
Pb	76,7	23,6	22,7	45,6	34,6	23,7	112	127	24,6
Th	0,95	0,12	0,1	0,1	0,1	0,28	0,23	0,14	1,3
La	0,63	0,71	0,17	0,084	0,24	0,22	3,27	0,21	0,64
Ce	1,3	0,53	0,34	0,23	0,56	0,44	8,15	0,41	3,42
Pr	0,18	0,082	0,063	0,02	0,082	0,054	1,17	0,04	2,27
Nd	0,75	0,41	0,26	0,12	0,33	0,2	5,09	0,21	3,41
Sm	0,2	0,14	0,057	0,037	0,12	0,051	1,87	0,04	0,65
Eu	0,027	0,03	0,012	0,0069	0,027	0,013	0,66	0,011	0,14
Gd	0,11	0,12	0,099	0,044	0,1	0,046	2,93	0,054	0,43
Tb	0,026	0,029	0,016	0,01	0,019	0,011	0,78	0,013	0,08
Dy	0,13	0,16	0,064	0,037	0,094	0,054	5,11	0,061	0,4
Ho	0,026	0,039	0,024	0,015	0,02	0,0097	1,1	0,012	0,06
Er	0,049	0,098	0,051	0,027	0,057	0,017	3,53	0,03	0,15
Tm	0,012	0,016	0,017	0,006	0,011	0,005	0,59	0,007	0,014
Yb	0,037	0,085	0,066	0,027	0,033	0,015	3,59	0,028	0,076
Lu	0,009	0,012	0,017	0,005	0,01	0,0057	0,59	0,007	0,017
Y	0,66	0,065	0,75	1,17	2,73	2,27	22,2	2,2	13,3
Ga	12,6	8,5	6,4	5,5	3,4	3,3	45,7	45,9	12,7
Zr	6,11	2,52	2,35	1,65	2,18	1,77	4,9	3,5	4,0
Sc	17,8	18,7	15,5	15,1	15,3	14,5	12,3	28,7	12,6
Hf	018	0,065	0,074	0,033	0,05	0,046	0,22	0,23	0,048
Ta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,15
Mo	4660	961	1260	59,6	573	2200	8,88	2350	–
Sb	2,7	2,4	3,2	2,5	2,2	2,1	6,7	4,8	4,9
Sn	65,5	56,8	45,7	53,5	55,7	45,8	34,7	45,9	34,7
W	566	1240	1350	17,9	7,01	131	8,6	5,6	65,7
U	15,0	5,38	5,06	0,22	1,18	0,61	1,25	0,6	25,6
Li	13,6	6,4	5,5	2,6	2,4	2,3	5,4	3,2	4,6
Ag	280,4	125	107	206	211	232	135	367	456
Bi	12,5	9,7	10,1	15,7	16,1	18,7	17,7	31,5	34,8
ΣTR	3,99	2,53	2,1	1,84	4,43	3,41	60,63	3,33	25,06
(La/Yb) _N	11,1	5,49	1,69	2,08	4,75	10,0	0,6	5,15	5,56
TE _{1,3}	1,09	0,81	0,85	0,87	1,06	1,14	1,14	1,04	1,95

следних отмечено медно-молибден-порфировое прожилково-вкрапленное оруденение. Порфировый тип оруденения на Южно-Калгутинском месторождении не изучен.

Содержания элементов-примесей в минералах Южно-Калгутинского месторождения приведено в табл. 2.

Обращают на себя внимание значительно меньшие концентрации суммы редких земель, Bi, Ag, Li, Cs, Re в молибденитах второй генерации по сравнению с первой. В халькопиритах медно-молибден-порфирового типа концентрации Ag, Bi, Sc, Zn выше, чем в «медном колчедане» жильной зоны, а Re в молибдените этого типа значительно выше,



Элемент	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Be	15,9	13,7	9,83	1,63	36,9	–	–	–	–	–	–
V	4,5	49,5	46,0	3,37	4,47	18,6	20,1	17,7	16,7	17	14,8
Cr	3,4	4,3	3,8	4,6	3,1	4,5	3,5	2,3	2,1	2,3	2,2
Co	2,1	2,4	2,2	2,4	2,0	4,1	3,5	2,2	2,0	2,2	2,1
Ni	2,0	2,2	2,1	2,0	2,1	2,5	2,3	2,4	1,8	1,9	2,0
Cu	34,8	13,7	9,8	10,4	9,5	10,5	8,6	7,6	6,8	5,7	6,6
Zn	45,9	18,7	14,6	13,6	11,6	3,8	5,4	6,5	5,3	5,2	6,1
Rb	4,7	666	584	5,15	20,2	49,2	41,3	35,3	44,8	39,4	26,5
Sr	385	12	8,39	349	49,3	3,67	2,73	3,55	5,14	3,16	4,07
Nb	5,6	14,8	13,5	21,4	14,9	3,85	6,48	2,96	1,41	0,78	2,32
Cs	23,6	56,9	76,7	45,7	56,7	486	490	501	476	433	465
Ba	16,7	151	135	3,8	7,41	7,94	12,1	10,2	15,4	9,63	13,0
Pb	15,6	8,7	7,6	9,8	10,5	7,7	7,5	6,5	5,8	5,6	5,5
Th	42,5	0,28	0,19	3,75	0,79	0,23	0,31	0,29	0,44	0,27	0,41
La	29,2	1,2	1,49	84,5	0,83	0,45	0,71	4,3	1,12	0,68	0,99
Ce	105,6	2,1	2,74	95,0	1,81	0,97	1,55	4,47	2,14	1,39	1,85
Pr	23,1	0,22	0,28	6,91	0,26	0,11	0,67	0,15	0,24	0,14	0,21
Nd	11,5	0,72	0,84	17,8	0,95	0,4	0,69	0,56	0,79	0,47	0,59
Sm	89,2	0,22	0,13	3,7	0,24	0,11	0,15	0,14	0,17	0,089	0,18
Eu	5,6	0,13	0,22	1,14	0,083	0,034	0,042	0,043	0,054	0,036	0,036
Gd	85,9	0,12	0,17	8,59	0,43	0,063	0,12	0,089	0,13	0,056	0,094
Tb	28,3	0,035	0,05	2,11	0,078	0,0094	0,014	0,023	0,021	0,01	0,014
Dy	206,6	0,14	0,23	18,7	0,52	0,076	0,1	0,087	0,086	0,048	0,094
Ho	33,1	0,036	0,062	4,79	0,11	0,012	0,013	0,017	0,02	0,0095	0,015
Er	96,2	0,1	0,19	16,2	0,35	0,026	0,043	0,047	0,036	0,023	0,031
Tm	24,2	0,028	0,037	2,37	0,045	0,0094	0,0095	0,0067	0,012	0,005	0,013
Yb	189,8	0,12	0,22	14,1	0,28	0,038	0,041	0,035	0,048	0,011	0,028
Lu	25,2	0,024	0,035	2,2	0,032	0,0053	0,0095	0,0059	0,0071	0,005	0,0082
Y	323,7	1,17	1,93	335,0	18,2	4,34	2,27	4,53	3,96	1,61	1,05
Ga	19,8	23,7	24,6	10,1	12,4	6,6	6,8	7,0	6,7	6,9	7,1
Zr	8,3	5,48	6,3	16,4	11,5	3,4	4,33	4,04	5,93	6,18	7,02
Sc	1,7	1,8	1,5	2,3	2,1	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,2
Hf	3,4	0,13	0,13	1,86	0,67	0,084	0,12	0,14	0,15	0,12	0,19
Ta	1,35	0,38	0,35	2,67	4,78	0,35	0,26	0,18	0,28	0,1	0,49
Mo	86,7	18,1	31,7	17,4	173	356	375	258	210	12,7	14,2
Sb	1,3	2,3	2,2	2,5	2,3	10,6	7,5	4,6	4,3	4,4	4,7
Sn	3,7	4,8	4,5	5,6	8,6	1,6	1,8	2,0	1,9	2,2	2,4
W	534	44,4	31,3	6310	273	70,6	94	33,8	1,35	1,95	5,18
U	1,34	0,22	0,29	1,3	0,66	1,11	1,3	2,02	0,18	0,15	0,19
Li	1,8	56,9	57,2	23,5	12,6	227	236	242	254	265	276
Ag	4,9	3,2	3,3	4,6	2,1	1,2	1,1	1,2	1,4	1,2	1,1
Bi	31,2	4,5	3,6	3,4	2,0	8,7	7,6	6,4	5,7	4,7	4,2
ΣTR	1277,2	6,36	8,62	613,11	24,22	6,65	6,43	14,5	4,79	4,58	5,2
(La/Yb) _N	0,1	6,55	4,46	3,96	1,95	7,94	11,25	80,29	15,48	43,2	24,1
TE _{1,3}	2,68	1,09	1,13	1,05	1,04	1,07	1,55	0,99	1,0	1,06	1,12

Примечание. Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). Рений определен кинетическим методом анализа в отделе научно-производственных аналитических работ ИМГРЭ (Москва). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [10]; TE_{1,3} по [14]. Минералы рудной зоны: 1–4 – вольфрамиты; 5, 6, 8 – молибдениты первой генерации, 7, 9 – молибденит второй генерации, 10 – молибденит медно-молибден-порфирового типа из флюидо-эксплозивных брекчий; 11 – пирит тонкокристаллический; 12, 13 – пирротин, 14–16 – халькопирит, 17 – сфалерит; минералы медно-молибден-порфирового типа: 18 – халькопирит, 19 – молибденит; 20 – кварц; 21, 22 – мусковит; 23 – флюорит светло-сиреневый; 24 – флюорит темно-фиолетовый; 25–30 – берилл.



Таблица 3

Термобарогеохимические и изотопные данные исследований минералов Южно-Калгутинского месторождения

Минерал	n	T _{гом.} , °C	Соленость, мас. %-экв.	δ ³⁴ S, ‰	δ ¹³ C, ‰ PDB	δ ¹⁸ O, ‰ SMOW
Мусковит из грейзенов	3	340–350	23–25	–	–	
Серицит из березитов	4	175–185	14,4–15	–	–	
Пирит из грейзенов	2	–	–	–1,2...–1,5	–	
Пирит из березитов	2	–	–	4,5...5,5	–	
Сидерит из грейзенов*	3	320–330	21–23	–	–6,4...–6,8	15,3–16,2
Кальцит из березитов*	4	165–170	7,8–8,3	–	–1,1...–1,9	19,1–20,2

Примечание. *Минералы из прожилков. Изотопный состав серы, кислорода и углерода определен на масс-спектрометре МИ 1201В в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск).

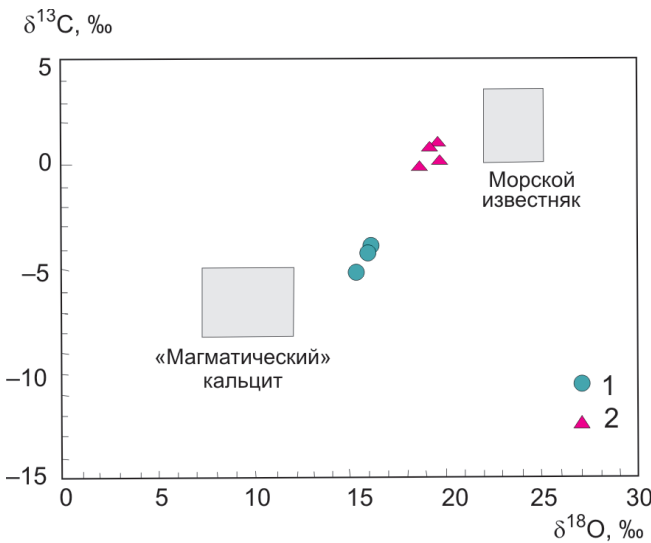


Рис. 5. Диаграмма соотношений δ¹³C – δ¹⁸O для карбонатов Южно-Калгутинского месторождения (поля «магматического» кальцита и морского известняка выделены по данным [14, 15])

1 – сидерит из грейзенов; 2 – кальцит из березитов

чем в молибденовом блеске жильной зоны. Нормированные отношения La/Yb в минералах сильно варьируют (от 0,015 до 80,29), что свидетельствует о различной степени дифференцированности тяжелых и легких РЗЭ. Максимальные суммарные концентрации РЗЭ выявлены для кварца, светло-сиреневого флюорита и молибденита первой генерации.

В минералах жильной зоны и медно-молибден-порфиорового типа наблюдается преимущественно ТЭФ РЗЭ М-типа, варьирующий от 1,1 до 3,3, максимальные его значения свойственны молибденитам жильной зоны. Однако в пирротинах и халькопиритах жильной зоны слабо выражен также ТЭФ РЗЭ W-типа (от 0,81 до 0,87 при пороговом значении 0,9). Вероятно, проявление обоих типов ТЭФ РЗЭ связано с различным уровнем насыщенности гидротермальных растворов летучими компонентами, и в первую очередь F, CO₂, SO₂, H₂O, а также изменениями кислотности и щелочности среды кристаллизации.

Особенности генезиса оруденения определяются при анализе данных стабильных изото-

пов: серы, углерода и кислорода в различных минералах месторождения (табл. 3). Температуры гомогенизации первичных газовой-жидких включений и насыщенность маточных включений снижались от кварцево-грейзеновой минерализации (340–350 °C) в низах жильной зоны к ее верхам в березитах (175–185 °C). Значения δ³⁴S варьируют от –1,2 до +5,5, низкие свойственны пириту из грейзенов, а повышенные – пириту из березитов. Обычно они объясняются магматическим источником серы [16, 17].

Значения δ¹³C и δ¹⁸O в сидеритах и кальцитах различных образований свидетельствуют о смешанном их характере – ювенильно-коровом (рис. 5). В то же время значения изотопных меток углерода раннего сидерита близки к составу концентрированной изотопно тяжелой (δ¹³C = –7,0 ‰) фазы мантийного углерода (по [4]). Это также подтверждает предположение о возможном источнике и трансмагматических флюидов в коровом рудогенезе Южно-Калгутинского месторождения.

Выводы

Магматические образования на Южно-Калгутинском месторождении представлены восточной частью Калгутинского плутона, а также малой интрузией двуслюдяных лейкогранитов и дайками онгонитов и эльванов. Геохимическая специализация на вольфрам и молибден отмечена в двуслюдяных лейкогранитах и дайках эльванов и онгонитов. В большинстве пород наблюдается отклонение от заряд-радиус контролируемого поведения и соответствия в координатах Y/No – Zr/Hf. Эволюция интрузивного магматизма имела тренд изменения от окисленного режима к восстановленному, повышавшему потенциальную рудоносность. Повышение величины ТЭФ РЗЭ М-типа в магматических породах коррелируется с высоким содержанием вольфрама в расплавах. Указанные характеристики обусловлены высокой флюидонасыщенностью и активностью летучих компонентов в расплавах (в первую очередь F, а также CO₂, SO₂, H₂O).

Главный тип оруденения – низкотемпературное кварцево-карбонатное жильное выполнение минерализованной зоны, сопровождаемое березитами.



На глубоких горизонтах (свыше 150 м) проявлено кварцево-грейzenовое оруденение вольфрама, молибдена, бериллия, флюорита. На месторождении присутствуют жилы кварц-ферберитового состава и медно-молибден-порфиоровое оруденение, тяготеющее к флюидо-эксплозивным брекчиям. Изотопия серы указывает на ее магматогенную природу. Соотношение стабильных изотопов углерода и кислорода свидетельствует о смешанной природе растворов – ювенильно-коровой. Предполагается участие и трансмагматических флюидов в формировании Южно-Калгутинской магмо-рудно-метасоматической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анникова, И. Ю.** U-Pb, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датирование и Sm-Nd, Pb-Pb изотопное исследование Калгутинской молибден-вольфрамовой рудно-магматической системы, Южный Алтай [Текст] / И. Ю. Анникова, А. Г. Владимиров, С. А. Выставной // Петрология. – 2006. – Т. 14, № 1. – С. 90–108.
- Баклаков, М. С.** Калгутинское молибден-вольфрамовое месторождение [Текст] / М. С. Баклаков, М. К. Русанов // Вестн. ЗСГУ. – 1939. – № 1. – С. 1–17.
- Виноградов, А. П.** Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры [Текст] / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–572.
- Галимов, Э. М.** Геохимия стабильных изотопов углерода [Текст] / Э. М. Галимов. – М.: Недра, 1968. – 222 с.
- Гусев, А. И.** Новые данные по магматизму и оруденению Калгутинского месторождения, Горный Алтай [Текст] / А. И. Гусев, Б. Г. Семенов // Руды и металлы. – 2005. – № 4. – С. 27–32.
- Гусев, А. И.** Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов [Текст] / А. И. Гусев, А. А. Гусев // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 5. – С. 45–49.
- Гусев, Н. И.** Магматизм и молибден-порфиоровое оруденение Калгутинского рудного поля (Горный Алтай) [Текст] / Н. И. Гусев, А. И. Гусев, С. П. Шокальский // Региональная геология и металлогения. – 2010. – Вып. 43. – С. 83–97.
- Зарайский, Г. П.** Цирконий–гафниевый индикатор фракционирования редкометалльных гранитов [Текст] / Г. П. Зарайский, А. М. Аксюк, В. Н. Девятова // Петрология. – 2009. – № 1. – С. 28–50.
- Поцелуев, А. А.** Калгутинское редкометалльное месторождение (Горный Алтай): магматизм и рудогенез [Текст] / А. А. Поцелуев, Л. П. Рихванов, А. Г. Владимиров. – Томск: STT, 2008. – 226 с.
- Anders, E.** Abundances of the elements: meteoric and solar [Text] / E. Anders, N. Greevesse // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
- Baker, T.** A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implication for

exploration [Text] / T. Baker, P. J. Pollard, R. Mustard // Society of Economic Geologists Newsletter. – 2005. – Vol. 61. – P. 5–17.

12. **Bau, M.** Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect [Text] / M. Bau // Contrib. Miner. Petrol. – 1996. – Vol. 123. – P. 323–333.

13. **Blevin, P. L.** Chemistry, origin and evolution of mineralized granites in the Lachlan Fold Belt, Australia: The metallogeny of I- and S-type granites [Text] / P. L. Blevin, B. W. Chappel // Econ. Geol. – 1995. – Vol. 90. – P. 1604–1619.

14. **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 [Text] / W. Irber // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63, N 3/4. – P. 49–71.

15. **Kleine T.** Rapid accretion and early core formation on asteroids and the terrestrial planets from Hf–W chronometry [Text] / T. Kleine, C. Munker, K. Mezger // Nature. – 2002. – Vol. 418. – P. 952–955.

16. **Ohmoto, H.** Hydrogen and oxygen isotope composition of fluid inclusion in the Kuroko deposits [Text] / H. Ohmoto, R. O. Rye // Econ. Geol. – 1974. – Vol. 69. – P. 947–953.

17. **Ohmoto, H.** Isotopes of sulfur and carbon [Text] / H. Ohmoto, R. O. Rye // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – N.Y.: Wiley Interscience, 1979. – P. 509–567.

REFERENCES

- Annikova I.Yu., Vladimirov A.G., Vystavnoy S.A. [The U-Pb, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating and Sm-Nd, Pb-Pb isotope studies of the Kalguty molybdenum-wolframium ore-magmatic system, South Altai]. *Petrologiya – Petrology*, 2006, vol. 14, no. 1, pp. 90–108. (In Russ.).
- Baklavov M.S., Rusanov M.K. [The Kalgutinskoe molybdenum-wolframium deposit]. *Byulleten ZSGU – ZSGU Bulletin*, 1939, no. 1, pp. 1–17. (In Russ.).
- Vinogradov A.P. [Average content of chemical elements in major types of igneous rocks in the Earth's crust]. *Geokhimiya – Geochemistry*, 1962, no. 7, pp. 555–572. (In Russ.).
- Galimov E.M. *Geokhimiya stabil'nykh izotopov ugleroda* [Geochemistry of stable carbon isotopes]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 222 p. (In Russ.).
- Gusev A.I., Sementsov B.G. [New data on magmatism and mineralization of the Kalgutinskoe deposit, Gorny Altai]. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2005, no. 4, pp. 27–32. (In Russ.).
- Gusev A.I., Gusev A.A. [Tetrad effect of fractionation of rare earth elements and its application in granitoid petrology]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Progress of Modern Natural Science*, 2011, no. 5, pp. 45–49. (In Russ.).
- Gusev N.I., Gusev A.I., Shokalskiy S.P. [Magmatism and molybdenum-porphyrity mineralization of the Kalgutinsky ore field (Gorny Altai)]. *Regional'naya ge-*



ologia i metallogeniya – *Regional Geology and Metallogeny*, 2010, iss. 43, pp. 83–97. (In Russ.).

8. Zarayskiy G.P., Aksyuk A.M., Devyatova V.N. [Zirconium-hafnium indicator of rare-metal granite fractioning]. *Petrologiya – Petrology*, 2009, no. 1, pp. 28–50. (In Russ.).

9. Potseluev A.A., Rikhvanov L.P., Vladimirov A.G. *Kalgutinskoe redkometal'noe mestorozhdenie (Gornyy Altay): magmatizm i rudogenez* [The Kalgutinskoe rare-metal deposit (Gorny Altay): Magmatism and ore genesis]. Tomsk, STT, 2008. 226 p. (In Russ.).

10. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1989, vol. 53, pp. 197–214.

11. Baker T., Pollard P.J., Mustard R. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implication for exploration. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 2005, vol. 61, pp. 5–17.

12. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous

systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. *Contrib. Miner. Petrol.*, 1996, vol. 123, pp. 323–333.

13. Blevin P.L., Chappel B.W. Chemistry, origin and evolution of mineralized granites in the Lachlan Fold Belt, Australia: The metallogeny of I- and S-type granites. *Econ. Geology*, 1995. vol. 90. pp. 1604–1619.

14. 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. 49–71.

15. Kleine T. Rapid accretion and early core formation on asteroids and the terrestrial planets from Hf–W chronometry. *Nature*, 2002, vol. 418, pp. 952–955.

16. Ohmoto H., Rye R.O. Hydrogen and oxygen isotope composition of fluid inclusion in the Kuroko deposits. *Econ. Geol.*, 1974, vol. 69, pp. 947–953.

17. Ohmoto H., Rye R.O. *Isotopes of sulfur and carbon. Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* N.Y., Wiley Interscience, 1979, pp. 509–567.

© А. И. Гусев, Н. И. Гусев, 2016

ГУСЕВ Анатолий Иванович, Алтайская государственная академия образования им. В. М. Шукшина, Бийск, д.г.-м.н., проф. *E-mail: anzerg@mail.ru*
ГУСЕВ Николай Иванович, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ), заводделом, к.г.-м.н. *E-mail: Nikolay_Gusev@vsegei.ru*

GUSEV Anatoly, DSc, Prof., V.M. Shukshin Altai State Academy of Education, Biysk, Russia. *E-mail: anzerg@mail.ru*
GUSEV Nikolay, PhD, VSEGEI, Russia. *E-mail: Nikolay_Gusev@vsegei.ru*