

Металлогенез

КР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2006. №2. С. 22–30

УДК 553.493.542:551.311.231(574.13)

К. Р. ПЛЕХОВА¹, В. Л. ЛЕВИН², А. Н. ТОПОЕВ³, В. А. ГЛАГОЛЕВ⁴

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДЫ И ОСОБЕННОСТИ ТАНТАЛО-НИОБАТОВ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ВЕРХНЕИРГИЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Жоғарғы-Ырғыз кенорнындағы үгілү қабаттарында тантал-ниобий кендену минералологиялық ерекшеліктері қаралған. Колумбит-танталит минерал топттарының және серіктес минералдардың құрамы мен қасиеттері заманымызға сәйкес өздістермен зерттелген. Таужыныстар құрастыруышы минералдар арқылы тантал мен ниобидің сейілу дәрежесі анықталған және ілімдік мүмкін болатын пайдалы құрамдардың концентратқа алынуы есептелген. Жоғарғы-Ырғыз кенорнының үгілү қабаты кендерінің минералдық құрамын зерттеу негізінде кендейніңда режимдері таңдалып байтудың гравитациялық сұлбасы ұсынылады.

Рассмотрены минералогические особенности tantalum-niobium-руды в корах выветривания Верхнеиргизского месторождения. Современными методами исследованы свойства и состав минералов группы колумбит-танталита и сопутствующих минералов. Определена степень рассеяния тантала и ниobia по породообразующим минералам и рассчитано теоретически возможное извлечение полезных компонентов в концентрат. На основе изучения минерального состава руд коры выветривания Верхнеиргизского месторождения подобраны режимы рудоподготовки и рекомендована гравитационная схема обогащения.

Mineralogical peculiarities of tantalum-niobates mineralization in weathering crusts of the Upper-Irgiz deposit are considered. Present-day methods were used for studying properties and composition of minerals of the columbite-tantalite group and accessory minerals. Dispersion degree of tantalum and niobates was determined according to rock-forming minerals. Theoretically possible extraction of useful components in concentrate was estimated. Regimes of ore preparation were determined on the basis of ore mineral composition study. Gravitational scheme of enriching was recommended.

Верхнеиргизское месторождение (Западный Казахстан, Актыбинская область), открытое в 1961 г. И. Е. Костиком и Г. А. Дидоренко, разведывалось и изучалось затем А. С. Аблановым, В. И. Федоровым, Г. А. Костиком, Б. Е. Милецким, А. А. Тарасовым [3]. Представлено оно редкометалльным оруденением лито-халькофильного состава и связано с щелочной стадией герцинского гранитоидного магматизма [1,4,6–8]. Месторождение представляет собой новый геолого-промышленный тип tantalum-niobium-руды в Казахстане, связанное с формацией щелочных метасоматитов и залегающее в древних метаморфических толщах [7]. Щелочной метасоматоз (калишпатизация, альбитизация, мусковитизация; окварцевание) проявился в докембрийских породах, приуроченных к тектонически ослабленным зонам. Вмещающие породы представлены амфиболит-кварцito-гнейсовой толщей текельдытауского комплекса докембра.

В статье излагаются результаты исследования проб, отобранных из коры выветривания дрес-

вяно-щебенистого состава с участков Промежуточный (27 проб), Льтовский (1 проба) и Надежный (1 проба). Указанные пробы были отобраны на месторождении в 2001 г. Геоинцентром при проведении геологоразведочных работ.

Целью исследований являлось установление минералого-технологических особенностей руды коры выветривания для выработки оптимального режима технологического обогащения tantalum-niobates. Был определен состав, свойства полезных и породообразующих минералов, их гранулометрическая характеристика, поведение в процессе магнитно-гравитационного разделения, а также, что очень важно, выполнен расчет баланса распределения тантала и ниobia по основным минералам руды, что позволило определить теоретически возможное извлечение их в концентрат.

Диагностика и свойства минералов изучены с помощью традиционной оптической микроскопии. Химический состав минералов определялся в лаборатории физических методов исследова-

^{1,2,4} Казахстан. 050010, г. Алматы, Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева.

³ Казахстан. 050008, г. Алматы, Шевченко, 162 ж, ТОО «Геоинцентр».

ний ИГН им. К. И. Сатпаева с помощью микролитического комплекса Supergrub-733 фирмы «Джеол» (Япония) с энергодисперсионным спектрометром INCA ENERGY фирмы Oxford Instruments (Англия).

Минеральный состав кор выветривания во многом унаследован от «материнских» пород, отличаясь от последних содержанием и соотношением первичных минералов и продуктов их гипергенной переработки. Общее количество минеральных видов, установленных в корах выветривания, насчитывается порядка пятидесяти (табл. 1) [8].

Основными промышленноценными на месторождении являются минералы группы колумбит-танталита. По морфологии зерен колумбит-танталиты представлены:

– призматическими, длиннопризматическими, столбчатыми, игольчатыми, пирамидально-призматическими кристаллами и их обломками;

– изометричными, уплощенными кристаллами и их обломками (рис.1).

Соотношение указанных двух разновидностей зерен в пробах различно, но в общей массе оно составляет примерно 2:1. В крупных классах проб (>1 мм) они находятся в сростках с породообразующими минералами или образуют тонкую вкрапленность в мусковите, в мелких – в виде свободных зерен, кристаллов и их обломков. Размеры относительно изометричных зерен варьируют от тысячных долей мм в поперечнике до 0,5, 0,65–0,80 мм, удлиненно-призматические кристаллы размером 0,90x0,20, 0,60x0,25, 0,45x0,25 мм и т. д. Редко встречаются кристаллы до 2 см.

Таблица 1. Минеральный состав первичных руд и кор выветривания Верхнеиргизского месторождения

Минералы	Первичные руды*		Коры выветривания	
	Рудные и редкометалльные минералы	Нерудные минералы	Рудные и редкометалльные минералы	Нерудные минералы
Основные	Танталит-колумбит	Калиевые пол.шпаты, кварц, альбит	Колумбит-танталит	Кварц, калиевые пол. шп., альбит, мусковит
Второстепенные	Ильменорутил, тантал-пирохлор, берилл	Турмалин, амфибол, эпидот, мусковит, ставролит, силлиманит, кианит, хлорит	Ильменорутил, тантал-пирохлор, берилл	Турмалин, гранат, силлиманит, кианит, эпидот, ганит, биотит, амфибол
Редкие и акцессорные	Ильменит, магнетит, гематит, пирит, халькопирит, сфалерит, молибденит, пирротин, рутил, кассiterит, циркон, малакон, монацит	Сфен, апатит, фенакит, топаз, флюорит, ортит, ганит	Ильменит, магнетит, гематит, пирротин, цирит, молибденит, марказит, рутил, анатаз, брукит, кассiterит, циртолит, циркон, малакон, монацит	Сфен, апатит, топаз, флюорит, ортит
Гиергенные			Гидрогетит, пиролозит, лейкоксен	Каолинит, галлуазит, гидрослюдя, бассанит, кальцит, барит, целестин, сидерит

* По данным В. И. Федорова [8].



Рис. 1. Колумбит и колумбит-танталит. Без анализатора, увел. 47

С помощью рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа нами установлено, что в большинстве случаев удлиненные кристаллы отвечают по составу колумбиту, а изометричные и уплощенные – колумбит-танталиту и танталит-колумбиту. Подобная закономерность отмечена и в работах [2, 8]. Внешне минералы черные, со смолистым блеском и штриховкой на

гранях. В тонких сколах под микроскопом они имеют красно-коричневую окраску.

С целью установления соотношения тантала и ниobia, а также минералов группы колумбит-танталита выполнено по месторождению порядка 40 рентгеноспектральных микроанализов, часть из которых представлена в табл. 2.

Судя по данным табл. 2, вариации содержаний тантала и ниobia в составе минералов весьма существенны, причем это наблюдается не только на разных участках месторождения, но и в отдельных пробах одного участка, а нередко и одного зерна. По химической классификации минералы отвечают колумбиту, колумбит-танталиту и танталиту. На участке Промежуточный представлены практически все разности ряда «колумбит–танталит» с вариациями в содержаниях пятиокиси тантала от 8,67 до 55,83%, пятиокиси ниobia от 28,18 до 71,89% при среднем содержании соответственно 19,08 и 61,66%. Таким образом, $Ta_2O_5:Nb_2O_5$ составляет 1:3,23. По данным химических анализов проб по участку Промежуточный при среднем содержании в руде 50 г/т Ta_2O_5 и 160 г/т Nb_2O_5 оно равно 1:3,2.

Таблица 2. Химический состав минералов группы колумбита-танталита, мас. %

№ п/п	№ проб (кол-во анализов)	Минерал	Nb_2O_5	Ta_2O_5	MnO	FeO	SiO_2	TiO_2	Сумма
1	C-149y (2)	Колумбит	68,66	10,83	4,91	15,36	0,35	0,23	100,34
2	-/- (2)	Колумбит-танталит	58,40	23,29	3,83	15,21	0,72	0,28	101,73
3	C-2 (2)	Колумбит	65,35	14,80	3,15	16,72	0,51	0,16	100,69
4	-/- (1)	Колумбит-танталит	56,87	21,92	3,11	18,24	0,87	0,14	101,15
5	-/- (1)	Колумбит	68,83	11,65	4,32	16,37	0,42	0,05	101,6
6	K-2/8 (5)	Колумбит	71,89	8,67	4,06	15,82	0,24	0,19	100,86
7	-/- (2)	Колумбит	69,04	12,52	4,45	15,22	0,36	0,16	101,75
8	-/- (1)	Колумбит	60,87	20,37	3,37	15,46	0,70	0,17	101,03
9	K-2/70	Колумбит	71,12	8,85	6,08	13,73	0,25	0,16	100,19
10	-/- (1)	Колумбит	66,79	13,23	7,69	11,95	0,42	0,26	100,34
11	-/- (1)	Колумбит	62,72	18,26	3,80	14,77	0,56	0,17	100,38
12	-/- (1)	Танталит-колумбит	28,18	55,83	7,85	8,74	0,11	0,25	100,97
13	K-2/160 (4)	Колумбит	71,05	9,87	5,44	14,11	0,33	0,30	101,10
14	-/- (1)	Колумбит-танталит	60,01	21,82	3,69	14,69	0,68	0,76	101,96
15	K-4/25 (1)	Колумбит-танталит	49,58	32,88	4,95	13,12	1,16	0,48	101,17
16	-/- (2)	Колумбит	68,83	8,72	5,92	13,61	0,22	0,23	97,53
17	-/- (1)	Колумбит-танталит	49,99	30,97	3,85	14,08	1,01	0,40	100,26
	Среднее		61,66	19,08	4,73	14,54	0,52	0,26	100,77
18	K-6/15 (1)	Колумбит-танталит	50,42	31,02	2,50	15,87	1,02	0,72	101,55
19	-/- (1)	Колумбит-танталит	56,40	22,93	3,92	15,57	0,75	0,38	99,95
20	-/- (1)	Колумбит	69,57	9,33	5,6	15,37	0,30	0,18	100,11
	Среднее		58,79	21,09	4,00	15,60	0,69	0,43	100,53

Примечание. Пробы 1–17 отобраны на участке Промежуточный, 18–20 – на участке Львовский.

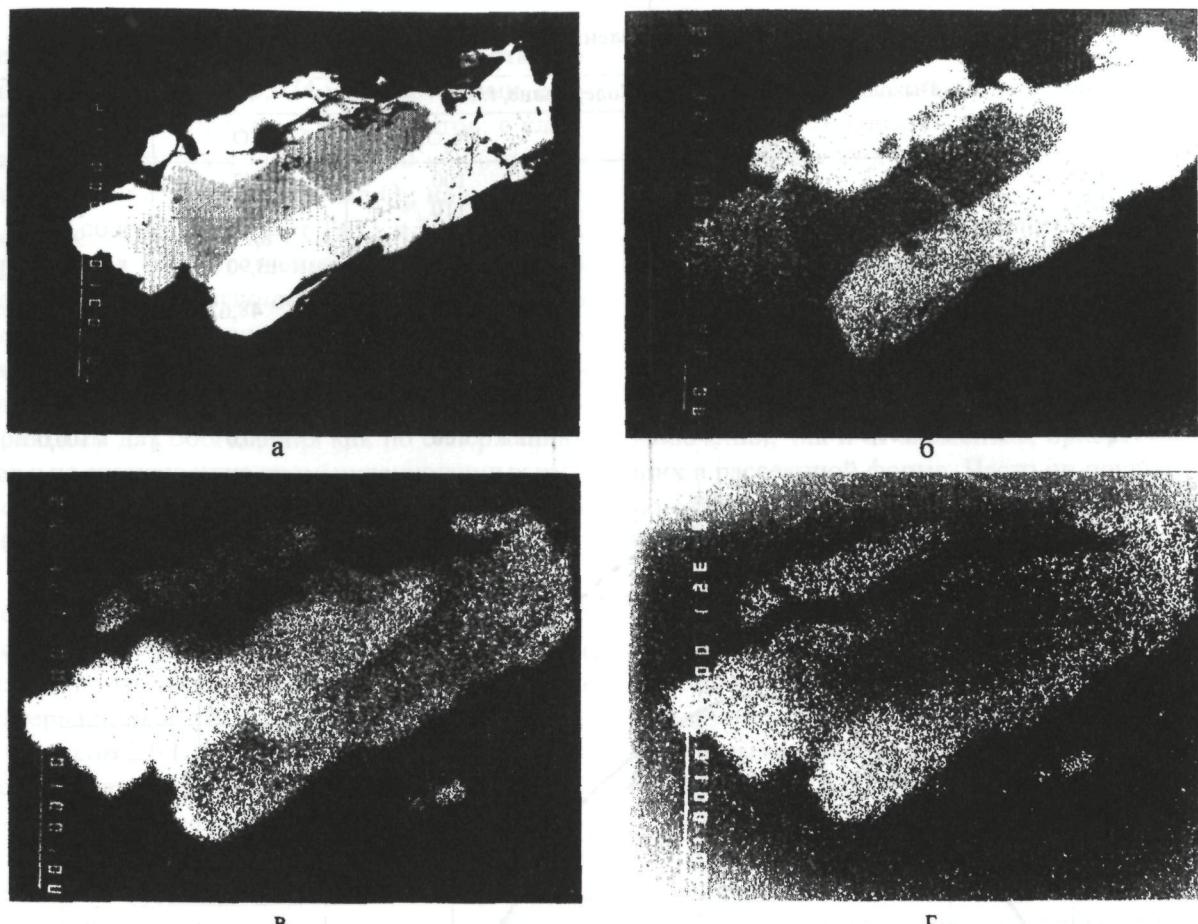


Рис. 2. Изображение зонального зерна колумбита-танталита: а – в обратно-рассеянных электронах (состав); б – в характеристическом рентгеновском излучении $Ta\ L_3$, в – $Nb\ L_3$, г – $Fe\ K$. Длина масштабной метки – 100 мкм.
Периферия зерна обогащена танталом, а центральная часть – ниобием. Видна прямая корреляция в распределении тантала и железа

При изучении отдельных зерен тантало-ниобатов в одном из кристаллов длиннопризматического габитуса (рис. 2, а) было установлено 6 зон (от центра к периферии зерна) с вариациями в содержании Ta_2O_5 от 10 до 50 %, Nb_2O_5 от 32 до 66% (табл. 3). На рис.2, б–г отражено распределение тантала, ниobia и железа в пределах данного зерна (изображение в характеристическом рентгеновском излучении), где видно, что ниобием обогащена центральная часть зерна, танталом – периферия, железо коррелируется с танталом.

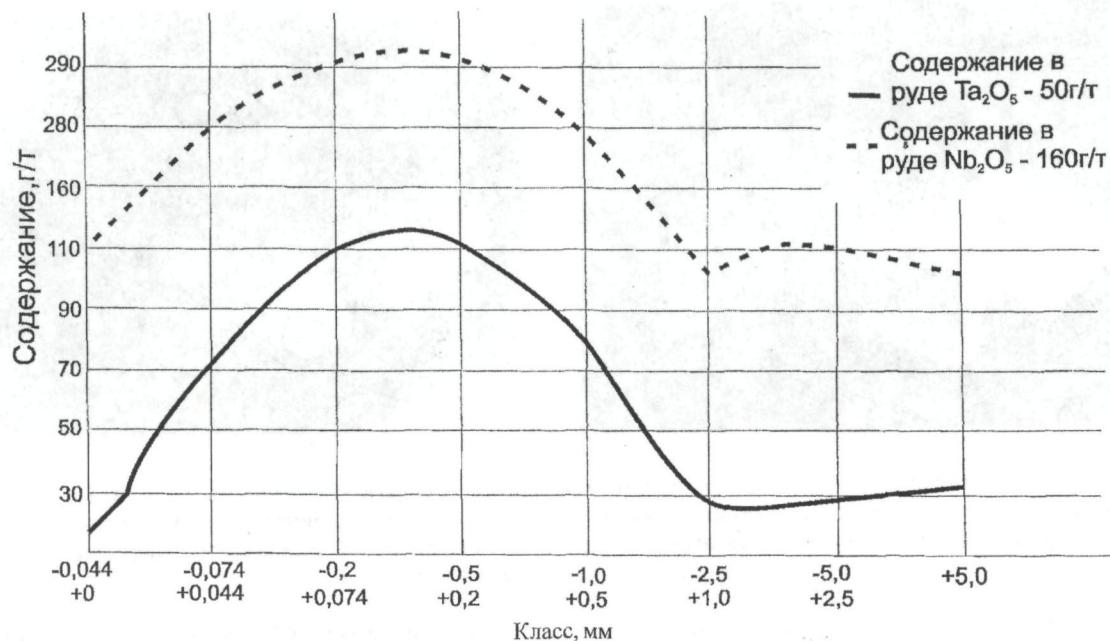
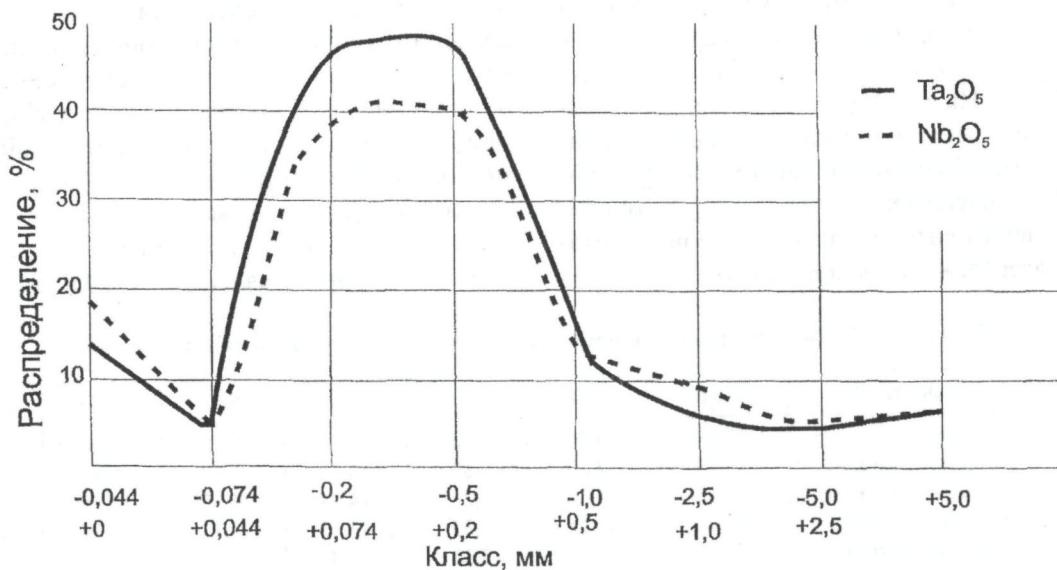
Гранулометрия исходного материала, степень равномерности распределения в нем тантало-ниобатов и распределение тантала и ниobia по классам рассыповки имеют определяющее значение не только для операций рудоподготовки и обогащения, но и для правильного выбора оптимальной аппаратурно-технологической схемы металлургической переработки руды и продуктов ее обогащения. Такой анализ выполнен для средней пробы участка Промежуточный. Результаты анализа представлены в табл.4 и на рис. 3 и 4.

Таблица 3. Состав минеральных зон кристалла группы колумбита-танталита, мас. %

№ зоны	Минеральная зона	Nb_2O_5	Ta_2O_5	MnO	FeO	SiO_2	TiO_2	Сумма
1	Колумбит	67,99	10,54	5,60	14,12	0,28	0,24	98,77
2	Колумбит-танталит	57,55	22,20	4,80	13,69	0,70	0,45	99,39
3	Колумбит-танталит	59,95	18,30	5,23	14,14	0,57	0,58	98,78
4	Танталит-колумбит	32,73	50,28	3,55	13,13	0,77	0,86	101,32
5	Колумбит-танталит	47,13	34,10	3,35	14,37	1,16	0,57	100,62
6	Танталит-колумбит	32,52	49,25	3,36	13,51	1,80	0,77	101,20

Таблица 4. Содержание и распределение Ta_2O_5 и Nb_2O_5 по классам крупности

Класс, мм	Выход, %	Содержание, г/т		Распределение, %	
		Ta_2O_5	Nb_2O_5	Ta_2O_5	Nb_2O_5
+5,0	10,7	30	100	6,42	6,73
-5+2,5	7,25	25	110	3,65	5,01
-2,5+1,0	16,78	26	95	8,79	9,93
-1,0+0,5	9,87	70	225	13,90	13,72
-0,5+0,2	12,08	105	280	48,63	40,50
-0,2+0,074	10,92	55	165	4,15	4,29
-0,074+0,044	3,75	25	110	14,42	19,82
-0,044+0,020	2,65				
-0,020+0	26,0				
Исх, руда	100,0	50	160	100,0	100,0

Рис. 3. Содержание Ta_2O_5 и Nb_2O_5 по классам крупностиРис. 4. Распределение Ta_2O_5 и Nb_2O_5 по классам крупности

Как следует из табл.4, наиболее высокое содержание Ta_2O_5 и Nb_2O_5 (105 и 280 г/т) отмечается в классах $-0,50+0,074$ мм, с которыми связано более 40% полезных компонентов; с классами $-0,074$ мм при содержании 80 и 275 г/т связано 18,57 и 24,11% Ta_2O_5 и Nb_2O_5 ; на класс $-1+0,5$ мм, содержащий 70 г/т Ta_2O_5 и 225 г/т Nb_2O_5 , приходится соответственно 13,90% и 13,72 % компонентов. Соотношение Ta_2O_5 и Nb_2O_5 в классах разной крупности различно и колеблется от 1:2,66 в классе $-0,5+0,074$ до 1:4,4 в классах $-5+2,5$ и $-0,044+0$ мм, т. е. наиболее благоприятным для обогащения как по содержанию, так и по соотношению промышленноценных компонентов является материал крупностью $-0,5+0,074$ мм.

С целью изучения свойств полезных и породообразующих минералов, их потенциального поведения в процессе обогащения был выполнен магнитно-гравитационный анализ серого шлиха материала проб. В тяжелой жидкости с удельным весом 2,9 г/см³ выделена тяжелая фракция, которая затем с помощью магнита Сочнева разделена на четыре продукта: магнитный, среднемагнитный, слабомагнитный и немагнитный. Магнитная фракция представлена магнетитом, оксидами, гидроксидами железа и ожелезненными слюдами. В составе среднемагнитных фракций отмечены оксиды и гидроксиды железа, ильменит, гранат-альмандин, ожелезненные слюды, темноцветные минералы. В слабомагнитной фракции сконцентрирована основная масса колумбита и колумбита-танталита. Вместе с ними присутствуют гранат, эпидот, оксиды железа, ожелезненные слюды, ставролит, турмалин, амфиболы и др. Разнообразен состав немагнитной фракции, где отмечаются циркон, рутил, циртолит, ганит, кассiterит, турмалин, корунд, анатаз, брукит, сфен, силлиманин, андалузит, флюорит, топаз, сульфиды, бассанит, минералы марганца и др. С помощью рентгеновского микроанализатора выполнен анализ отдельных минералов проб (табл. 5).

Типичными минералами проб являются гидроксиды железа, представленные гетитом, гидрогематитом, которые образуются за счет высвободившегося железа при разрушении слюд, магнетита и гематита. Они содержат до 4 г/т пятиокиси tantalа. Обычно они образуют самостоятельные зерна, налеты, примазки на слюдах, про-

питывающие глинистые минералы, чем и объясняется наличие последних в магнитных фракциях.

Основными породообразующими минералами проб являются кварц, мусковит и гидромусковит, глинисто-гидрослюдистые образования, полевые шпаты – микроклин и альбит. Почти во всех пробах отмечается бассанит – моноклинная, более высокотемпературная модификация $CaSO_4$. По трещинам в виде сажистых и дендритовидных налетов развит пиролюзит.

Кварц в гипергенной зоне подвергся растрескиванию и дезинтеграции, освобождаясь как от включений, так и от элементов, присутствовавших в рассеянной форме. Часто он покрыт гидрогематитовой рубашкой, а в пустотах на нем наблюдаются налеты каолинита и галлуазита. Нейтронно-активационным методом в кварце установлены Ta_2O_5 и Nb_2O_5 , содержание которых составляет 2,7–3,5 и 30–50 г/т соответственно.

Калиевые полевые шпаты в корах выветривания дезинтегрированы, пелитизированы и частично замещены каолинитом и галлуазитом. Содержание Ta_2O_5 и Nb_2O_5 в полевых шпатах 1,3 и 30 г/т.

Альбит наименее устойчив в условиях зоны выветривания пород и обычно замещается гидрослюдисто-каолинитовым агрегатом.

Мусковит представлен пластинчатыми и листоватыми индивидами, в различной степени гидратированными и по периферии замещенными глинисто-гидрослюдистым агрегатом. Он содержит мельчайшие включения колумбита-танталита. Содержание Ta_2O_5 и Nb_2O_5 составляет 40 и 150 г/т соответственно.

Каолинит, галлуазит и гидрослюдистый присутствуют в значительных количествах и при обработке проб переходят в класс $-0,044$ мм. По данным нейтронно-активационного анализа содержание Ta_2O_5 зависит от степени ожелезнения и составляет 2,6–4,9 г/т.

В слабомагнитной и немагнитной фракциях выделен редко встречающийся минерал группы шпинели ганит ($ZnAl_2O_4$) светло-голубого или бледно-зеленого цвета. Мелкие зерна его (тыс. доли мм) имеют форму октаэдра. В ряде проб присутствуют более крупные обломки зерен голубого цвета кубической сингонии, которые также относятся к ганиту, что подтверждено данными электронно-зондового анализа. Состав зерен его из разных проб довольно однообразен и представлен в табл. 5.

Таблица 5. Химический состав минералов руды коры выветривания Верхнеиргизского месторождения, мас. %

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	35,74	36,48	37,4	37,66	19,81	22,14	19,66	—	—	—
TiO ₂	0,02	0,01	0,21	0,01	—	—	—	50,24	52,9	50,92
Al ₂ O ₃	20,04	21,03	21,52	21,21	1,21	0,64	0,71	0,03	0,02	—
FeO	29,61	25,33	19,71	30,12	0,82	0,67	1,29	41,45	42,53	48,01
MgO	0,22	0,11	2,18	2,33	0,20	0,21	0,22	0,27	0,09	—
CaO	0,40	0,37	2,44	1,47	2,30	1,90	2,22	—	0,02	—
MnO	11,45	17,32	16,55	8,04	—	—	—	2,24	2,66	1,55
Na ₂ O	—	0,01	0,02	—	—	—	—	—	0,01	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	4,16	4,73	6,94	—	—	—
UO ₂	—	—	—	—	1,02	0,74	0,62	—	—	—
HfO ₂	—	—	—	—	3,57	2,82	2,56	—	—	—
ZrO ₂	—	—	—	—	53,5	55,5	54,29	—	—	—
Nb ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	97,48	100,66	100,03	100,84	86,59	89,35	88,51	94,23	98,23	100,48
Миналы:										
Альмандин	70,25	57,86	45,31	68,01						
Андродит	0,31	—	—	—						
Гроссуляр	0,91	1,05	7,20	4,25						
Пироп	0,91	0,42	8,94	9,37						
Спессартин	27,62	40,66	38,55	18,37						

Оксид	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	—	37,3	27,78	36,34	—	—	—	36,49	—	—
TiO ₂	51,22	0,02	0,53	0,73	—	—	—	—	94,67	96,63
Al ₂ O ₃	—	62,93	54,79	34,42	56,82	57,48	56,68	59,5	0,09	0,07
FeO	43,08	0,45	12,36	6,49	7,6	6,09	6,32	0,45	0,3	0,07
MgO	0,12	—	1,49	5,74	0,05	—	—	—	—	—
CaO	—	0,01	—	0,34	0,01	—	—	—	—	—
MnO	2,28	—	0,31	0,08	0,36	0,20	0,19	0,03	—	—
Na ₂ O	0,03	—	0,02	2,04	1,42	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
UO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HfO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZrO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nb ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	1,18	0,10
Сумма	96,73	100,71	98,06	86,18	100,80	99,97	99,13	96,54	96,24	96,87

Примечание. 1–4 – гранаты; 5–7 – циртолиты; 8–11 – ильмениты; 12 – дистен; 13 – ставролит; 14 – турмалин; 15–17 – ганиты; 18 – силиманит; 19 – рутил; 20 – анатаз.

В слабомагнитных фракциях отмечается несколько разновидностей гранатов, различных по цвету и составу. Гранаты имеют в основном альмандин-спессартиновый состав с содержанием минала альмандина от 45 до 70%, спессартина – от 18 до 40 %. В отдельных зернах гранатов отмечается примесь пиропового (до 9%) и гроссулярового (до 7%) миналов.

Практически во всех пробах в различных количествах имеется бурый турмалин – дравит,

реже встречается голубовато-синяя его разновидность – индиголит.

В слабомагнитных фракциях отдельных проб содержится оранжевый ставролит, минералы группы эпидота-циозита, роговая обманка, пироксен.

В немагнитных фракциях всех проб присутствуют циркон и рутил. В рутиле содержится 1,18 % Nb₂O₅. В некоторых пробах отмечается до 20, а иногда и до 80 % разновидности циркона –

циртолита (рис. 5). Внешне минерал непрозрачный, светло-желтовато-бежевый, с гранями призмы и пирамиды. В виде примеси в нем присутствуют P_2O_5 (до 7%), UO_2 (до 1%), HfO_2 (до 3,5%) (см. табл.5). Он обогащен радиоактивными элементами и образован в результате радиоактивных превращений, приведших к распаду и переходу циркона в метамиктное состояние. В немагнитных фракциях некоторых проб содержится до 50 % кассiterита (рис. 5), иногда фракция на 90 % состоит из tremolита. Распространены дистен, силлиманит, андалузит, в небольшом количестве присутствуют корунд, монацит, торит, апатит, анатаз, сфен, пирит; в электромагнитных фракциях – псевдоморфозы по нему.

Известно, что почти все редкие элементы и в том числе tantal и ниобий присутствуют в рудах в двух формах: в виде концентрированной в собственно редкометалльных минералах и в форме рассеяния в породообразующих, второстепенных и вторичных минералах [6]. Установление соотношения этих двух форм нахождения редких элементов в руде имеет не только теоретический, но и большой практический интерес, поскольку в процессе обогащения элемента фактически извлекается лишь та его часть, которая заключена в редкометалльном минерале. Поэтому здесь нами была предпринята попытка дать количественную оценку соотношения концентрированной и рассеянной форм нахождения указанных редких элементов, т. е. степень их рассеяния, другими словами – определить теоретически возможное извлечение последних в концентрат в процессе обогащения руды.

Данные табл. 6 о содержании и распределении Ta_2O_5 и Nb_2O_5 в минералах показывают, что с породообразующими минералами связано окон-



Рис. 5. Циртолит (светлое) и касситерит (темное). Без анализатора, увел. 47

ло 30% Ta_2O_5 и 35% Nb_2O_5 , причем наибольшее количество этих компонентов присутствует в мусковите, гидромусковите и глинисто-слюдистой массе. В кварце и полевом шпатае соотношение tantalа и ниobia примерно одинаково, тогда как в мусковите и гидромусковите оно составляет 1:3,51, а в гидроксидах железа – 1:2,73. Судить о формах нахождения рассеянной части tantalа и ниobia в минералах затруднительно, но ясно [6], что далеко не весь tantal и ниобий находится в изоморфной форме среди породообразующих минералов. По-видимому, значительная часть их находится в виде тончайших субмикроскопических включений tantalо-ниобатов в породообразующих минералах.

В результате исследований минералого-технологических особенностей руд коры выветри-

Таблица 6. Содержание и баланс распределения Ta_2O_5 и Nb_2O_5 по основным минералам руды

Минералы	Содержание, %	Содержание в минералах, %		Распределение по минералам, %	
		Ta_2O_5	Nb_2O_5	Ta_2O_5	Nb_2O_5
Группа колумбита-танталита	0,0235	19,08	61,66	70,45	65,05
Кварц	25,68	0,0035	0,0030	1,33	3,46
Полевые шпаты	6,06	0,00015	0,0020	0,15	0,55
Мусковит, гидромусковит	28,63	0,0037	0,013	15,64	16,71
Гидроксиды железа	2,54	0,0044	0,012	1,65	1,37
Бассанит	8,4165	–	–	–	–
Глинисто-гидрослюдистая масса	28,65	0,0026	0,010	10,78	12,86
Исходная руда	100,00	0,0070	0,0227	100,00	100,00

вания редкометалльного Верхнеиргизского месторождения можно сделать следующие выводы:

1. Основными промышленноценными компонентами являются минералы группы колумбита-танталита. Состав минералов непостоянен. Содержания Ta_2O_5 и Nb_2O_5 в них варьируют от 8 до 56% и от 28 до 71% соответственно и по химической классификации они отвечают колумбиту (преобладает), колумбит-танталиту и танталиту. Встречаются кристаллы с блоковым или зональным строением с колебаниями в содержаниях Ta_2O_5 от 10 до 50 %, Nb_2O_5 от 32 до 66 %. Размер зерен – от тысячных долей до 2 мм, однако преобладают кристаллы крупностью – 0,5+0,074 мм.

2. Минеральных видов установлено в корах выветривания порядка пятидесяти. Минеральный состав кор выветривания во многом наследует состав коренных пород, отличаясь от последних содержанием и соотношением первичных и присутствием гипергенных минералов – глинисто-гидрослюдистых образований, бассанита, оксидов железа и марганца, составляющих порядка 30 % материала проб.

3. По содержанию, распределению и соотношению пятиокиси tantalа и ниobia наиболее благоприятным для обогащения материалом является класс – 0,5+0,074мм.

4. Теоретически возможное извлечение из руд коры выветривания пятиокиси tantalа и ниobia в концентрат, связанных с минералами группы колумбита-танталита, можно ожидать на уровне 70 и 65%. Остальная их часть в основном находится в дисперсной неизвлекаемой фор-

ме в составе мусковита и глинисто-гидрослюдистой массы.

5. На основе изучения минерального состава проб, а также свойств тантало-ниобатов и сопутствующих им породообразующих минералов может быть рекомендована гравитационная схема обогащения руд месторождения с гидравлической классификацией по классам крупности и последующей доводкой на винтовых сепараторах и концентрационных столах.

ЛИТЕРАТУРА

- Беспаев Х. А., Степаненко Н. И. Прогноз и оценка территории Казахстана на выявление традиционных и новых нетрадиционных типов месторождений tantalа и ниobia // Минерально-сырьевые ресурсы tantalа, ниobia, бериллия, циркония и фтора: Геология, экономика, технология. 2003. С. 55–58.
- Горжевская С. А. Сидоренко Г. А. Гинзбург А. И. Титано-тантало-ниобаты. М.: Недра, 1974. С. 47–49.
- Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана: Справочник. Алматы, 1998. С. 16–18.
- Мильецкий Б. Е. Верхнеиргизское пегматитовое поле // Металлогенез Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд редких металлов. Алма-Ата, 1981. С. 78–79.
- Михайлов А. Г., Садовский Ю. А. и др. О поведении tantalа и ниobia в корах выветривания гранитов и пегматитов Верхнего Прииргизья // Материалы сессии, посвященной 150-летнему юбилею Всесоюз. минер. общ-ва. Алма-Ата, 1969. С. 68–70.
- Соловьев Н. А. Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов. М., 1962. С. 150–175.
- Степаненко Н. И., Панкратова Н. Л. Щелочные метасоматиты – новый геолого-промышленный тип tantalо-ниобиевого оруденения в Казахстане // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2005. №1. С. 49–56.
- Федоров В. И. Структурно-формационные условия образования, строения, состав и процессы экзогенного изменения редкометалльных пегматитов Мугоджар: Дис. ...канд. геол.-минер. наук. 1976. 200 с.