

Минералогия

УДК 549.514:549.752.141

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ГЕТЕРОГЕННОСТИ АКЦЕССОРНОГО ВОЛЬФРАМИСТОГО КОЛУМБИТА-ТАНТАЛИТА ИЗ ШЛИРОВЫХ ПЕГМАТИТОВ КОЛЫВАНСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА (КОЛЫВАНЬ-ТОМСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ЗОНА)

К.Л. Новоселов, Т.С. Небера*

Томский политехнический университет

E-mail: nkonstantin1@rambler.ru

*Томский государственный университет

Впервые на электронномикроскопическом уровне проведены исследования фазовой и внутрифазовой неоднородности акцессорного вольфрамистого колумбита-танталита из шлировых пегматитов, развитых в пределах материнских лейкогранитов Колыванского гранитоидного массива (T_{2-3}). На основании аналитического материала выявлены разнотипные неоднородности вольфрамистого колумбита-танталита и последовательности их проявления – протогенетическая, сингенетическая и эпигенетическая. Актуальность выполненных исследований определяется полученными новыми данными о формах нахождения и времени появления W, Nb, Ta, Pb, редкоземельных и радиоактивных элементов в гранитоидах Колыванского массива, известного в Колывань-Томской складчатой зоне как потенциально рудоносный на редкие металлы.

Ключевые слова:

Колывань-Томская складчатая зона, гранитоиды, вольфрамистый колумбит-танталит, гетерогенность, псевдоморфизация, группа пироклора.

Key words:

Kolyvan-Tomsk folded zone, granitoids, tungsteniferous columbite-tantalite, heterogeneity, pseudomorphisation, pyrochlore group.

Введение

Колыванский гранитоидный массив расположен в пределах Колывань-Томской складчатой зоны, рассматривается в составе барлакского лейкогранитного комплекса (γT_{2-3}), с которым пространственно и генетически связывается редкометалльная рудная минерализация [1]. В эндо- и экзо-контактных фациях Колыванского массива известны грейзеновые и кварцево-жильные сульфидно-вольфрам-оловянные рудопроявления, а также мелкие россыпные месторождения касситерита, объединенные в Колывань-Барлакскую редкометалльную минерагеническую зону [2]. Формирование гранитоидов комплекса относится к малоуглубленной низкотемпературной фации [1, 3], и на современном эрозионном срезе представляет собой вскрытую апикальную часть массива.

Цель работы заключается в выявлении генетических причин гетерогенности строения кристаллов колумбита-танталита, особенностей поведения Nb, Ta, W и ассоциирующих с ними других редких металлов в меняющихся физико-химических обстановках.

Геолого-минералогические особенности пегматитов

Породы Колыванского массива представлены биотитсодержащими и двуслюдяными лейкогранитами с неравномерной зернистой структурой. Минералого-петрографические особенности пород рассмотрены в ранее опубликованной работе [4].

По петрохимическим показателям лейкограниты относятся к весьма высокоглиноземистым (коэффициент глиноземистости 5,22), что находит отражение в составе биотита, который относится к высокоглиноземистой сидерофиллитовой группе с повышенным содержанием F [5], а также в широко распространенном акцессорном топазе. По соотношению Na_2O/Na_2O+K_2O лейкограниты относятся к калиево-нитриевым. Магматический расплав носил существенно щелочной уклон (коэффициент общей щелочности 7,20). Высокий коэффициент железистости (0,86) и низкий показатель окисленности железа (0,38) указывают на доминирующую роль в минералообразовании Fe^{2+} и существенно восстановительную обстановку в формировании массива.

Избыточные концентрации, кратно превышающие кларковые числа по А.П. Виноградову, в лейкогранитах образуют Sn, Mo, W, Be, Pb, тяжелые лантаноиды и элементы Y-группы, а также U, Th. Содержание Nb и Ta находится в пределах кларка.

Геохимические и петрохимические особенности гранитоидов проявились на широком разнообразии видового состава акцессорных минералов, которые распределены в лейкогранитах крайне неравномерно. Весовые количества (первые десятки г/т) образуют топаз, флюорит, монацит, ильменит и др.; в единичных зернах встречаются колумбит-танталит, касситерит, рутил, пирротин, самородные металлы и др. Отсутствие в составе акцессориев магнетита, сфена, распространенность ильменита, появление магматогенного пирротина, самородных металлов указывают на образование Колыванских гранитоидов в условиях низкой фугтивности кислорода на фоне высокой глиноземистости и фтористости расплава. По минералогическим и петрохимическим особенностям массив отвечает коллизионным гранитам с ярко выраженной плюмазитовой тенденцией и представляет собой конечный дифференциат глубинного магматического очага. Исследованиями В.И. Сотникова, Г.С. Федосеева и др. [1] гранитоиды массива отнесены к Li-F геохимическому типу.

Среди материнских лейкогранитов распространены шлировые пегматитовые образования, по механизму формирования близкие к пегматитам камерного типа, генезис которых обычно связывается с завершением магматической стадии [6–9]. Формы выделений шлировых пегматитов – округлые или линзовидно выклинивающиеся, размером до 25×30 см. Контакт с лейкогранитами четкий, по линии контакта иногда отмечаются тонкие оторочки биотита. Структура лейкогранита в зоне контакта с пегматитами варьирует от средне- до мелкозернистой аплитовидной и порфировидной. Порфировидные аплитовидные граниты в виде маломощной прерывистой зонки, шириной до 10 мм, слагают внешнюю кайму пегматитовых обособлений.

Макроскопически графическая структура наблюдается фрагментарно и неясно выражена, однако в шлифах она проявляется достаточно четко. Сложены пегматиты плотным агрегатом крупных зерен розового калиевого полевого шпата, темно-серого кварца, часто с кристаллогранными очертаниями, мелкозернистым альбитом, единичными пластинками биотита. По составу калиевый полевой шпат, по данным рентгенофазовых исследований [10], отвечает микроклину с высокой степенью моноклинной упорядоченности, что является типоморфным признаком низкотемпературных образований (500...550 °C), характерных для гипабиссальных интрузивных тел и свидетельствует о проявленном автометасоматозе. Редко встречаются пегматитовые шпиры, пустотки которых выполнены крупными, размером до 3...5 см, кристаллами

морионовидного, дымчатого или темно-серого кварца часто зонального строения, призматическими кристаллами микроклина, альбита, бледно-голубого топаза размером до 15...20 мм, флюорита, а также шестоватыми агрегатами желтоватого берилла. Выполнение пустот кристаллами, согласно представлениям А.А. Маракушева, обязано постмагматическому процессу выщелачивания и собирательной перекристаллизации «...на основе остаточных флюидных камер (занорышей)...» [7. С. 58].

Состав акцессорных минералов пегматитов в целом аналогичен материнским породам. Специфичной и, видимо, типоморфной особенностью для пегматитов является присутствие, наряду с колумбитом-танталитом, вольфрамитом, ксенотимом, монацитом, а также большого разнообразия сульфидов, включающих молибденит, халькопирит, арсенипирит, галенит, пирротин, пирит. Следует заметить, вольфрамит в ассоциации акцессорий материнских пород не установлен, однако в пегматитах этот минерал образует весовые концентрации, встречен в виде призматических полисинтетически сдвойникованных кристаллов, размером 0,5...2 мм, по составу отвечает фербериту с высокими содержаниями примесей Nb и Ta, соответственно 4,5 и 0,5...1,0 мас. %.

Методика исследований

Аналитические исследования проводились в ИГиГ СО РАН (г. Новосибирск). Предварительная диагностика и определение химического состава выполнены на микрозонде CAMEBAX-MIC-RO к.х.н. Л.Н. Поспеловой. Детальное исследование неоднородности строения зерен колумбита-танталита и химического состава слагающих его минеральных фаз выполнено зав. лабораторией рентгеноспектральных методов анализа к.г.-м.н. Н.С. Кармановым при участии автора статьи на электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (Jeol Ltd) с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy350+. Микронные размеры и единичные зерна исследованных минералов не позволили провести их рентгено-структурные исследования, поэтому диагностика основана на данных химического состава. Данные по химическому составу снимались неоднократно и в различных точках микрозерен. Методика полевых исследований, сбора материала с последующей его обработкой освещена в работе [4].

Результаты и их обсуждение

Акцессорный вольфрамит колумбит-танталит, как и в материнских лейкогранитах, присутствует в единичных кристаллах удлиненно-призматического габитуса размером 0,1...0,3 мм. Окраска минерала буровато- или железочерная, поверхность граней микропористая, что придает зернам полуметаллический блеск. На поверхности граней обычно наблюдаются тонкие пленки, пятна желтовато-красноватого цвета.

Строение матрицы зерна вольфрамистого колумбита-танталита характеризуется внутрифазовой неоднородностью, которая при электронно-микроскопических наблюдениях в обратно рассеянных электронах проявляется в виде чередующихся темно- и светло-серых полосок или зон весьма разнообразной конфигурации. Линии границ между зонами не всегда проявляются четко, чаще они расплывчатые или «размытые» (рис. 1). Химический состав обособившихся минеральных фаз в виде зон различной интенсивности окраски отличается лишь различными концентрациями минералообразующих компонентов, главным образом, Ta, Nb, W, Ti (табл. 1).

Как следует из приведенных результатов химических анализов, вольфрамистый колумбит-танталит содержит довольно ограниченное число примесных элементов (Ti, Sc, Sn), среди которых повышенные концентрации образует лишь Ti (до 4 мас. %). Sc присутствует постоянно, и в отдельных точках его количество достигает 1 мас. %. Присутствие Sn устанавливается не во всех анализируемых точках и в количествах, не превышающих 0,38...0,84 мас. %.

Светло-серые зоны, в сравнении с темно-серыми, характеризуются максимально высокими содержаниями W (27,31...36,24 мас. %), соответственно пониженными концентрациями Nb и Ta. Однако коэффициенты отношений Nb/Ta как внутри зон, так и зон с различной интенсивностью окраски меняются незначительно, и во всех проанализированных точках обычно содержание Nb доминирует над Ta или находится примерно в равных соотношениях (табл. 1). Весьма резкие отличия зон в коэффициентах отношений (Nb+Ta)/W, которые в светлых зонах находятся в пределах 1...2, в темно-серых – разброс этих значений более широкий (4,60...8,34).

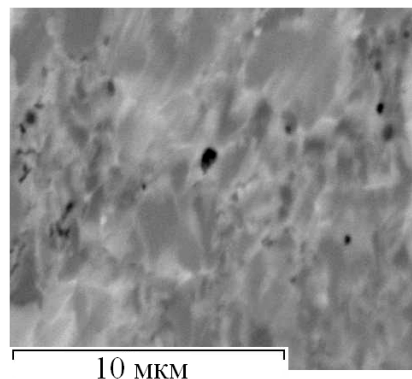


Рис. 1. Структура внутрифазовой неоднородности состава вольфрамистого колумбита-танталита в виде чередующихся темно- и светло-серых зон; черные точечные выделения – вещество псевдоморфоз; здесь и на последующих рисунках изображение в обратно рассеянных электронах

Кристаллохимические формулы вольфрамистого колумбита-танталита исследователями рекомендуется пересчитывать с позиции моноклинной модификации этого минерала [11]. Авторы не располагают рентгенометрическими данными в связи с единичными и микроскопическими размерами зерен, поэтому формула рассчитывалась по классическому варианту, т. е. по типу ромбической структуры AB_2O_6 . Вычисленные формулы по усредненному химическому составу зон различной интенсивности окраски имеют следующий вид:

- светло-серые зоны – $(Fe_{0,90}Mn_{0,39}Sc_{0,04})_{1,33}(Nb_{0,96}W_{0,63}Ta_{0,42}Ti_{0,13}Sn_{0,01})_{2,15}O_6$;
- темно-серые – $(Fe_{0,83}Mn_{0,30}Sc_{0,03})_{1,16}(Nb_{1,06}Ta_{0,62}W_{0,28}Ti_{0,23}Sn_{0,01})_{2,20}O_6$.

Как следует из формул, в позициях А и В наблюдается незначительный избыток катионов, что, видимо, связано с неупорядоченностью структуры

Таблица 1. Химический состав акцессорного вольфрамистого колумбита-танталита, мас. %

№	FeO	MnO	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	WO ₃	Sc ₂ O ₃	SnO ₂	Nb/Ta	(Nb+Ta)/W	Fe/Mn
Светло-серые зоны											
1	15,35	5,08	2,36	23,32	16,57	36,24	0,45	0,62	1,41	1,10	3,02
2	13,37	6,63	1,66	23,95	18,33	34,79	0,43	0,84	1,31	1,21	2,01
3	13,19	4,87	2,78	28,87	20,31	27,31	0,71	0,61	1,42	1,80	2,70
4	14,50	5,59	1,96	22,38	24,26	30,74	0,58	–	0,92	1,52	2,59
5	14,27	5,38	2,52	28,13	25,19	23,63	0,87	–	1,12	2,26	2,65
Среднее	14,14	5,51	2,26	25,33	20,93	30,54	0,61	0,41	1,24	1,58	2,59
Темно-серые зоны											
6	12,64	5,48	4,22	38,78	24,02	13,65	0,83	0,38	1,61	4,60	2,31
7	12,13	5,25	4,12	37,63	29,62	9,78	0,90	0,57	1,27	6,87	2,31
8	12,94	4,08	3,91	36,51	27,87	12,29	1,02	0,61	1,31	5,24	3,17
9	13,24	3,75	3,00	30,78	36,97	11,71	0,56	–	0,83	5,78	3,53
10	13,92	3,81	4,30	36,67	28,76	11,83	0,70	–	1,27	5,53	3,65
11	13,28	3,68	4,86	37,16	31,28	8,20	0,65	0,42	1,18	8,34	3,60
12	12,90	3,94	3,99	37,33	29,44	11,71	0,70	–	1,27	5,70	3,27
Среднее	13,01	4,28	4,06	36,41	29,71	11,31	0,77	0,28	1,25	6,01	3,12

Примечание. Здесь и в последующих таблицах суммы концентраций элементов нормированы к 100 %.

исследуемого минерала. Приведенные кристаллохимические коэффициенты подчеркивают различную геохимическую активность катионов, особенно группы В (W, Nb, Ta, Ti), при формировании внутрифазовой неоднородности кристалла вольфраimestого колумбита-танталита.

Электронно-микроскопическими наблюдениями, кроме внутрифазовой неоднородности вольфраimestого колумбита-танталита, выявлена фазовая гетерогенность его кристалла, которая формировалась в разное время в условиях меняющихся физико-химических обстановок среды минералообразования. В соответствии с принятыми представлениями о генетических типах неоднородности минералов [12–14] в вольфраimestом колумбите-танталите выделено три типа неоднородности: протогенетическая, сингенетическая и эпигенетическая.

Протогенетическая неоднородность вызвана включением ксенотима в виде двух параллельно сросшихся кристаллов (рис. 2). Прямолинейные очертания зерен резко нарушаются в участках соприкосновения с колумбитом-танталитом, который резорбирует ксенотим, проникает в его кристаллы, образуя разведенные границы, что указывает на более раннюю кристаллизацию ксенотима. Химический состав ксенотима, проанализированный по профилю от центра к периферии зерен, представлен в табл.2.

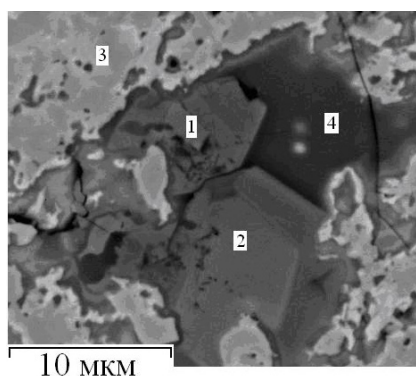


Рис. 2. Включение кристаллов ксенотима (1, 2) в вольфраimestом колумбите-танталите (3); темно-серые извилистые пятна (4) – вещество псевдоморфоз

В составе ксенотима преобладают тяжелые РЗЭ, составляющие в сумме 29,70...38,87 мас. %. Концентрации их, особенно Yb, Tm, Er, по площади зерен сохраняются практически неизменными. Можно лишь отметить тенденцию к уменьшению в периферических зонах содержания Sm, Gd, Dy и возрастанию в них роли Y. Среди легких РЗЭ в незначительных количествах присутствует Sm и эпизодически фиксируется Nd.

Кристаллохимические формулы ксенотима, пересчитанные по усредненному химическому составу в центральных и периферических участках зерен, представляются в следующем виде:

- центральные зоны –
 $(Y_{0,53}Yb_{0,11}Dy_{0,11}Er_{0,08}Gd_{0,05}Sm_{0,02}Ho_{0,02}Nd_{0,01}Lu_{0,01}Th_{0,01}U_{0,01})_{0,98}(P_{1,03}Si_{0,07})_{1,10}O_4$;
- краевые зоны –
 $(Y_{0,59}Yb_{0,10}Dy_{0,08}Er_{0,07}Gd_{0,03}Ho_{0,02}Tm_{0,01}Lu_{0,01}Sm_{0,01}U_{0,01})_{0,93}(P_{0,96}Si_{0,11})_{1,07}O_4$.

Сингенетическая неоднородность вольфраimestого колумбита-танталита обусловлена нахождением в нем микровключения чешуйки биотита с неровными, рваными краями (рис. 3).

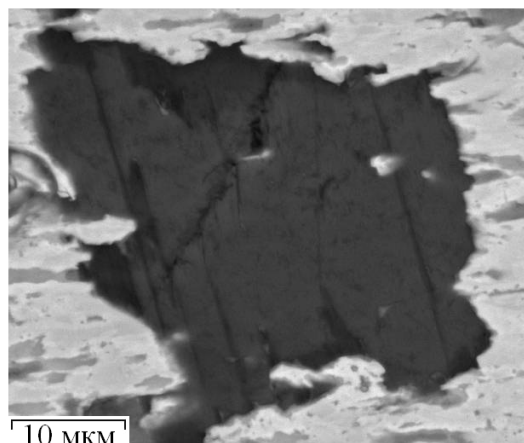


Рис. 3. Включение биотита (темное) в вольфраimestом колумбите-танталите (светло-серое)

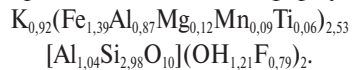
Химический состав биотита, проанализированный в трех его точках от края чешуйки к центру, характеризуется постоянством концентраций в нем компонентов (мас. %): SiO₂ 38,00; TiO₂ 0,95;

Таблица 2. Химический состав ксенотима, мас. %

№	SiO ₂	P ₂ O ₅	Y ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂
1	0,90	32,87	24,74	–	1,30	4,53	10,48	2,48	7,51	1,69	9,78	2,40	0,71	0,46
2	2,23	31,90	28,19	–	1,30	3,65	8,44	1,60	6,52	1,69	9,58	1,90	1,48	0,71
3	–	34,23	27,52	0,55	1,76	4,63	9,83	1,55	7,61	1,67	9,58	–	1,07	–
4	1,99	32,03	28,56	0,63	1,19	3,09	8,92	2,32	6,70	1,00	9,92	1,91	1,07	0,68
5	2,15	33,30	30,56	–	0,65	2,62	7,60	2,00	7,06	1,79	9,18	1,48	0,43	1,18
6	–	34,34	32,66	–	0,72	2,70	7,80	1,54	7,07	1,33	9,71	1,61	–	0,52
7	3,16	33,41	32,59	–	0,53	2,37	7,60	1,73	6,35	1,25	9,25	1,15	–	0,62

Примечание. Анализы № 1–4 – внутренние точки зерен, № 5–7 – периферические.

Al_2O_3 20,75; FeO 21,10; MnO 1,30; MgO 1,00; K_2O 3,24; F 3,20 (+4,5 H_2O). По составу соответствует высокожелезистым и высокоглиноземистым слюдам с повышенным содержанием F , и весьма близок к биотиту материнских лейкогранитов [5]. Обращает внимание стерильность биотита в отношении примесных элементов, в том числе Nb , Ta , W и PЗЭ , что связано с его высокой глиноземистостью [15]. Кристаллохимическая формула биотита:



Эпигенетическая неоднородность вольфрамистого колумбита-танталита проявилась в постмагматический этап на стадии кремнещелочного автометасоматоза. Поступление метасоматизирующих растворов в шпировые пегматиты обусловило процесс псевдоморфизации акцессорного вольфрамистого колумбита-танталита. Развитие псевдоморфоз новообразований наблюдается по всей площади зерна вольфрамистого колумбита-танталита, обычно приурочено к его внутрифазовым границам (рис. 1), микропорам и микротрещинкам, которые служили путями проникновения метасоматизирующих растворов. Структура замещения в целом наследует структурный рисунок матрицы зерна исходного минерала и проявляется в форме параллельно ориентированных удлинению кристалла прерывистых, цепочковидно вытянутых линзовидных полосок новообразований (рис. 4), а также в виде мелких точечных выделений, сливающихся в пятна с отходящими от них многочисленными «язычками», внедряющихся в вольфрамистый колумбит-танталит (рис. 5).

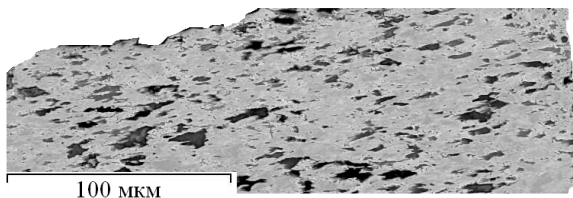


Рис. 4. Структура замещения вольфрамистого колумбита-танталита (серое) веществом псевдоморфоз (темные, субпараллельно ориентированные выделения)

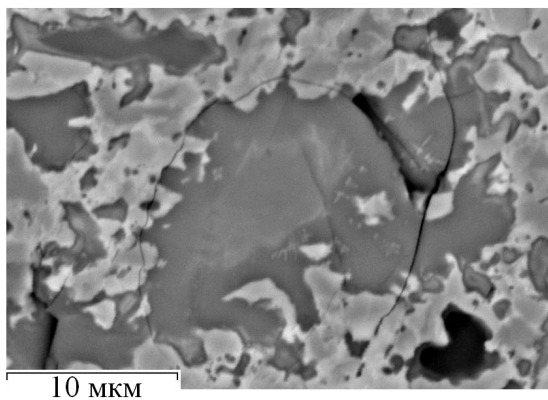


Рис. 5. Формы выделений вещества псевдоморфоз (темно-серое), замещающих вольфрамистый колумбит-танталит (светло-серое)

Кроме отмеченных агрегатных форм новообразований в локальных участках замещаемого минерала наблюдаются овоидоподобные изометрические минеральные индивиды размером 10...15 мкм с зональным строением, которое в обратно рассеянных электронах представляется в виде чередующихся светло- и темно-серых участков или непрерывных зон вещества псевдоморфоз (рис. 6). Светло-серые новообразования во внутренней части овоида слагают микрокристаллиты и формируют узкую, участками прерывистую оконтуривающую зонку. Вещество псевдоморфоз темно-серого цвета внутри овоида выполняет разнообразной конфигурации пятна, нитевидные полоски по границам светлых микрокристаллитов, слагает внешнюю кайму овоида. Многочисленные темные точечные выделения, сливаясь, образуют цепочки, вытянутые пятна новообразований, радиально ориентированные относительно овоида (рис. 6), и в соответствии с представлениями о механизме замещения Д.П. Григорьева [16] формируют «фронт замещения» вольфрамистого колумбита-танталита.

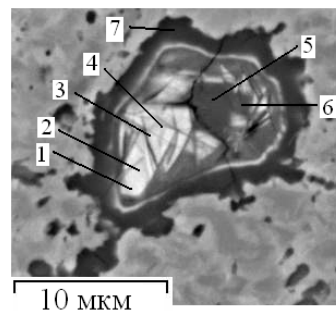


Рис. 6. Овоидовидная форма выделения вещества псевдоморфоз с зональным строением; цифрами обозначены номера химических анализов, приведенных в табл. 3

Химический состав минеральных индивидов псевдоморфоз различной интенсивности окраски представлен в табл. 3. Общей особенностью химизма как светлых, так и темных новообразований являются низкие суммы концентраций компонентов (76,50...85,30 мас. %), что отмечается в работах ряда исследователей тантало-ниобатов и объясняется высоким содержанием воды в составе минералов [13, 17, 18].

По химическому составу минеральное вещество светло-серых выделений весьма близко к минералам группы пирохлора, однако, в отличие от типичного пирохлора имеет свои специфические особенности, которые проявляются в следующем: а) повышенные концентрации PbO на фоне незначительного содержания CaO и практически отсутствия Na_2O ; б) отсутствие в составе минерала редкоземельных элементов и анионов F ; в) наличие примесей SiO_2 и Al_2O_3 .

Кристаллохимическая формула светло-серых выделений, пересчитанная по типу пирохлора $\text{A}_{2-m}\text{B}_2\text{O}_6\text{X}_{1-n}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ [14, 17] имеет следующий вид:

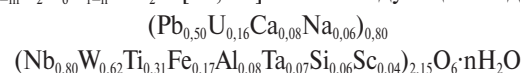


Таблица 3. Химический состав зон различной интенсивности окраски вещества псевдоморфоз, мас. %

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	MnO	Sc ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	WO ₃	PbO	ThO ₂	UO ₂
Светло-серые зоны														
1	–	0,93	–	0,75	5,47	3,09	–	–	20,98	–	33,08	26,32	–	9,38
2	1,63	0,68	0,38	1,23	4,90	2,23	–	0,39	25,40	5,25	27,36	22,04	–	8,52
3	3,68	0,96	–	1,10	5,58	2,47	–	–	25,40	–	27,39	23,74	–	9,68
4	–	1,00	0,36	0,66	5,20	2,94	–	0,64	19,84	1,54	33,51	25,66	–	8,65
Среднее	1,33	0,89	0,19	0,94	5,29	2,68	–	0,26	22,90	1,70	30,34	24,44	–	9,06
Темно-серые зоны														
5	16,57	–	–	1,87	2,36	2,47	1,24	–	29,42	21,65	9,54	9,47	–	5,41
6	15,17	0,62	–	1,82	2,49	2,34	1,07	0,37	29,02	21,51	10,79	9,38	0,99	4,42
7	14,19	0,78	–	1,71	2,57	3,89	1,04	0,27	24,47	23,85	11,07	8,38	0,65	3,43
Среднее	15,31	0,47	–	1,80	2,47	2,90	1,12	0,21	27,63	22,34	10,47	9,08	0,55	4,42

Примечание. Номера анализов соответствуют цифрам, обозначенным на рис. 6.

Приведенная формула светло-серых новообразований отвечает вольфрамистому плюмбопироксору, и минерал относится к довольно редкой разновидности группы пироксора. В формуле отмечается некоторый дефицит катионов группы А и соответственно незначительный избыток катионов группы В. В соответствии с классификацией минералов структурного типа пироксора по дефициту катионов в группе А вольфрамистый плюмбопироксор относится к ряду измененных пироксоров [18]. Развитие метасоматического пироксора по колумбиту-танталиту в условиях щелочной обстановки среды минералообразования отмечается многими исследователями как распространенное явление, которое называют пироксориризацией [11, 13, 14, 17–19] и обычно связывается с процессом альбитизации пегматитов.

Химический состав темно-серых новообразований весьма своеобразен и проявляется в повышенном для группы пироксора содержании Ta₂O₅ и соответственно пониженном – Nb₂O₅, а также в аномально высоких концентрациях SiO₂. В работах ряда авторов [20] в том или ином количестве в пироксоре примеси кремнезема указываются, а высокие концентрации примесных элементов характерны для разупорядоченных и метамиктизированных минералов [14]. В пересчете на кристаллохимическую формулу пироксора появляется большой избыток катионов группы В и резкий недостаток катионов группы А. Возможно, темно-серые выделения псевдоморфоз представляют собой новую разновидность минерала ряда плюмбопироксора с высоким содержанием кремнезема, и для точной его диагностики требуются рентгенометрические исследования.

Таким образом, эпигенетическая неоднородность вольфрамистого колумбита-танталита сформирована процессом псевдоморфизации. Поступающие кремнeshелочные метасоматизирующие растворы в обстановке высокой фугитивности кислорода приносили соединения Pb, U, Th, растворяли и выщелачивали компоненты вольфрамистого колумбита-танталита и новообразования минералов группы пироксора наследовали структуру за-

мещаемого зерна и внутрифазовую неоднородность его химического состава. Однако, наследуя химизм вольфрамистого колумбита-танталита, новообразованные минералы группы пироксора отличаются иными закономерностями распределения Nb, Ta, W. В вольфрамистом колумбите-танталите с увеличением концентраций W соответственно понижаются содержания Nb+Ta. В новообразованиях группы пироксора на изменение концентраций W активно реагирует лишь Ta при практически неизменных содержаниях Nb (табл. 3). Метасоматическое преобразование вольфрамистого колумбита-танталита сопровождалось частичным выносом из него растворенных компонентов – W, Nb, Ta, Ti, Sn, которые формировали в шлировых пегматитах акцессорные вольфрамит, рутил, касситерит, содержащие примеси Nb и Ta. Не исключается участие данных элементов в гидротермальных растворах, формировавших в эндо- и экзоконтактовых зонах массива рудную минерализацию.

Выводы

1. Электронно-микроскопическими исследованиями акцессорного вольфрамистого колумбита-танталита из шлировых пегматитов Колыванского массива (Колывань-Томская складчатая зона) выявлены внутрифазовая и фазовая неоднородности его состава и строения. Элементы гетерогенности минерала являются результатом длительно эволюционирующего процесса минералообразования в меняющихся физико-химических условиях от позднемагматической стадии до стадии кремнeshелочного автотметасоматоза.
2. В позднемагматическую стадию началу кристаллизации вольфрамистого колумбита-танталита предшествовало выделение редкоземельного ксенотима, включение кристаллов которого обусловили протогенетическую фазовую неоднородность.
3. Одновременное появление биотита и вольфрамистого колумбита-танталита создавало фазовую сингенетическую неоднородность. Периодические изменения изоморфной емкости

структурной постройки кристаллизующегося вольфрамистого колумбита-танталита приводили к перегруппировке катионов, главным образом, группы В — Nb, Ta, Ti, W и, как следствие, к формированию сингенетической внутрифазовой его неоднородности.

4. Эпигенетическая неоднородность вольфрамистого колумбита-танталита обязана его псевдоморфизации в стадию кремнещелочного аутометасоматоза. В результате метасоматического преобразования появились новые гидратированные ниобий-танталовые вольфрамсодержа-

щие минеральные фазы группы пирохлора с унаследованным химизмом внутрифазовой неоднородности замещаемого минерала — вольфрамистый плюмбопирохлор и минеральная фаза, близкая по составу к ряду плюмбопирохлора с весьма высоким содержанием кремнезема. В формировании новообразований наибольшую геохимическую активность проявляют катионы группы В — Ta и W, в меньшей степени — Nb. В группе А доминирующая геохимическая роль в минералообразовании принадлежит Pb и U.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В. и др. Геодинамика, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1999. — 227 с.
2. Росляков Н.А., Щербаков Ю.Г., Алабин Л.В. и др. Минералогия области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. — 243 с.
3. Небера Т.С. Типоморфизм породообразующих минералов как показатель эволюции расплава и физико-химических условий образования гранитоидов Колывань-Томской складчатой зоны: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Томск, 2010. — 24 с.
4. Новоселов К.Л. Неоднородность внутреннего строения и химического состава акцессорного вольфрамоносного колумбита-танталита гранитоидов Колыванского массива (Новосибирское Приобье) // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 318. — № 1. — С. 49–53.
5. Небера Т.С. Петрогенетическое значение состава биотита из гранитоидов Новосибирского Приобья // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Матер. Всерос. научной конф. — Томск, 2007. — Вып. 6. — С. 113–117.
6. Осипов М.А. Механизм образования камерных пегматитов в интрузивах гранитоидов формации малых глубин // Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации / под. ред. В.С. Коптева-Дворникова. — М.: Недра, 1972. — С. 242–253.
7. Маракушев А.А. Петрогенезис. — М.: Недра, 1988. — 293 с.
8. Гинзбург А.И., Тимофеев И.Н., Фельдман Л.Г. Основы геологии гранитных пегматитов. — М.: Недра, 1979. — 296 с.
9. Никаноров А.С. Гранитные пегматиты (проблемы генезиса и эволюции). — М.: Недра, 1979. — 168 с.
10. Небера Т.С., Борозновская Н.Н. Типоморфное значение структурно-химических особенностей калиевого полевого шпата из гранитоидов Новосибирского Приобья (КТСЗ) // Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 325. — С. 206–211.
11. Коноваленко С.И., Волошин А.В. и др. Вольфрамсодержащие разновидности танталониобатов из миароловых гранитных пегматитов Юго-Западного Памира // Минералогический журнал. — 1982. — Т. 4. — № 1. — С. 65–74.
12. Петровская Н.В. Признаки неоднородности минералов и их генетическое значение // Записки Всесоюзного минералогического общества. — 1977. — Ч. 106. — Вып. 1. — С. 34–44.
13. Волошин А.В., Пахомовский Я.А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. — Л.: Наука, 1988. — 242 с.
14. Волошин А.В. Тантало-ниобаты. Систематика, кристаллохимия и эволюция минералообразования в гранитных пегматитах. — СПб.: Наука, 1993. — 298 с.
15. Ляхович В.В. Редкие элементы в породообразующих минералах гранитоидов. — М.: Недра, 1972. — 200 с.
16. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. — Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1961. — 284 с.
17. Калита А.П. Процесс пирохлоризации разновидностей самарскита // Геохимия. — 1964. — № 10. — С. 1028–1036.
18. Горжевская С.А., Сидоренко Г.А., Гинзбург А.И. Титано-тантало-ниобаты (свойства, особенности состава и условия образования). — М.: Недра, 1974. — 344 с.
19. Тугаринов А.И. Общая геохимия. — М.: Атомиздат, 1973. — 288 с.
20. Минералы. Справочник. Т. II. Вып. 3. — М.: Наука, 1967. — 676 с.

Поступила 29.03.2011 г.