

УДК 549.51:549.761.62

НЕОДНОРОДНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АКЦЕССОРНОГО ВОЛЬФРАМОНОСНОГО КОЛУМБИТА-ТАНТАЛИТА ГРАНИТОИДОВ КОЛЫВАНСКОГО МАССИВА (НОВОСИБИРСКОЕ ПРИОБЬЕ)

К.Л. Новоселов

Томский политехнический университет
E-mail: nkonstantin1@rambler.ru

Изучено внутреннее строение зерен акцессорного колумбита-тантала лейкогранитов Колыванского массива. Строение зерен имеет сложную структуру распада трехкомпонентной изоморфной смеси, представленной колумбит-танталит-вольфрамитовыми фазами. Акцессорный колумбит-танталит лейкогранитов Колыванского массива явился главным минералом-аккумулятором вольфрама из магматического расплава.

Ключевые слова:

Колумбит-танталит, вольфрамит, структура распада, изоморфная система.

Key words:

Columbite-tantalite, wolframite, structure of dissociation, isomorphous system.

Колыванский гранитоидный массив, площадью около 100 кв. км расположен на северо-западе Колывань-Томской складчатой зоны, в плане имеет форму, вытянутую в субмеридиальном направлении. Согласно схемы гранитоидного магматизма [1] массив рассматривается в составе барлакского лейкогранитного комплекса (T_{2-3}), становление которого относится к коллизионному геодинамическому этапу и по своим геохимическим характеристикам отвечает А-типу [2]. С гранитоидами Колыванского массива пространственно и генетически связывается редкометалльная рудная ассоциация минералов Sn, W, Mo, Bi и др. [1, 3] и установлена их геохимическая специализация на редкие земли группы тяжелых лантаноидов, а также Y, Yb [1, 2, 4]. Глубина формирования массива соответствует мезо-гипабиссальной фации, температура кристаллизации — 550...600 °C и относится к глубоко дифференцированным интрузиям [2].

Колыванский интрузив в большей своей части перекрыт мощной толщей неогеновых отложений, в связи с чем автором изучались гранитоиды в действующем одноименном карьере. Площадь вскрытых пород около 400×500 м.

Краткая геолого-петрографическая и геохимическая характеристика гранитоидов массива

Породы представлены биотитовыми и биотит-мусковитовыми лейкогранитами, характеризуются массивной текстурой и неоднородной структурой с постепенными переходами от крупно- до среднезернистых с редкими порфировидными вкраплениями калиевого полевого шпата. В порфировидных среднезернистых лейкогранитах часто встречаются миаролитовые пегматитовые выделения размером не более 15×20 см, пустоты которых выполнены хорошо образованными кристаллами пневматолитовых минералов — дымчатого или мореновидного кварца, микроклина, альбита, топаза, берилла. По количественно-минералогическому составу выделено три разновидности гранитоидов:

двуполевошпатовый биотитовый лейкогранит; двуполевошпатовый биотит-мусковитовый лейкогранит; граносиенит. Наиболее распространены первые две разновидности пород. Минеральный состав обычный для лейкогранитов — калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц, биотит, мусковит. Калиевый полевой шпат относится к промежуточному ортоклазу и обычно пронизан обильными микропертитовыми вросками альбита [2, 5]. Порфировидные выделения калишпата представлены микроклин-микропертитом. Плагиоклаз присутствует в двух генерациях. Pl1 (An_{25-28}) образует относительно калиевого полевого шпата и кварца идиоморфные зерна, обычно серицитизирован. Pl2 (An_{10-20}) обрастает каймами плагиоклаза 1, в калиевом полевошпате формирует пертитовую структуру замещения. Кварц образует ксеноморфные или близкие к округлым зерна, а также в виде мелкозернистого агрегата выполняет трещинки в породе. Биотит в количественном отношении играет резко подчиненную роль по сравнению с лейкократовыми минералами. В его чешуйках содержится обильная вкрапленность акцессорных минералов с интенсивными плеохроичными ореолами. По химическому составу [5] биотит относится к высокоглиноземистой — сидерофилитовой группе с повышенным содержанием фтора и резко пониженной магниальностью. Среди примесных элементов в составе биотита, как показали исследования автора, отсутствуют редкие металлы, в том числе W, Nb, Ta, Sn, а также PЗЭ и Y-группы.

Избыточные концентрации относительно кларка по А.П. Виноградову в породах образуют Sn, Mo, W, Be, Nb, Ta, Hf, Pb, Cu, Zn, PЗЭ и элементы Y-группы, Th, U. К дефицитным примесным элементам относятся Ti, V, Rb, Sr, Zr, Ba. Среди элементов с избыточными концентрациями выделяются Sn, Mo (соответственно 10- и 8-кратное превышение кларковых величин), W, Pb (более чем в 5 раз превышает кларк). Содержание Nb и Ta немногим выше кларка и среднее отношение Nb:

Та составляет 6,46 (при кларковом — 5,71). По комплексу геохимических характеристик породы Колыванского массива относятся к Li-F типу с повышенной щелочностью [1, 2].

Редкометалльно-редкоземельный и иттриевый геохимический профиль лейкогранитов проявился на составе акцессорных минералов, в числе которых установлены монацит, ксенотим, циркон, колумбит-танталит, рутил, ильменит, флюорит, топаз, пирит, галенит, молибденит, а также самородные металлы — феррит, висмут, серебро, олово. В указанном широком спектре акцессорных минералов весовые количества (первые десятки г/т) образуют монацит, топаз, циркон, ильменит, ксенотим, другие акцессории, в том числе колумбит-танталит, встречаются в единичных зернах. Обращает внимание отсутствие в лейкогранитах акцессорного вольфрамит, что объясняется повышенной щелочностью магматического расплава, которая является неблагоприятным фактором для кристаллизации вольфрамит [6]. По содержанию и видовому составу акцессорий лейкограниты относятся к монацитовому типу.

Методика исследований

С целью изучения акцессорных минералов в карьере отбирались пробы весом 5...10 кг из всех разновидностей гранитоидов. Для устранения загрязнения протолок посторонним материалом дробление осуществлялось вручную в стальной ступе до фракции 0,5 мм. Вся последующая обработка протолок и изучение акцессорных минералов проводилась по общепринятой схеме. Изготовление препаратов для анализов акцессорных минералов выполнено Ю.И. Маликовым по разработанной им методике [7]. Все аналитические исследования минералов проводились в ИГиГ СО РАН (г. Новосибирск). Химический состав колумбита-танталита определялся на микрозонде CAMEBAX-MICRO с.н.с. Л.Н. Поспеловой. Детальный анализ строения зерен колумбита-танталита и исследование неоднородности его химического состава выполнен зав. лабораторией рентгеноспектральных методов анализа к.г.-м.н. Н.С. Кармановым на электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (Jeol Ltd) с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy 350+ (Oxford Instruments Analytical Ltd) при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе электронного пучка 0,3...0,5 нА. Спектры распределения элементов снимались не менее чем в 15—20 точках по профилю зерна от его края к центру.

Анализ содержания элементов-примесей в лейкогранитах Колыванского карьера заимствованы из работы [8].

Обсуждение результатов

Колумбит-танталит представлен тонкопластинчатыми или короткопризматическими кристаллами размером до 0,2...0,4 мм, железо-черного или буровато-черного цвета с матовым блеском. Ко-

лумбит-танталит часто находится в сростании с полевым шпатом, кварцем, биотитом, что указывает на его выделение в магматический этап, во времени сближенном с формированием порообразующих минералов. По данным экспериментальных исследований [9] кристаллизация колумбита-танталита в глубоко дифференцированных низкотемпературных магмах происходит на стадии близкой к субсолидусной.

В полированном препарате кристаллы его имеют пластинчатую, близкую к изометрической форму. Прямолинейные очертания зерен сохраняются лишь отдельными фрагментами, обычно края их «рваные», ступенчатые, волнистые или пилообразно зубрены. В срезе кристаллов наблюдаются следы деформации и растворения, проявляющиеся в микротрещиноватости, микропористости и наличии множества субпараллельно ориентированных пустоток, свидетельствующих о воздействии на минерал постмагматических флюидов.

Внутреннее строение зерен колумбита-танталита, выявленное на электронном сканирующем микроскопе, представляет собой сложный узор структуры, обусловленной распадом трехкомпонентного твердого раствора. В обратно рассеянных электронных структурах проявляется в виде параллельно или субпараллельно ориентированных темно-серых, светло-серых и редко встречающихся белых зон. Большую часть площади зерна составляют темно-серые зоны разнообразной конфигурации — линзовидно вытянутые полосы, пламенивидные, отдельные пятна с извилистыми кулисообразными, реже близкими к прямолинейным границами. Ширина этих зон варьирует в пределах 5...10 мкм. Сероватобелые зоны составляют тонкие каймы, шириной менее 5 мкм, вокруг темно-серых, образуют прерывистоволнистые, нитевидные полосы, линзовидно выклинивающиеся пятна, реже в виде отдельных фрагментов проявляется субграфическая структура, образованная взаимопрорастаниями светло- и темно-серых зон. Чередующиеся темно- и светло-серые полосы образуют повторяющиеся по всей площади зерна блоки, формируя своеобразную структуру «течения» (рис. 1). Весьма близкое строение матрицы зерна акцессорного колумбита-танталита лейкогранита из чередующихся извилистых полосок темных и светлых оттенков приводится в работе [10]. Белые участки, как правило, находятся среди темно-серых, образуя в них каплевидные выделения с расплывчатыми очертаниями границ. Реже белые выделения наблюдаются в формах близких к прямоугольным, размером до 5×2,5 мкм, с корродированными изъеденными краями, приуроченных к пустоткам зерен колумбита-танталита, рис. 1.

В химическом составе зерен колумбита-танталита кроме главных минералообразующих элементов установлены высокие и варьирующие концентрации W, а также примеси Ti, Si, Sc. Наличие W⁶⁺ в колумбите-танталите указывается многими авторами обычно в количестве десятых долей или

не превышающих 1...2 мас. % и допускается как структурная примесь, замещающая Nb^{5+} и Ta^{5+} в решетке минерала по правилам гетеровалентного изоморфизма [10–14]. В исследуемом акцессорном колумбите-танталите W присутствует в переменных количествах постоянно, достигая ураганно высоких концентраций (более 30 мас. %), и наряду с Nb, Ta выступает в роли основного минералообразующего компонента. Кристаллохимические свойства колумбита-танталита и вольфрамитового смешанного кристалла переменного химического состава.

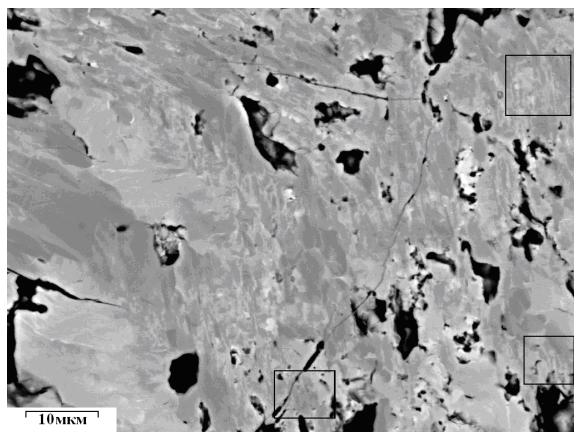


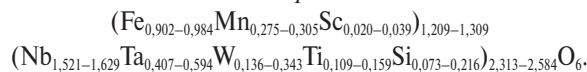
Рис. 1. Внутреннее строение зерна колумбита-танталита; в рамках – субграфическая структура, черные участки – пустоты и микротрещины; изображение в обратном рассеянии электронов

Темно- и светло-серые зоны кристалла состоят собственно колумбитом-танталитом с варьирующими концентрациями в них Nb_2O_5 , Ta_2O_5 и WO_3 при практически неизменных в пределах зоны содержаниях FeO, MnO, примесей TiO_2 , Sc_2O_3 . Редко встречающиеся белые участки зерна представляют выделения вольфрамитовой фазы, табл. 1.

Отличия химизма между темно- и светло-серыми зонами колумбита-танталита проявляются, главным образом, в количественном распределении основных минералообразующих компонентов – Nb_2O_5 , Ta_2O_5 и WO_3 . Темно-серые зоны характеризуются наибольшими концентрациями Nb_2O_5 и Ta_2O_5 и более низкими резко варьирующими содержаниями WO_3 (6,96...13,20 мас. %), в переменных количествах постоянно фиксируется примесь SiO_2 (0,94...2,87 мас. %). В светло-серых зонах на фоне резкого возрастания концентрации WO_3 снижается количество Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , увеличивается количество FeO при практически неизменном содержании MnO. В спектре примесных элементов отсутствует Si, уменьшается содержание Ti. Вариации химического состава зон колумбита-

танталита отражены в их кристаллохимических формулах:

Темно-серые зоны:



Светло-серые зоны:

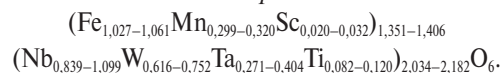


Таблица 1. Химический состав зон различной интенсивности окраски кристалла акцессорного колумбита-танталита, мас. %

SiO ₂	FeO	MnO	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	WO ₃	Sc ₂ O ₃	Сумма
Темно-серые (колумбит-танталит)								
2,87	14,30	4,30	2,59	46,04	22,46	6,96	0,48	100,0
1,37	14,45	4,39	2,71	45,41	21,35	9,84	0,48	100,0
1,69	14,58	4,32	2,41	45,33	22,42	8,79	0,46	100,0
2,25	14,63	4,43	2,36	44,50	21,67	9,61	0,55	100,0
1,88	14,73	4,51	2,41	47,03	20,75	8,28	0,42	100,0
0,94	14,90	4,55	2,12	45,16	19,32	12,51	0,50	100,0
2,20	14,69	4,58	2,30	37,77	24,84	13,20	0,42	100,0
2,54	14,32	4,49	2,74	44,18	23,39	7,86	0,49	100,0
1,86	14,34	4,40	2,34	45,78	22,60	8,11	0,57	100,0
1,95	14,24	4,55	2,63	43,16	24,37	8,61	0,49	100,0
1,33	13,96	4,39	2,42	36,72	27,71	13,07	0,40	100,0
X _{ср}	1,90	14,47	4,45	43,74	22,81	9,71	0,48	–
Светло-серые (колумбит-танталит)								
–	16,00	4,61	1,48	28,10	15,58	33,89	0,34	100,0
–	16,44	4,63	2,09	30,40	13,09	32,97	0,38	100,0
–	15,88	4,76	1,81	31,32	14,54	31,31	0,38	100,0
–	15,96	4,77	1,96	30,39	14,42	32,03	0,47	100,0
–	16,07	4,68	1,72	27,21	14,23	35,68	0,41	100,0
–	15,87	4,79	1,62	31,43	14,67	31,29	0,33	100,0
–	15,83	4,77	1,68	28,66	18,75	30,00	0,31	100,0
–	16,12	4,76	1,39	23,59	16,87	36,86	0,41	100,0
X _{ср}	–	16,02	4,72	1,72	28,89	15,27	0,38	–
Белые (вольфрамит)								
–	17,24	5,11	0,39	6,58	6,58	64,10	–	100,0
–	17,05	4,95	0,56	10,51	9,15	57,78	–	100,0
–	16,45	4,75	0,61	11,44	10,67	55,73	0,37	100,0
–	15,26	5,01	0,91	17,89	12,83	47,87	0,23	100,0
X _{ср}	–	16,50	4,96	0,62	11,61	9,81	0,15	–

Примечание. Содержания компонентов нормированы к 100 %. Прочерк – элемент не установлен. X_{ср} – среднее содержание. Анализ выполнен на электронном сканирующем микроскопе, аналитик – к.г.-м.н. Н.С. Карманов.

Определенные закономерности в изменении химизма зон колумбита-танталита с различной интенсивностью окраски проявляются в коэффициентах отношений главных минералообразующих компонентов (табл. 2). Величины отношений $Nb_2O_5:Ta_2O_5$ являются варьирующими, однако их значения в темных и светлых зонах близки, и обычно ниобиевый компонент доминирует над

танталовым. Резко различаются зоны коэффициента отношения $(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5) : \text{WO}_3$. Темно-серые зоны характеризуются большей величиной отношения и широким ее разбросом. В светло-серых зонах это отношение варьирует в узких пределах, и в сумме ниобиевый и танталовый компоненты близки к вольфрамовому. Коэффициент отношения $\text{FeO} : \text{MnO}$ в пределах зон остается практически неизменным, однако при переходе от темно-серых к светлым наблюдается возрастание этого показателя, обусловленное увеличением содержания FeO .

Таблица 2. Коэффициенты отношений минералообразующих компонентов в зонах различной интенсивности окраски кристалла акцессорного колумбита-танталита

Отношения компонентов	Колумбит-танталит		Вольфрамит
	Темно-серые зоны	Светло-серые зоны	
$\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{Ta}_2\text{O}_5$	$\frac{1,33 \dots 2,34}{1,95}$	$\frac{1,40 \dots 2,32}{1,92}$	$\frac{1,00 \dots 1,39}{1,15}$
$(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5) : \text{WO}_3$	$\frac{4,74 \dots 9,84}{7,19}$	$\frac{1,10 \dots 1,58}{1,35}$	$\frac{0,21 \dots 0,64}{0,40}$
$\text{FeO} : \text{MnO}$	$\frac{3,13 \dots 3,36}{3,25}$	$\frac{3,31 \dots 3,55}{3,40}$	$\frac{3,05 \dots 3,46}{3,33}$

Примечание. В числителе – минимальные и максимальные величины отношений, в знаменателе – среднее значение.

Отмеченные особенности химизма темных и светлых зон колумбита-танталита представлены на трехкомпонентной диаграмме (рис. 2). Фигуративные точки соотношения содержаний ниобиевого, танталового и вольфрамового компонентов образуют два обособленных поля, соответствующих темно- и светло-серым зонам кристалла колумбита-танталита. Имеющий место разброс фигуративных точек в пределах поля отражает неравномерность распределения ниобиевой, танталовой и вольфрамовой составляющих.

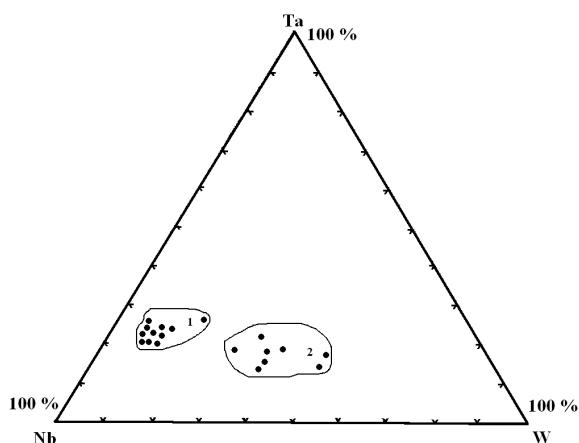
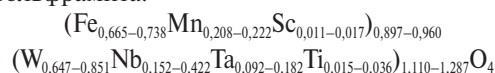


Рис. 2. Диаграмма соотношения содержаний Nb, Ta, W в темно-серых (1) и светло-серых (2) зонах колумбита-танталита

Выделения вольфрамитовой фазы, представляющие продукт распада твердого раствора, на-

следуют химизм минералообразующей среды. В роли изоморфных компонентов в составе вольфрамитов выступают Nb_2O_5 и Ta_2O_5 , образуя в нем повышенные содержания. В меньших концентрациях, в сравнении с зонами колумбита-танталита, присутствуют изоморфные примеси Ti и Sc (табл. 1). Между содержанием $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5$ и WO_3 проявляется четкая обратная связь: с уменьшением суммы ниобиевого и танталового компонентов в минерале соответственно возрастает содержание вольфрамового ангидрида. Nb_2O_5 и Ta_2O_5 образуют близкие концентрации, при незначительном доминировании ниобия, и коэффициент их соотношения близок к 1:1 (табл. 2). Однако отношение $(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5) : \text{WO}_3$ является варьирующей величиной, что связано с колебаниями содержаний WO_3 . Разброс содержаний WO_3 в составе вольфрамитов, возможно, связан с изменившимися физико-химическими условиями среды кристаллизации. В.Ф. Барабановым и др. [6] установлено, что увеличение щелочности приводит к растворению и выносу вольфрамитов.

Содержание FeO , как и в зонах колумбита-танталита, доминирует над MnO , и величина их отношения остается практически неизменной (табл. 2). Состав вольфрамитов соответствует фербериту (FeWO_4 64,5...73 %). Кристаллохимическая формула вольфрамитов:



Выводы

1. Акцессорный колумбит-танталит лейкогранитов Колыванского массива явился главным минералом-аккумулятором вольфрама из магматического расплава. Обогащенность материнской интрузии летучими, преимущественно фтором, повышенные глиноземистость и щелочность расплава способствовали мобилизации W и накоплению его в кристаллической решетке колумбита-танталита с образованием смешанного кристалла переменного состава.
2. Внутреннее строение зерна вольфрамоносного колумбита-танталита представляет собой структуру распада трехкомпонентного твердого раствора, природа которого обязана явлению гетеровалентного несовершенного изоморфизма, существующего между атомами Nb^{5+} , Ta^{5+} и W^{6+} .
3. Преобладающая площадь матрицы зерна складывается двумя фазами колумбита-танталита, отличающимися друг от друга различными концентрациями и соотношениями Nb, Ta и W, а также примесных элементов – Ti, Si, Sc. Третья минеральная фаза представлена вольфрамитом, существенно ферберитового состава, в кристаллической решетке которого в качестве изоморфных компонентов концентрируются Nb_2O_5 и Ta_2O_5 , а также сохраняются, но в меньших количествах, изоморфные примеси Ti и Sc.

4. Выделение вольфрамитового компонента в самостоятельную минеральную фазу свидетельствует о существовании предела изоморфной смесимости в трехкомпонентной закрытой системе $\text{Nb}_2\text{O}_5 - \text{Ta}_2\text{O}_5 - \text{WO}_3$. При избыточной концентрации WO_3 в кристаллической решетке минерала-хозяина (более 30 мас. %) происходит «сбрасывание» его

в самостоятельный минеральный вид с унаследованным химизмом минералообразующей системы.

Автор выражает благодарность сотрудникам ИГиГ СО РАН (г. Новосибирск) Л.Н. Поспеловой и Н.С. Карманову за помощь в диагностике колумбита-танталита, проведенные аналитические работы и полезные замечания при обсуждении рукописи статьи.

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 ОИГГМ, 1999. — 227 с.
2. Небера Т.С. Типоморфизм породообразующих минералов как показатель эволюции расплава и физико-химических условий образования гранитоидов Колывань-Томской складчатой зоны: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. — Томск, 2010. — 24 с.
3. Росляков Н.А., Шербаков Ю.Г., Алабин Л.В. и др. Минерагения области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. — 243 с.
4. Новоселов К.Л. Распределение редкоземельных элементов в гранитоидных массивах Колывань-Томской складчатой зоны // Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов: Матер. I Междунар. конф. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. — С. 270–272.
5. 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.
6. Барабанов В.Ф., Виноградова Л.Г. К вопросу о причинах колебания состава вольфрамитов // Вопросы геохимии и типоморфизма минералов / под ред. В.Ф. Барабанова. — Л.: Наука, 1985. — С. 60–91.
7. Маликов Ю.И. Подготовка препаратов для анализа на микрозонде. — Новосибирск: Изд-во ИГиГ, 1984. — 63 с.
8. Небера Т.С. Пермо-триасовый гранитоидный магматизм Колывань-Томской складчатой зоны. Новые геохимические данные // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Матер. Всеросс. научной конф. — Томск, 2009. — С. 233–241.
9. Чевычелов В.Ю., Бородулин Г.П., Зарайский Г.П. Влияние состава расплава и Р–Т условий на растворимость и распределение Ta и Nb в системе водный флюид — гранитоидный расплав: экспериментальные данные // Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов: Матер. I Междунар. конф. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. — С. 419–421.
10. Tindle A.G., Breck F.W. Columbite-tantalite mineral chemistry from rare-element granitic pegmatites: Separation Lake area, N.W. Ontario, Canada // Mineralogy and Petrology. — 2000. — V. 70. — P. 165–198.
11. Барсанов Г.П., Еремин Н.И., Сергеева Н.Е. Неоднородность химического состава минералов группы колумбита-танталита по данным микрорентгеноструктурного анализа // Известия АН СССР. Сер. геологич. — 1971. — № 8. — С. 85–94.
12. Цибульчик В.М., Поспелова Л.Н., Лаврентьев Ю.Г., Маликов Ю.И., Гречишев О.К. Состав колумбита из щелочных гранитов и коры выветривания (по данным рентгеноспектрального микроанализа) // Геология и геофизика. — 1986. — № 9. — С. 81–88.
13. Mulja T., Williams-Jones A.E., Martin R.F., Wood S.A. Compositional variation and structural state of columbite-tantalite in rare-element granitic pegmatites of the Preissac-Lacorne batholite, Quebec, Canada // American Mineralogist. — 1996. — V. 81. — P. 146–157.
14. Scott P.W., Pascoe R.D., Hart F.W. Columbite-tantalite, rutile and other accessory minerals from the St Austell topaz granite, Cornwall // Geoscience in South-West England. — 1998. — № 9. — P. 165–170.

Поступила 07.10.2010 г.