

КОЛУМБИТ-ТАНТАЛИТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕСТЁР (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

В.И. Алексеев, Ю.Б. Марин

ФГБОУВО Санкт-Петербургский горный университет, В.О. 21 линия 2, г. Санкт-Петербург, 199106;
e-mail: alekseev_vi@pers.spmi.ru

Поступила в редакцию 16 августа 2021 г.

На месторождении Кестёр (Восточная Якутия) установлены три минеральных вида группы колумбита: колумбит-(Fe), колумбит-(Mn) и танталит-(Mn), входящие в состав редкометалльных гранитов, онгонитов, альбититов и грейзенов. Преобладает колумбит-(Mn): $Ta/(Ta + Nb) = 0.30$, $Mn/(Mn + Fe) = 0.64$. Обобщенная формула колумбит-танталита месторождения: $(Mn_{0.61}Fe_{0.34})_{0.95}(Nb_{1.37}Ta_{0.58}Ti_{0.04}W_{0.03}Sn_{0.01})_{2.03}O_6$. Колумбит-танталит образует полиминеральные индивиды с концентрической ростовой зональностью (от ядра к периферии): колумбит-(Fe) → колумбит-(Mn) → танталит-(Mn) + уранмикролит → колумбит-(Mn). Типоморфная примесь в колумбит-танталите месторождения Кестёр – WO_3 ; в среднем 2.67 % (ф.к. 0.04); максимум 7.12 % (ф.к. 0.11). Предполагается изоморфное замещение катионов в позиции B по схеме: $2(Nb,Ta)^{5+} \leftrightarrow W^{6+} + Ti^{4+}$. Типоморфная примесь в танталите-(Mn) – SnO_2 ; в среднем 1.01% (ф.к. 0.03); максимум 3.74 % (ф.к. 0.21). В состав парагенезиса колумбит-танталита входят: альбит, топаз, лепидолит, Nb-Ta-содержащий касситерит, вольфрамоиксиолит, вольфрамит, U-Hf-содержащий циркон, стрюверит. Эволюция колумбит-танталита месторождения Кестёр сопровождается увеличением отношений Ta/Nb, Mn/Fe, Sn/W, выражается в смене колумбита танталитом как в процессе образования рудоносных пород, так и в ряду этих пород: редкометалльные граниты → альбититы → грейзены. Пределы колебания отношений Ta/(Ta + Nb) 0.07–0.74, Mn/(Mn + Fe) 0.16–0.96. Разнообразие и эволюция минералов группы колумбита месторождения Кестёр указывают на их принадлежность к редкометалльной рудно-магматической системе, включающей редкометалльные граниты, альбититы и грейзены. Наличие в районе месторождения малых интрузий редкометалльных гранитов и онгонитов позволяет прогнозировать выявление новых объектов коренной и россыпной колумбит-танталитовой минерализации.

Ключевые слова: колумбит, танталит, редкометалльные граниты, онгониты, альбититы, грейзены, Кестёр, Восточная Якутия.

ВВЕДЕНИЕ

Государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» предусматривает обеспечение создаваемых промышленных производств сырьем редких металлов путем подготовки новых запасов руд. Эффективным способом решения этой задачи является повышение извлечения редких металлов из разведанных рудных залежей, что равносильно открытию и освоению новых месторождений [16]. В частности, значительные перспективы связаны с оловорудными месторождениями Дальнего Востока: Тигриное (Приморье), Правоурмийское (Приамурье), Одинокое и Полярное (Якутия) и др. [1, 4, 6].

В гранитах и метасоматитах редкометалльно-оловорудного месторождения Кестёр в Восточной Якутии рудные минералы представлены касситери-

том, амблигонитом, вольфрамитом и сульфидами Sn, Fe, Cu, Zn. Широко развиты также потенциально промышленные минералы группы колумбита и сопутствующие им тантало-ниобаты – вольфрамоиксиолит, микролит, стрюверит, ильменорутит [2, 8, 18]. Цель статьи: классификация и характеристика минералов группы колумбита месторождения Кестёр.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Олово-редкометалльное месторождение Кестёр, открытое в 1937 г. П.П. Епифановым, расположено в Восточной Якутии, в междуречье Яны и Борулаха. Месторождение относится к Эге-Хайскому оловорудно-россыпному узлу, локализованному на севере Верхоянского складчато-надвигового пояса, в Янском сегменте Адыча-Эльгинской складчато-глыбовой си-

стемы [8]. В триасовых терригенных толщах, смятых в линейные складки близмеридионального и северо-западного направлений, залегают массивы гранитоидов Эге-Хайского поперечного магматического ряда. В Западном куполе Арга-Ыннах-Хайского массива андезиновые граниты прорваны серпообразным гарполитом рудоносных микроклин-альбитовых гранитов с лепидолитом, топазом и амблигонитом (рис. 1). Возраст рудоносных гранитов 115–129 млн лет [18] позволяет отнести их к альб-сеноманской магматической провинции Тихоокеанской Азии, с которой связаны крупные месторождения Sn, W и других металлов [20]. В процессе геологосъемочных и поисковых работ 1960–1970 гг. эти граниты были отнесены к «аляскитам» или «апогранитам» [7, 10, 19]. Использование комплекса геолого-петрологических и минералого-геохимических признаков позволило идентифицировать микроклин-альбитовые граниты Кестёрского гарполита как высокофосфористые редкометалльные граниты литий-фтористого геохимического типа [2, 9, 15, 18]. Граниты сопровождаются дайками онгонитов, образующими с гранитами кестёрский интрузивно-дайковый комплекс (рис. 1) и описанными в [2, 7]. Микроклин-альбитовые граниты Кестёрского гарполита (далее «редкометалльные граниты») содержат такие акцессорные минералы, как монтебразит (в среднем 1.9 %), танталоносный касситерит (0.2 %), минералы группы колумбита (далее колумбит-танталит) и другие тантало-ниобаты (0.4 %). Благодаря повышенному содержанию акцессориев, редкометалльные граниты являются бедными оловянно-редкометалльными рудами.

Месторождение Кестёр представляет собой залежь рудоносных грейзенов, расположенную в ви́сячем эндоконтакте гарполита редкометалльных гранитов на его изгибе и погружающуюся на запад под углами 30–75°. Длина залежи 1200 м, ширина до 130 м, мощность 20–130 м. С погружением мощность залежи уменьшается. С удалением от изгиба гарполита к северо-востоку и юго-востоку грейзены сменяются грейзенизированными гранитами. Грейзены – серые мелко-среднезернистые, равностернистые лепидогранобластовые кварц-мусковитовые породы с массивной или прожилковой текстурой, содержащие в переменных количествах топаз, альбит, лепидолит, циннвальдит, турмалин, амблигонит, фторапатит и другие фосфаты Li, Al, Ca и Cu (аугелит, франколит и др.). Рудные минералы грейзенов: танталосодержащий касситерит, колумбит-танталит, вольфрамит, халькопирит, арсенопирит, лёллингит, станнин, кёстерит, самородный висмут, вольфрамооксиолит, стрюверит, ильменорутит, уранмикролит и др. Рудоносные метасоматиты пронизаны кварцевыми прожилками

различного залегания, содержащими минералы грейзеновой ассоциации (амблигонит, топаз, касситерит, вольфрамит, кёстерит, халькопирит, арсенопирит и др.) [10, 13, 18, 19].

Наряду с грейзенами и редкометалльными гранитами, рудоносными породами месторождения Кестёр являются кварц-альбитовые метасоматиты, слагающие пологозалегающие залежи мощностью до 2–8 м в грейзенизированных гранитах. Структура альбититов мелко-среднезернистая, гранобластовая, текстура массивная. Альбититы предшествуют по времени образования кварц-слюдяным грейзенам, замещаясь ими. В состав альбититов входят кварц, микроклин, мусковит, фторапатит, Hf-циркон. Рудные минералы альбититов: Ta-Nb-содержащий касситерит, колумбит-танталит, стрюверит, уранмикролит.

Таким образом, месторождение Кестёр включает три вида рудоносных пород (в порядке образования): редкометалльные граниты → альбититы → грейзены. Грейзеновая залежь разведана на глубину 50–60 м, а оруденение прослежено до 150–200 м. С глубиной рудоносность грейзенов уменьшается. Рудная минерализация неравномерная – вкрапленная, гнездовая и прожилковая. Содержание олова в рудах 0.05–3.0%. Средние содержания компонентов (%): Sn – 0.28, Ta₂O₅ – 0.0076, Nb₂O₅ – 0.0094, Li₂O – 0.35, Rb₂O – 0.14, Cs₂O – 0.01. Разведанные запасы месторождения категории C₁₊₂ (т): Sn 17 151, Ta₂O₅ 468, Nb₂O₅ 579, Li₂O 21600, Rb₂O 8616, Cs₂O 615 [7]. Прогнозные ресурсы металлов по категории P₁ (тыс. т): Sn – 5.20, Ta₂O₅ – 19.14, Nb₂O₅ – 74.62, Li₂O – 2029.63, Rb₂O – 1036.98, Cs₂O – 39.76, Ge – 0.09 [8].

С 1975 г. объект законсервирован и находится в госрезерве. В 1991 г. было составлено «Технико-экономическое соображение о целесообразности постановки предварительной разведки на редкометалльном месторождении Кестер» (Фонды ГУП «Сахагеоинформ») [7, 8]. В связи с промышленными перспективами месторождения в отношении редких металлов актуальной проблемой является минералогическое исследование и классификация минералов группы колумбита.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

В статье представлены результаты исследования коллекции гранитов, метасоматитов и руд месторождения Кестёр Горного музея (Санкт-Петербургский горный университет) и коллекции, собранной М.А. Романовой, научным сотрудником Лаборатории математической геологии Математического института им. В.А. Стеклова, во время доразведки месторождения в 1970–1971 гг. (всего 155 проб). Использо-

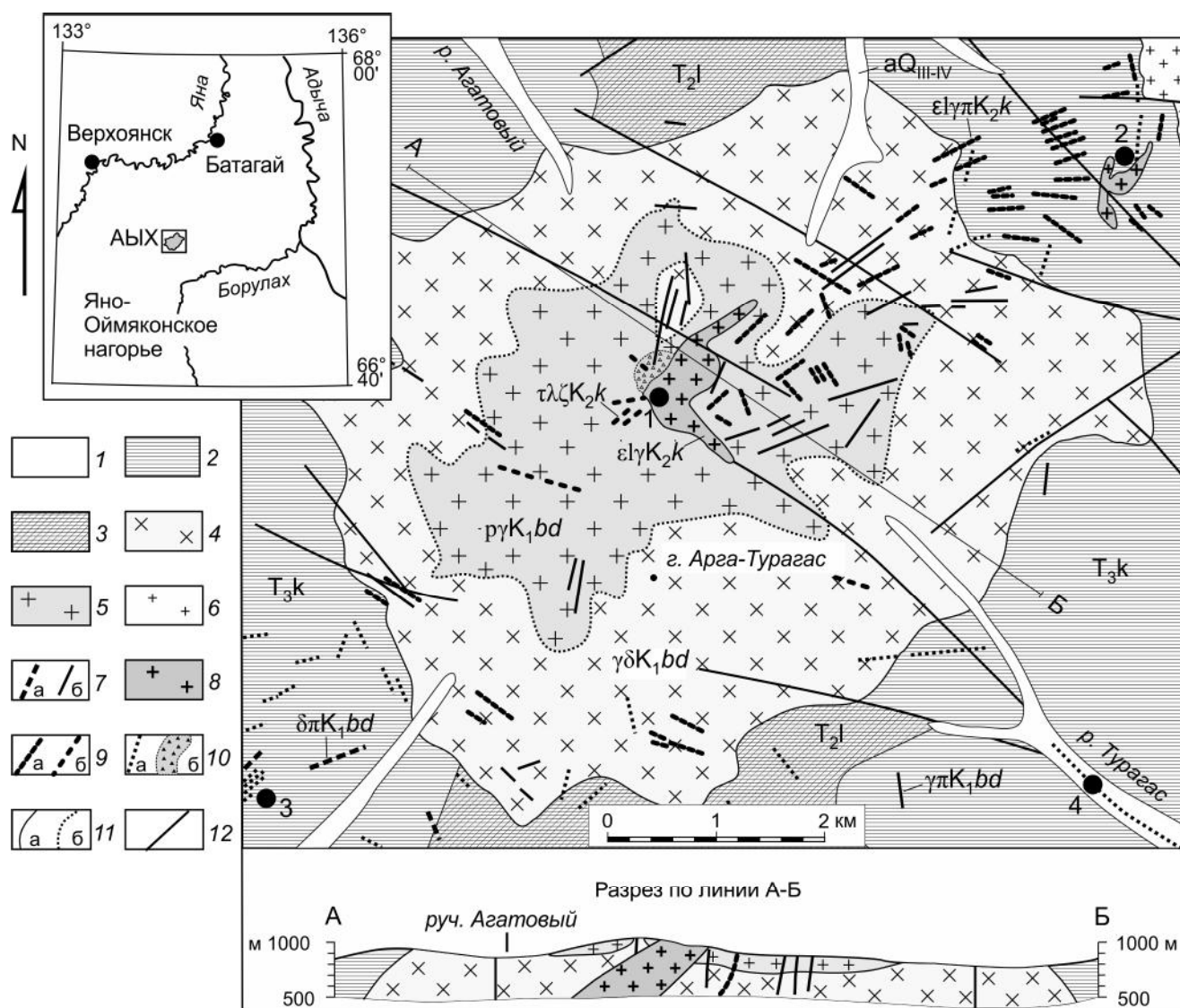


Рис. 1. Геологическая карта Западного купола Арга-Ыннах-Хайского массива (по А.В. Дорофееву, А.А. Мартыненко, 1963; с учетом данных В.В. Бояршинова и др., 1980; 1998).

1 – аллювиальные и делювиально-солифлюкционные валунно-галечные отложения, дресва, пески, супеси (aQ_{III-IV}); 2 – песчаники, алевролиты карнийского яруса (T_2k); 3 – алевролиты, песчаники ладинского яруса (T_2l); 4–7 – бакы-дербекинский комплекс: 4 – гранодиориты главной фазы ($\gamma\delta K_1bd$), 5 – андезитовые граниты главной фазы ($\rho\gamma K_1bd$), 6 – биотитовые и двуслюдяные граниты и лейкограниты дополнительной фазы (γK_1bd), 7 – дайки диорит-порфиров ($\delta\lambda K_1bd$) (а), дайки гранит-порфиров, лейкогранит-порфиров, аплитов жильной фазы ($\gamma\lambda K_1bd$) (б); 8–9 – кестёрский комплекс: 8 – мелко-крупнозернистые овоидофировые апограниты главной фазы ($\epsilon\lambda\gamma K_2k$), 9 – дайки мелкозернистых апогранитов ($\epsilon\lambda\gamma K_2k$) (а), дайки онгонитов жильной фазы ($\tau\lambda\zeta K_2k$) (б); 10 – минерализованные зоны нерасчлененные (а), флюидно-эксплозивные брекчии (б); 11 – геологические границы между разновозрастными образованиями (а) и фаціальными разновидностями (б); 12 – разрывные нарушения. Кружками показаны редкометалльные и оловорудные проявления (1 – Кестёр, 2 – Туманное, 3 – Улахан-Эгелях, 4 – россыпь Турагас). На врезке показано географическое положение Арга-Ыннах-Хайского массива (АЫХ).

ны фондовые материалы ГУП «Сахагеоинформ» по геологическому картированию и поискам масштаба 1:50 000–1:1 000 000 в пределах листа Q-53, а также материалы разведки Кестёрского месторождения (1963; 1971).

Минералого-петрографические исследования (диагностика пород, установление парагенезисов,

взаимоотношения и последовательности образования минералов) проводились с помощью микроскопа Leica DM2500 M и аппаратно-программного комплекса для анализа изображений LAS. Минералы диагностированы и исследованы на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6510LA с энергодисперсионной приставкой JED-2200 в ИГД РАН

Таблица 1. Химический состав (мас. %) минералов группы колумбита в редкометалльных гранитах и онгонитах месторождения Кестёр.

Компонент	Колумбит-(Fe)-о (8)			Колумбит-(Fe)-г (26)			Колумбит-(Mn) (80)			Танталит-(Mn) (34)		
	1-1	1-2	Ср.	1-3	1-4	Ср.	1-5	1-6	Ср.	1-7	1-8	Ср.
TiO ₂	3.43	2.27	2.39	1.01	1.70	1.38	0.67	0.47	0.69	0.74	1.26	0.77
MnO	4.56	3.00	4.44	6.76	5.88	6.94	13.41	12.11	12.13	10.14	10.25	10.94
FeO*	12.55	16.54	13.62	12.62	13.06	12.26	3.71	5.68	5.86	5.46	5.42	4.40
Nb ₂ O ₅	47.06	58.70	50.61	65.34	64.24	63.40	44.32	51.27	54.87	26.01	25.33	23.91
SnO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	1.68	0.79	0.29
Ta ₂ O ₅	27.76	12.81	23.43	12.02	9.66	11.51	36.50	27.77	24.37	54.83	54.01	58.45
WO ₃	4.01	6.80	5.29	1.50	5.29	4.15	0.23	2.68	1.63	0.75	1.80	0.78
Сумма	99.37	100.12	99.78	99.25	99.82	99.64	98.83	99.98	99.58	99.61	98.86	99.55
Формульные коэффициенты катионов												
Ti	0.16	0.10	0.11	0.05	0.08	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.04
Mn	0.24	0.15	0.24	0.34	0.29	0.35	0.75	0.62	0.64	0.68	0.63	0.62
Fe	0.66	0.83	0.71	0.63	0.64	0.61	0.21	0.30	0.31	0.26	0.33	0.33
Nb	1.35	1.59	1.43	1.76	1.71	1.70	1.33	1.47	1.55	0.85	0.83	0.85
Sn										0.01	0.02	0.05
Ta	0.48	0.21	0.40	0.19	0.15	0.19	0.66	0.48	0.41	1.11	1.07	1.08
W	0.07	0.11	0.09	0.02	0.08	0.06	0.00	0.04	0.03	0.02	0.03	0.01

Примечание. Приведены представительные микрорентгеноспектральные анализы (1-1–1-8) и средний состав (Ср.) минералов. Колумбит-(Fe)-о – в онгонитах (в скобках – количество анализов). Колумбит-(Fe)-г – в редкометалльных гранитах. Колумбит-(Mn) и танталит-(Mn) – в редкометалльных гранитах. Прочерк – элемент не обнаружен; FeO* – сумма FeO + Fe₂O₃. Формульные коэффициенты рассчитаны на 6 атомов кислорода.

(Санкт-Петербург, аналитик О.Л. Галанкина). Режим анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ; ток 1.5 нА; размер пятна 2–3 мкм; время накопления спектра 50 с; ZAF-метод коррекции матричных эффектов. Состав минералов определен на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8230 в ЦКП Санкт-Петербургского горного университета (аналитик Е.В. Пигова). Режим микрозондового анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ; ток зонда 100 нА. В качестве стандартов использованы природные минералы, чистые оксиды и металлы. При исследовании анатомии и взаимоотношения минералов использована концепция онтогении минералов [1, 5].

КОЛУМБИТ-ТАНТАЛИТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕСТЁР

Разнообразие минералов группы колумбита на месторождении Кестёр определяется вариациями Ta/Nb, Mn/Fe и концентрациями неформульных изоморфных примесей: Ti⁴⁺, W⁶⁺, Sn⁴⁺. В соответствии с действующей классификацией [11] выделены три минеральных вида: колумбит-(Fe), колумбит-(Mn) и танталит-(Mn) (табл. 1). Генетическая особенность изучаемых минералов заключается в их последовательной кристаллизации и обрастании ранних тан-

тало-ниобатов более поздними [2]. Вследствие этого колумбит-танталит представлен обычно концентрически-зональными полиминеральными индивидами (рис. 2, в–д). Ниже приведены результаты микроминералогического изучения колумбита-танталита месторождения Кестёр и его эволюции в ряду пород: редкометалльные граниты → альбититы → грейзены.

КОЛУМБИТ-ТАНТАЛИТ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРАНИТОВ И ОНГОНИТОВ

В редкометалльных гранитах колумбит-танталит встречается в виде гипидиоморфных удлиненно-таблитчатых кристаллов размером по оси [001] 15–150 мкм, в онгонитах 2–50 мкм; реже до 680 мкм, толщиной 2–20 мкм. В проходящем свете кристаллы колумбит-танталита непрозрачные или слабо просвечивают, имеют красновато-бурый цвет. Наиболее характерен парагенезис таблитчатых кристаллов колумбита-(Mn) с альбитом; гораздо реже встречаются менее ограненные зерна колумбита-(Fe) в мусковите, лепидолите и касситерите (рис. 2, а, в, з). Отмечены сростки колумбита-(Fe) с циртолитом, вольфрамоиксиолитом и ферберитом [2]. «Визитной карточкой» кестёрских редкометалльных гранитов служат включения в топазе лейстовидного колумбита-(Fe)

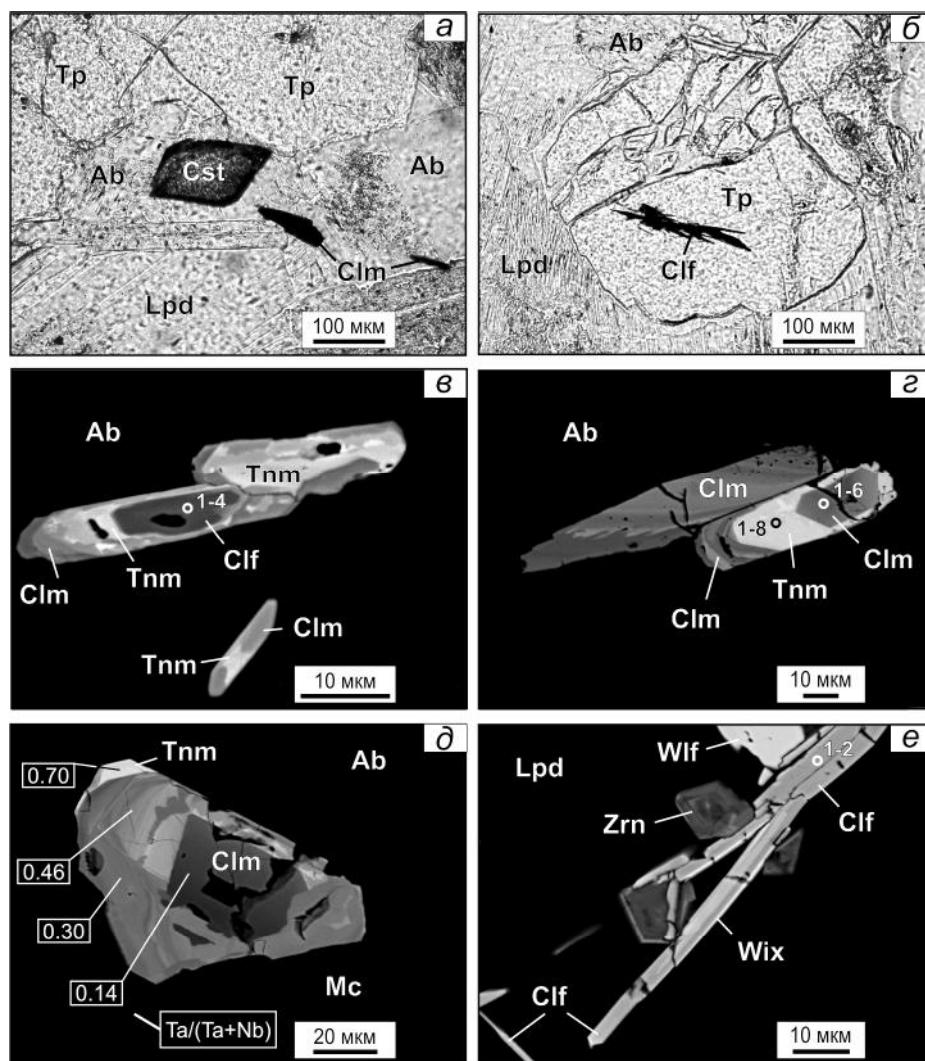


Рис. 2. Минералы группы колумбита в редкометалльных гранитах (а–д) и онгонитах (е) месторождения Кестёр. Фотографии шлифов без анализатора (а, б) и BSE-изображения в обратно-рассеянных электронах (в–е). Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 1.

а – таблитчатый колумбит-(Mn) и дипирамидальный танталсодержащий касситерит в сростании с альбитом и лепидолитом; б – сросток лейстовидных кристаллов колумбита-(Fe) в топазе; в – таблитчатый колумбит-(Fe) с каймами танталита-(Mn) и колумбита-(Mn) в альбите; г – таблитчатый колумбит-(Mn) с каймами танталита-(Mn) и колумбита-(Mn) в альбите; д – двойник колумбита-(Mn) с зональным распределением Ta и Nb; е – лейстовидный колумбит-(Fe) с каймой вольфрамоксиолита в сростании с уран-гафниевым цирконом и вольфрамитом из онгонита. Ab – альбит, Clf – колумбит-(Fe), Clm – колумбит-(Mn), Cst – танталсодержащий касситерит, Lpd – лепидолит, Mc – микроклин, Ms – мусковит, Tp – топаз, Wlf – вольфрамит, Wix – вольфрамоксиолит, Zrn – циркон.

длиной 20–50 мкм (редко до 100 мкм) и поперечником 2–10 мкм (рис. 2, б). В онгонитах колумбит-(Fe) представлен лейстовидными кристаллами длиной 5–20 мкм (до 80 мкм), заключенными в зернах альбита, мусковита, турмалина, фторапатита, цитролита. Для зерен колумбита-(Fe) характерны каймы вольфрамоксиолита и сростание с вольфрамитом [2] (рис. 2, е). Танталит-(Mn) образует внешние каймы колумбит-танталита шириной 1–10 мкм, изредка до 15–18 мкм (рис. 2, в–д). Иногда встречаются ксеноморфные выделения танталита в виде микровключе-

ний размером до 8 мкм в топазе и танталсодержащем касситерите.

В редкометалльных гранитах минералы группы колумбита наиболее распространены и разнообразны в видовом отношении (табл. 1). Только в гранитах и онгонитах встречается колумбит-(Fe), образующий ядра полиминеральных индивидов колумбит-танталита (рис. 2, в, е), которые окаймляются прерывистыми зонами колумбита-(Mn) и танталита-(Mn). Типовая концентрическая зональность колумбит-танталита в гранитах (от ядра к периферии): колумбит-(Fe) →

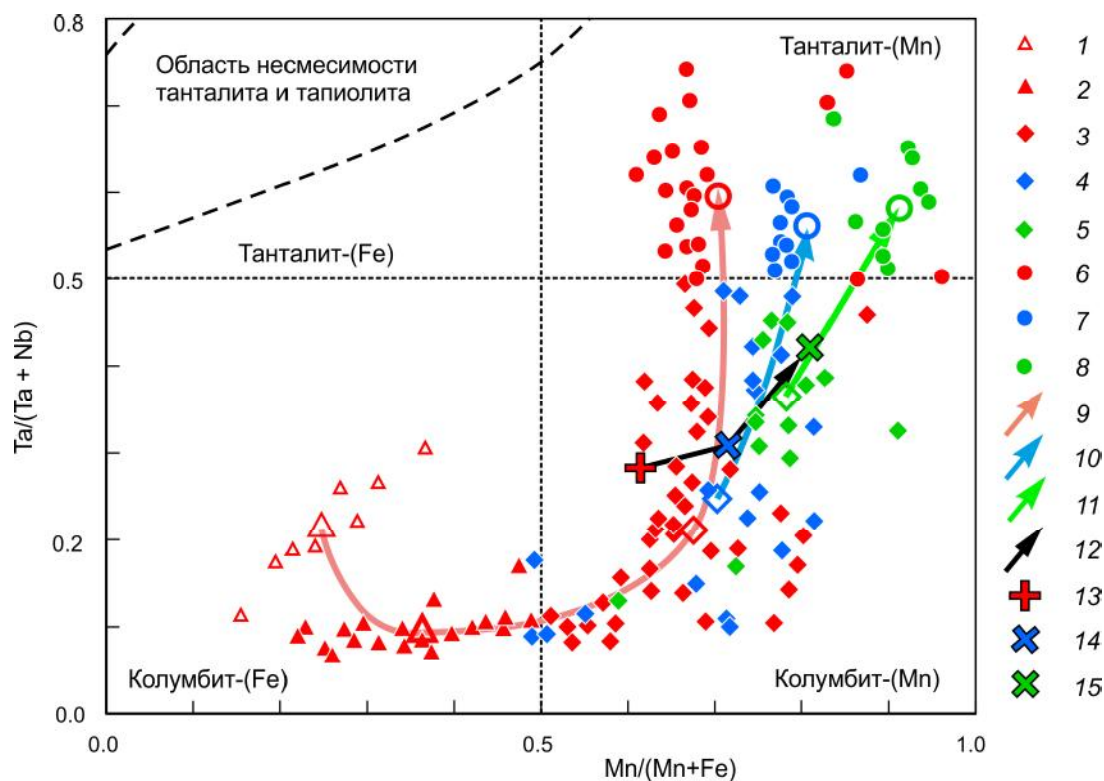


Рис. 3. Состав и тенденции эволюции минералов группы колумбита месторождения Кестёр на диаграмме «колумбитовый четырехугольник» [22].

Показано соотношение атомного количества главных катионов в колумбите-(Fe) из онгонитов (1) и редкометалльных гранитов (2); в колумбите-(Mn) из редкометалльных гранитов (3), альбититов (4) и грейзенов (5); в танталите-(Mn) из редкометалльных гранитов (6), альбититов (7) и грейзенов (8). Крупными значками без заливки указаны средние составы соответствующих минеральных видов. Стрелками показаны тенденции эволюции состава колумбит-танталита в процессе роста в редкометалльных гранитах (9), альбититах (10) и грейзенах (11); показана эволюция состава колумбит-танталита (12) в ряду пород: редкометалльные граниты (13) → альбититы (14) → грейзены (15).

колумбит-(Mn) → танталит-(Mn) + уранмикрولит → колумбит-(Mn). Минеральные виды каждой зоны, в свою очередь, имеют внутреннюю осцилляторную зональность (рис. 2, в–д).

Колумбит-(Fe) из онгонитов и колумбит-(Fe) из редкометалльных гранитов различаются соотношением главных компонентов: соответственно, $Mn/(Mn + Fe)$ 0.22–0.49 и 0.16–0.37; $Ta/(Ta + Nb)$ 0.07–0.17 и 0.12–0.31 (рис. 3). Наблюдается также различие в содержании TiO_2 : соответственно, 2.39 % (1.56–3.45) и 1.38 % (0.55–2.33)*. Характерные черты колумбита-(Fe) – отсутствие примеси олова и наибольшая концентрация WO_3 : 5.29 % (4.04–6.79) и 4.15 % (1.51–7.12) (табл. 1).

Колумбит-(Mn) является главным тантало-ниобатом месторождения Кестёр. Он представлен зональными кристаллами с каймой танталита-(Mn) (рис. 2, д). В

редкометалльных гранитах колумбит-(Mn) отличается относительно высокой железистостью $Mn/(Mn + Fe)$ 0.50–0.88, в среднем 0.68 (рис. 3). В нем наблюдается наименьшее содержание TiO_2 0.69 % (0–2.83), SnO_2 0.03 % (0–1.13) и повышенное содержание WO_3 1.63% (0–6.07) (табл. 1). Редкие случаи существенной примеси $SnO_2 > 1.0\%$ (ф.к. > 0.03) отмечаются в колумбите-(Mn), образующем сростки с касситеритом.

Внешние каймы колумбит-танталита в редкометалльных гранитах обогащены танталом: $Ta/(Ta + Nb)$ 0.50–0.74, в среднем 0.60 (рис. 2, д). Танталит представлен марганцевым видом с относительно низким отношением $Mn/(Mn + Fe)$ 0.61–0.96 (в среднем 0.72) (рис. 3). Танталит-(Mn) в гранитах, как и колумбит-(Mn), отличается пониженной долей SnO_2 0.29 % (0–1.69) и повышенным содержанием WO_3 0.78 % (0–4.72) (табл. 1).

*Здесь и далее указано среднее содержание компонента, в скобках – размах содержания.

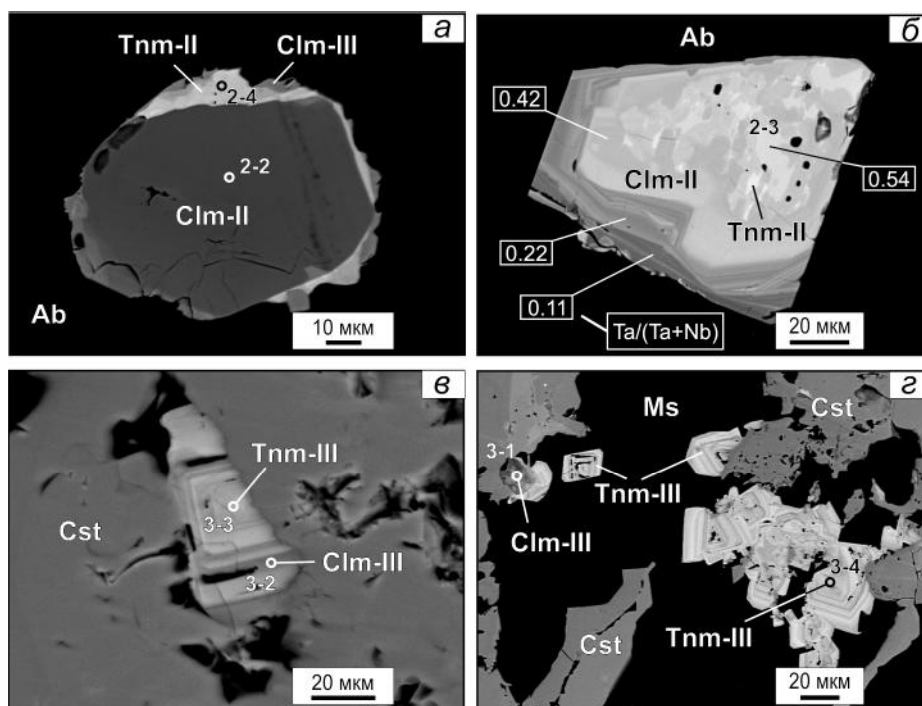


Рис. 4. Минералы группы колумбита в альбититах (а, б) и грейзенах (в, з) месторождения Кестёр. BSE-изображения в обратно-рассеянных электронах. Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 2.

а – таблитчатый колумбит-(Mn)-II с каймами танталита-(Mn)-II и колумбита-(Mn)-III в альбите; б – зональный колумбит-(Mn)-II с включениями танталита-(Mn)-II в альбите; в – включение ритмично-зонального танталита-(Mn)-III с зонами колумбита-(Mn)-III в Nb-Ta-содержащем касситерите; з – ритмично-зональный танталит-(Mn)-III с ядром и зонами колумбита-(Mn)-III в сростании с танталосодержащим касситеритом в мусковите. Обозначения минералов см. на рис. 2.

Колумбит-(Fe) онгонитов отличается от колумбита-(Fe) редкометалльных гранитов более высокой железистостью ($Mn/(Mn + Fe)$ – соответственно, 0.25 и 0.36) и повышенным содержанием Ta_2O_5 (23.43 % и 11.51 %) (рис. 3). Количество катионов W в колумбите-(Fe) из онгонитов максимальное: ф.к. 0.09 (табл. 1).

В кристаллах колумбит-танталита встречаются линзовидные включения уранмикролита размером 1–15 мкм, вытягивающиеся вдоль танталитовых кайм кристаллов. В одном случае наблюдалась непрерывная кайма уранмикролита толщиной 25 мкм, охватывающая зону танталита-(Mn). Следует отметить, что в некоторых зернах колумбит-танталита зоны танталита окружены каймами колумбита-(Mn) (рис. 2, в, з).

Колумбит-танталит альбититов

Колумбит-танталит альбититов размещается в интерстициях альбита, кварца и мусковита в виде одиночных кристаллов или сростков с касситеритом, стрюверитом, циртолитом, фторапатитом. Преобладают гипидиоморфные тонко таблитчатые кристаллы

колумбита-(Mn)-II**, размером 20–120 мкм (рис. 4, а, б). В подчиненном количестве наблюдается слабожелезистый колумбит-(Fe)-II. В зернах танталоносного касситерита встречаются мелкие ксеноморфные включения колумбита-(Mn)-II и танталита-(Mn)-II размером 1–25 мкм.

Колумбит-(Mn)-II подобен по строению колумбиту из гранитов: от ядра к краю в нем нарастает отношение Ta/Nb вплоть до перехода в танталит-(Mn)-II (рис. 4, а). Реже наблюдается обратная зональность колумбита с увеличением Ta/Nb от краев к центру зерна, и танталит-(Mn)-II образует линзовидные выделения в ядре колумбита (рис. 4, б).

Колумбит-(Mn)-II альбититов низкожелезистый: $Mn/(Mn + Fe)$ в среднем 0.69 (рис. 3); постоянно содержит в умеренном количестве WO_3 1.47 % (0–4.49). Примесь SnO_2 невелика и встречается эпизодически: 0.13 % (0–0.87) (табл. 2). Танталит-(Mn)-II еще менее железистый, чем колумбит: $Mn/(Mn + Fe)$ 0.77–0.87; отличается наиболее низкой долей Ta среди танталитов месторождения – $Ta/(Ta + Nb)$ 0.54–0.62, в сред-

**Колумбиту и танталиту в альбититах присвоен индекс «II», а колумбиту и танталиту в грейзенах – «III».

Таблица 2. Химический состав (мас. %) минералов группы колумбита в альбититах и грейзенах месторождения Кестёр.

Компонент	Альбититы						Грейзены					
	Колумбит-(Mn)-II (33)			Танталит-(Mn)-II (14)			Колумбит-(Mn)-III (21)			Танталит-(Mn)-III (12)		
	2-1	2-2	Ср.	2-3	2-4	Ср.	3-1	3-2	Ср.	3-3	3-4	Ср.
TiO ₂	0.92	1.06	0.96	1.07	0.16	0.69	1.68	0.60	0.84	2.84	1.72	2.15
MnO	14.50	14.37	12.12	12.46	12.15	12.30	11.55	13.08	12.61	13.99	13.88	13.31
FeO*	4.19	2.79	5.43	3.64	3.26	3.23	3.57	5.02	4.33	1.59	0.94	1.51
Nb ₂ O ₅	56.42	52.25	52.57	27.67	24.99	24.69	34.05	59.78	46.53	27.80	23.12	22.88
SnO ₂	—	0.42	0.13	0.81	0.57	0.74	0.97	0.28	0.50	2.78	1.12	2.01
Ta ₂ O ₅	21.60	28.01	27.05	54.51	57.93	57.74	46.64	20.20	34.17	48.45	58.42	57.19
WO ₃	2.36	0.54	1.47	0.07	0.56	0.45	1.71	0.45	0.79	2.51	0.03	0.86
Сумма	99.99	99.43	99.73	100.23	99.62	99.83	100.18	99.41	99.78	99.95	99.23	99.90
Формульные коэффициенты катионов												
Ti	0.04	0.05	0.05	0.06	0.02	0.04	0.09	0.03	0.04	0.15	0.09	0.12
Mn	0.76	0.76	0.64	0.75	0.68	0.76	0.66	0.68	0.69	0.83	0.85	0.82
Fe	0.22	0.15	0.29	0.22	0.25	0.20	0.20	0.26	0.23	0.09	0.06	0.09
Nb	1.57	1.48	1.49	0.89	1.03	0.81	1.04	1.65	1.36	0.88	0.75	0.75
Sn		0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.05	0.01	0.03	0.08	0.06	0.06
Ta	0.36	0.48	0.46	1.06	0.96	1.15	0.86	0.34	0.60	0.92	1.15	1.13
W	0.04	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.05	0.00	0.02

Примечание. Приведены представительные микрорентгеноспектральные анализы (2-1 – 2-4, 3-1 – 3-4) и средний состав (Ср.) минералов. В скобках – количество анализов. Прочерк – элемент не обнаружен; FeO* – сумма FeO+Fe₂O₃. Формульные коэффициенты рассчитаны на 6 атомов кислорода.

нем 0.58 (рис. 3). Танталит-(Mn) в альбититах содержит минимальное количество TiO₂ 0.69 % (0.11–1.45) и WO₃ 0.45 % (0–0.87). Характерна постоянная небольшая примесь SnO₂ – в среднем 0.74 % (табл. 2). Иногда танталит-(Mn)-II в альбититах окружен каймой позднего, вероятно, грейзенового колумбита-(Mn)-III (рис. 4, а).

Колумбит-танталит грейзенов

Колумбит-танталит в грейзенах представлен ксеноморфными включениями размером 5–50 мкм в Nb-Ta-содержащем касситерите (рис. 4, в). Описаны включения в топазе лейстовидного колумбит-танталита длиной 20–40 мкм. Колумбит-танталит грейзенов представлен колумбитом-(Mn)-III и танталитом-(Mn)-III. Танталит-(Mn)-III составляет внешние зоны или внутренние домены в колумбите-(Mn)-III, часто ритмично переслаиваясь с ним (рис. 4, в, з). И колумбит, и танталит в грейзенах характеризуются минимальной железистостью: Mn/(Mn + Fe), соответственно, 0.75 (0.59–0.91) и 0.90 (0.76–0.94) (рис. 3); самым низким содержанием WO₃ – 0.79 % (0–2.83) и 0.86 % (0–2.51). Колумбит-(Mn)-III и танталит-(Mn)-III выделяются среди колумбит-танталитов месторождения высокой оловоносностью: SnO₂ 0.50 % (0–1.16) и 2.01 % (0.78–

3.74); в танталите-(Mn)-III установлена наибольшая концентрация TiO₂ 2.15 % (1.19–2.84) (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Колумбит-танталит месторождения Кестёр

Колумбит-танталит установлен в составе редкометалльных гранитов, онгонитов, альбититов и грейзенов месторождения Кестёр. Он характеризуется широкими вариациями состава и представлен тремя минеральными видами: колумбитом-(Fe), колумбитом-(Mn) и танталитом-(Mn). Преобладает колумбит-(Mn): средние параметры колумбит-танталита месторождения Ta/(Ta + Nb) = 0.30, Mn/(Mn + Fe) = 0.64. Доля тантала Ta/(Ta+Nb) в колумбит-танталите не превышает 0.74 (рис. 3), формульные коэффициенты Ta и Nb колеблются в пределах, соответственно, 0.12–1.48 и 0.50–1.84. Пределы колебания отношения Mn/(Mn + Fe) 0.16–0.96. Обобщенная эмпирическая формула колумбит-танталита месторождения Кестёр: $(\text{Mn}_{0.61}\text{Fe}_{0.34})_{0.95}(\text{Nb}_{1.37}\text{Ta}_{0.58}\text{Ti}_{0.04}\text{W}_{0.03}\text{Sn}_{0.01})_{2.03}\text{O}_6$.

Колумбит-танталит месторождения Кестёр представлен полиминеральными индивидами с концентрической ростовой зональностью (от ядра к периферии): колумбит-(Fe) → колумбит-(Mn) → танта-

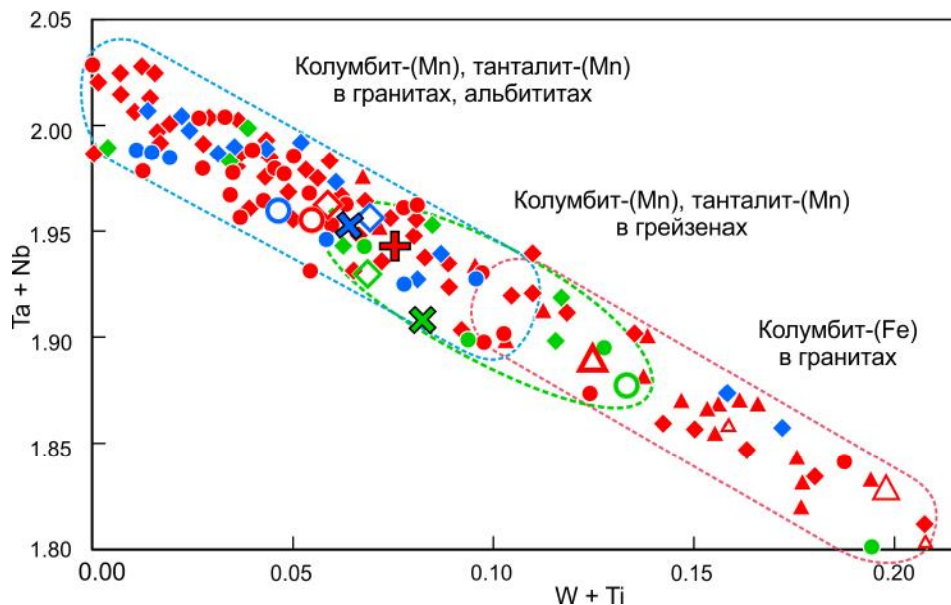


Рис. 5. Зависимость содержания катионов Ta и Nb от наличия катионов W и Ti в минералах группы колумбита месторождения Кестёр.

Условные обозначения см. на рис. 2. Цветным пунктиром показаны поля наибольшей концентрации точек состава минеральных видов колумбита-танталита из различных пород.

лит-(Mn) + уранмикролит → колумбит-(Mn) (рис. 2, *в-д*; рис. 4, *а*). Минеральные виды каждой зоны имеют осцилляторную зональность, особенно характерную для колумбит-танталита альбититов и грейзенов (рис. 4, *б-г*). Вариации состава колумбит-танталита нередко выражены в появлении индивидов с близким содержанием Ta, Nb, Fe, Mn, что ведет к разупорядочиванию слоистой колумбитовой структуры и образованию вокруг колумбит-танталита каемок вольфрамооксиолита (рис. 2, *е*) [2]. В состав парагенезиса колумбит-танталита входят: альбит, топаз, лепидолит, Nb-Ta-содержащий касситерит, вольфрамооксиолит, вольфрамит, U-Nf-содержащий циркон, стрюверит.

Состав примесных компонентов в изученных колумбит-танталитах: Ti^{4+} , W^{6+} , Sn^{4+} . Типоморфная примесь в колумбит-танталите Кестёрского месторождения – вольфрам: содержание WO_3 составляет в среднем 1.77 % (формульный коэффициент 0.03). Причем, в танталите-(Mn) WO_3 0.70 %, а в колумбите-(Fe) WO_3 2.67% и достигает 7.12 %. Если примесь вольфрама более характерна для колумбита, то примесь олова является типоморфной для танталита: при среднем содержании SnO_2 в колумбит-танталите 0.19% в танталите она составляет в среднем 1.01% SnO_2 (ф.к. 0.03) (табл. 1, 2). Примесь TiO_2 в колумбит-танталите месторождения в среднем составляет 0.92 % и играет роль компенсатора гетерогенного изоморфизма $(Nb,Ta)^{5+} \leftrightarrow W^{6+}$. Имеющиеся данные показывают

обратную зависимость атомного количества Ta и Nb от концентрации примесей W и Ti (рис. 5). Это позволяет предполагать изоморфное замещение катионов в позиции B по схеме: $2(Nb,Ta)^{5+} \leftrightarrow W^{6+} + Ti^{4+}$.

Атомная доля вольфрама $W/(W + Ta + Nb + Ti + Sn)$ в позиции B структуры колумбит-танталита месторождения Кестёр составляет в среднем 1 %. Наиболее обогащены вольфрамом колумбит-(Fe) из онгоцитов и редкометалльных гранитов: соответственно, 4 % и 3 %. Отметим, что примесь вольфрама ранее уже отмечалась как типоморфная особенность тантало-ниобатов на редкометалльно-оловянных месторождениях Дальнего Востока [1, 2].

Эволюция колумбита-танталита

Судя по встречаемости колумбит-танталита в различных породах месторождения Кестёр, наиболее интенсивная его кристаллизация происходила в редкометалльных гранитах, а на постмагматическом этапе образование тантало-ниобатов постепенно сокращалось от альбититов к грейзенам. Зональность колумбит-танталита и его эволюция в последовательно образующихся породах указывают на изменение состава материнской среды как при формировании конкретных пород, так и в течение всего процесса образования месторождения.

Эволюция состава колумбит-танталита определяется геохимическими тенденциями изменения со-

става редкометалльной магмы и постмагматических флюидов, в частности, увеличением отношений Ta/Nb, Mn/Fe [12, 17, 21]. В редкометалльных гранитах проявлен полный цикл эволюции: кристаллизация колумбита-(Fe) сменяется образованием колумбита-(Mn) и венчает процесс формирования касковок танталита-(Mn). Для метасоматитов характерна сокращенная эволюция: колумбит-(Mn) → танталит-(Mn). Смена колумбита-(Mn) на танталит-(Mn) с увеличением отношений Ta/Nb, Mn/Fe происходит в истории месторождения трижды – в процессе образования редкометалльных гранитов, альбититов и грейзенов. «Перелом эволюции», наблюдаемый в редкометалльных гранитах и альбититах и выраженный в обрастании танталита-(Mn) поздней генерацией колумбита-(Mn), происходит, вероятно, под воздействием флюидов более поздних стадий альбитизации и грейзенизации.

В ряду пород редкометалльные граниты → альбититы → грейзены в колумбит-танталите происходит возрастание Ta/Nb, Mn/Fe (рис. 3). С указанными тенденциями сочетается тренд увеличения в колумбит-танталите отношения Sn/W. Содержание WO_3 в ряду пород граниты → альбититы → грейзены снижается: 1.97 → 1.24 → 0.77 %. Максимальная концентрация WO_3 составляет 7.12 и наблюдается в раннем магматическом колумбите-(Fe) (рис. 5). Одновременно в этом ряду нарастает концентрация SnO_2 : 0.09 → 0.27 → 1.09 %. Максимальная концентрация SnO_2 достигает 3.74 % в позднем грейзеновом танталите-(Mn) (табл. 2).

Генезис колумбита-танталита и перспективы редкометалльной минерализации месторождения Кестёр

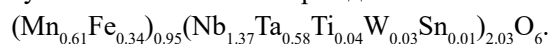
Разнообразие и эволюция минералов группы колумбита месторождения Кестёр от колумбита-(Fe) до танталита-(Mn) указывают на глубокую дифференциацию материнской гранитовой магмы, характерную для редкометалльных рудно-магматических систем. Подобные системы включают колумбит-танталитовую минерализацию редкометалльных литий-фтористых гранитов и сопровождающих их альбититов и грейзенов [3, 9, 12, 14, 17, 21]. Удаленность поля составов колумбит-танталита Кестёра от области тапиолит-танталитовой несмесимости на диаграмме «колумбитовый четырехугольник» (рис. 3) указывает на высокую активность летучих (P, F, B), пониженные температуру и давление минералообразующей среды [23], а сходные черты типоморфизма и эволюции колумбит-танталита из редкометалльных гранитов, альбититов и грейзенов свидетельствуют об их генетиче-

ской связи и принадлежности к единой рудно-магматической системе.

На месторождении Кестёр промышленное редкометалльное минералообразование проявилось на магматическом и раннем постмагматическом этапах, при переходе от ранней щелочной стадии к кислотной стадии метасоматоза [3, 14, 17]. По своим минералогическим и петрологическим особенностям объект аналогичен месторождениям Бовуар и Монтебра в Центральном Французском массиве [15, 24]. Наличие в районе месторождения малых интрузий редкометалльных гранитов и онгонитов [7, 8] позволяет прогнозировать обнаружение новых объектов как магматической, так и метасоматической танталит-колумбитовой минерализации [3, 17]. Следует также положительно оценить перспективы колумбитоносности оловянных россыпей р. Турагас, ручьев Илин-Салаа и Агатогово.

ВЫВОДЫ

1. На месторождении Кестёр установлены три минеральных вида группы колумбита: колумбит-(Fe), колумбит-(Mn) и танталит-(Mn), входящие в состав редкометалльных гранитов, онгонитов, альбититов и грейзенов. Преобладает колумбит-(Mn): $Ta/(Ta + Nb) = 0.30$, $Mn/(Mn + Fe) = 0.64$. Обобщенная формула колумбит-танталита месторождения:



2. Колумбит-танталит образует полиминеральные индивиды с концентрической ростовой зональностью (от ядра к периферии): колумбит-(Fe) → колумбит-(Mn) → танталит-(Mn) + уранмикролит → колумбит-(Mn). В состав парагенезиса колумбит-танталита входят: альбит, топаз, лепидолит, Nb-Ta-содержащий касситерит, вольфрамоиксиолит, вольфрамит, U-Nf-содержащий циркон, стрюверит.

3. Типоморфная примесь в колумбит-танталите месторождения Кестёр – WO_3 : в среднем 2.67 % (ф.к. 0.04), максимум 7.12% (ф.к. 0.11). Предполагается изоморфное замещение катионов в позиции B по схеме: $2(Nb,Ta)^{5+} \leftrightarrow W^{6+} + Ti^{4+}$. Типоморфная примесь в танталите-(Mn) – SnO_2 : в среднем 1.01 % (ф.к. 0.03), максимум 3.74 % (ф.к. 0.21).

4. Эволюция колумбит-танталита месторождения Кестёр сопровождается увеличением отношений Ta/Nb, Mn/Fe, Sn/W, выражается в смене колумбита танталитом и происходит как в процессе образования рудоносных пород, так и в ряду этих пород: редкометалльные граниты → альбититы → грейзены. Пределы колебания отношений $Ta/(Ta + Nb)$ 0.07–0.74, $Mn/(Mn + Fe)$ 0.16–0.96.

5. Разнообразие и эволюция минералов группы колумбита месторождения Кестёр указывают на их принадлежность к редкометалльной рудно-магматической системе, включающей редкометалльные граниты, альбититы и грейзены. Наличие в районе месторождения малых интрузий редкометалльных гранитов и онгонитов позволяет прогнозировать выявление новых объектов коренной и россыпной танталит-колумбитовой минерализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-15-50064. Авторы благодарят главного научного сотрудника ИГГД РАН В.Н. Подковырова за предоставленный каменный материал и научного сотрудника ИГГД РАН О.Л. Галанкину за помощь в аналитических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.И. Редкие металлы в минералах оловоносных метасоматитов Верхнеурмийского рудного узла (Дальний Восток России) // Зап. Горного института. 2018. Т. 232. С. 335–340.
2. Алексеев В.И., Марин Ю.Б. О генезисе «белых гранитов» Кестерского гарполита (Арга-Ыннах-Хайский массив, Восточная Якутия) // Зап. РМО. 2020. № 1. С. 47–63.
3. Бескин С.М. Металлогеническое районирование областей гранитоидного плутонизма (дедуктивный подход). М.: ИМГРЭ, 2007. 108 с.
4. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 58, № 2. С. 97–119.
5. Бродская Р.Л., Марин Ю.Б. Онтогенетический анализ на микро- и наноуровне минеральных индивидов и агрегатов для реставрации условий рудообразования и оценки технологических свойств минерального сырья // Зап. Горного института. 2016. Т. 219. С. 369–376.
6. Гаськов И.В., Владимиров А.Г., Ханчук А.И., Павлова Г.А., Гвоздев В.И. Особенности распределения индия в рудах некоторых полиметаллических и оловосульфидных месторождений Сибири и Дальнего Востока России // Геология руд. месторождений. 2017. Т. 59, № 1. С. 62–74.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Серия Верхоянская. Лист Q-53-IX, X (Оюн-Хомото): Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 143 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-53 Верхоянск: Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. 437 с.
9. Коваленко В.И. Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.
10. Кокунин М.В. Редкие минералы забытого месторождения // Отеч. геология. 2011. № 1. С. 72–82.
11. Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. 556 с.
12. Кузьменко М.В., Еськова Е.М. Тантал и ниобий. М.: Наука, 1968. 342 с.
13. Орлов Ю.С., Филимонов Ю.А., Бояршинов В.В. К вопросу о генезисе аляскитов Арга-Ыннах-Хайского массива (Восточная Якутия) // Геология и полезные ископаемые Верхояно-Колымской складчатой системы. Якутск: Якутское кн. изд-во, 1984. С. 74–81.
14. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. 560 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия). Т. 354. 560 с.
15. Романова М.А. Белые граниты Арга-Ыннах-Хая (Якутия) и механизм их образования // Исследования по математической геологии. Л.: Наука, 1978. С. 25–40.
16. Сидоренко Г.А., Александрова И.Т., Петрова Н.В. Технологическая минералогия редкометалльных руд. СПб: Наука, 1992. 236 с.
17. Солодов Н.А. Минерогения редкометалльных формаций. М.: Недра, 1985. 224 с.
18. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Иванов А.И., Роев С.П. К петрологии микроклин-альбитовых гранитов Кестерского месторождения // Наука и образование. 2016. № 4 (84). С. 45–51.
19. Флёрвот Б.Л., Индолев Л.Н., Яковлев Я.В., Бичус Б.Я. Геология и генезис оловорудных месторождений Якутии. М.: Наука, 1971. 318 с.
20. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–37.
21. Чевычелов В.Ю., Бородулин Г.П., Зарайский Г.П. Растворимость колумбита (Mn,Fe)(Nb,Ta)₂O₆ в гранитоидных и щелочных расплавах при 650-850°C и 30-400 МПа: экспериментальные исследования // Геохимия. 2010. № 5. С. 485–495.
22. Černý P., Ercit T.S. Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites // Bull. Mineralogie. 1985. V. 108. P. 499–532.
23. Černý P., Ercit T.S., Wise M.A. The tantalite – tapiolite gap: natural assemblages versus experimental data // Can. Mineral. 1992. V. 30. P. 587–596.
24. Cuney M., Maignac C., Weisbrod A. The Beauvoir topaz-lepidolite albite granite (Massif Central, France): the disseminated magmatic Sn–Li–Ta–Nb–Be mineralization // Econ. Geol. 1992. V. 87. P. 1766–1794.

Рекомендована к печати В.В. Раткиным

после доработки 14.10.2021 г.

принята к печати 11.11.2021 г.

V.I. Alekseev, Yu.B. Marin

Columbite-tantalite of the Kester deposit (Eastern Yakutia)

Three mineral species of the columbite group were installed at the Kester deposit (Eastern Yakutia): columbite-(Fe), columbite-(Mn) and tantalite-(Mn), which are part of rare-metal granites and ongonites, albitites and greisens. Columbite-(Mn) prevails: $Ta/(Ta + Nb) = 0.30$, $Mn/(Mn + Fe) = 0.64$. The generalized formula for the columbite-tantalite of deposit is $(Mn_{0.61}Fe_{0.34/0.95})(Nb_{1.37}Ta_{0.58}Ti_{0.04}W_{0.03}Sn_{0.01})_{2.03}O_6$.

Columbite tantalite combine the polymineral individuals with concentric growth zonality (from core to rim): columbite-(Fe) $\rightarrow$ columbite-(Mn) $\rightarrow$ tantalite-(Mn) + uranmicrolite $\rightarrow$ columbite-(Mn). A typomorphic impurity in the columbite of Kester deposit – WO_3 : an average of 2.67 % (apfu 0.04); maximum 7.12 % (apfu 0.11). Isomorphic substitution of cations in position B is assumed according to the scheme: $2(Nb,Ta)^{5+} \leftrightarrow W^{6+} + Ti^{4+}$. Typomorphic impurity in tantalite – SnO_2 : on average 1.01 % (apfu 0.03); maximum 3.74 % (apfu 0.21). Paragenesis of columbite-group minerals includes: albite, topaz, lepidolite, Nb-Ta-containing cassiterite, wolframioxiolite, wolframite, U-Hf-containing zircon, struverite.

The evolution of columbite-tantalite of the Kester deposit is accompanied by an increase in the relations of Ta/Nb, Mn/Fe, Sn/W, expressed in the change of columbite by tantalite both in the process of formation of ore-bearing rocks and in the series of these rocks: rare-metal granites $\rightarrow$ albitites $\rightarrow$ greisens. Fluctuation limits of ratios $Ta/(Ta + Nb)$ 0.07–0.74, $Mn/(Mn + Fe)$ 0.16–0.96. The diversity and evolution of the columbite-group minerals of Kester deposit indicate their belonging to the rare-metal ore- magmatic system, which includes ore-bearing rare-metal granites, albitites and greisens. The presence of the small intrusions of rare-metal granites and ongonites in the area of the deposit allows predicting the discovery of new objects of bed-rock and placer columbite-tantalite mineralization.

Key words: columbite, tantalite, rare-metal granites, ongonites, albitites, greisens, Kester, Eastern Yakutia.