

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.752.321(470.54)

© Д.чл. И. В. ПЕКОВ,* д. чл. О. В. ЯКУБОВИЧ,* Д. К. ЩЕРБАЧЕВ,** Н. Н. КОНОНКОВА***

МАГНЕЗИОТАНТАЛИТ (Mg, Fe)(Ta, Nb)₂O₆ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ГРУППЫ КОЛУМБИТА—ТАНТАЛИТА ИЗ ДЕСИЛИЦИРОВАННЫХ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ ЛИПОВКИ (СРЕДНИЙ УРАЛ) И ЕГО ГЕНЕЗИС

I. V. PEKOV, O. V. YAKUBOVICH, D. K. SHCHERBACHEV, N. N. KONONKOVA.

MAGNESIOTANTALITE (Mg, Fe)(Ta, Nb)₂O₆.

THE NEW COLUMBITE-TANTALITE GROUP MINERAL FROM DESILICATED
GRANITE PEGMATITES OF LIPOVKA (THE CENTRAL URALS) AND ITS GENESIS

* Московский государственный университет, 119899, Москва, Воробьевы Горы

** Всероссийский институт минерального сырья, 109017, Москва, Старомонетный пер., 31

*** Институт геохимии и аналитической химии РАН, 117975, Москва, ул. Косыгина, 19

Magnesiotantalite, a new mineral of the columbite—tantalite group was found in Lipovka pegmatite field, Rezh district, the Central Urals, Russia. Intergrowths of magnesiotantalite, ferrotantalite, ferrocolumbite and U-microlite form replacing rims upon manganotantalite crystals occurring in andesine-calcite nests located in the axial part of a zonal vein of deeply desilicated granite pegmatite cross-cutting serpentinite close to its contact with marble. Niobo-tantalates associate with tourmaline of dravite-uvite series, chrysoberyl, phlogopite, magnesiohornblende-edenite series amphibole, cordierite, phenakite, clinocllore, etc. Magnesiotantalite occurs as flattened irregular grains up to 0.4 mm and segregations up to 0.7 mm in size. Opaque, color black, streak brown-red, luster semi-metallic to metallic. Brittle, cleavage not observed, fracture uneven. Mohs' hardness ~5.5, microindentation hardness 489(5) kg/mm² (load 50 g). D_{meas} 6.7(3), D_{calc} 6.79 g/cm³. In reflected light, magnesiotantalite is light-gray, weakly anisotropic, with brown-red internal reflexes. Reflection indices (γ , nm— R_{max} , %— R_{min} , %) are: 400—15.20—14.02; 450—14.28—12.76; 500—13.33—13.20; 550—13.47—13.28; 600—14.90—14.58; 650—15.55—15/15; 700—14.76—13.76. Calculated refractive indices (for 589 nm wavelength) are: $N_g = 2.235$, $N_p = 2.213$. Chemical composition of holotype (electron probe, wt %) is: MgO 5.27, FeO 6.71, MnO 0.82, TiO₂ 0.38, Nb₂O₅ 24.19, Ta₂O₅ 61.86; total 99.23. The empirical formula calculated on O₆ is: (Mg_{0.56}Fe_{0.40}Mn_{0.05}) $\Sigma_{1.01}$ (Ta_{1.20}Nb_{0.78}Ti_{0.02}) $\Sigma_{2.00}$ O₆. Simplified formula is: (Mg, Fe)(Ta, Nb)₂O₆. Magnesiotantalite forms a continuous isomorphic series with ferrotantalite and ferrocolumbite. Orthorhombic, space group *Pbcn* (ba analogy with other isostructural members of the group). Unit cell dimensions: $a = 14.335(2)$, $b = 5.735(1)$, $c = 5.058(1)$ Å, $V = 415.8(2)$ Å³, $Z = 4$. The strongest lines of its X-ray powder pattern (d , Å— hkl) are: 3.67—60[310, 111]; 2.96—100[311]; 1.774—60[330]; 1.746—50[602]; 1.728—70[621]; 1.545—50[910]; 1.462—90[911, 332]. Aggregate of microlite and magnesiotantalite — ferrotantalite — ferrocolumbite was formed as a result of the reaction of manganotantalite with constituents of the hostrock: Mg, Fe and Ca, during the contact metasomatic alteration of the granite pegmatite, with elevated oxidation potential of the mineral-forming media. Magnesiotantalite was named from its chemical composition, according to the unified nomenclature regulations. It is known that the CNMNM IMA has renamed the former *magnocolumbite* by its decision to *magnesiocolumbite*. Type specimen of magnesiotantalite is deposited in Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

В десилицированных гранитных пегматитах Липовки на Среднем Урале установлен новый минеральный вид — Mg- и Ta-доминантный член группы колумбита-танталита. По химическому составу этот первый природный танталат магния получил название **магнезиотанталит**.¹

¹ Рассмотрено и рекомендовано Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО 30 марта 2002 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов ММА 3 июня 2002 г.

Минералы группы колумбита—танталита являются наряду с представителями группы пироклора самыми распространенными в природе тантало-ниобатами. До недавнего времени они служили одними из главных промышленных минералов ниобия, а свое значение как важный источник тантала не потеряли по сей день. В группу колумбита—танталита объединены пять изоструктурных (ромбические, *Pbcn*, структурный тип α - PbO_2) видов с общей формулой AB_2O_6 : ферроколумбит FeNb_2O_6 , манганоколумбит MnNb_2O_6 , магноколумбит (магнезиоколумбит²) MgNb_2O_6 , ферротанталит FeTa_2O_6 и манганотанталит MnTa_2O_6 (формулы даны для конечных членов). Ферроколумбит, манганоколумбит и манганотанталит широко распространены, а ферротанталит и магнезиоколумбит относятся к редким минералам. В природной системе ферроколумбит—манганоколумбит—манганотанталит—ферротанталит наблюдается непрерывное поле составов, а высокомагнезиальные образцы встречаются весьма редко. До сих пор составы со значительным содержанием магния были известны только для фаз с высоким Nb/Ta-отношением. Видимо, это связано с тем, что танталовые члены группы в большинстве случаев формируются в редкометаллических гранитных пегматитах, обогащенных Li, Cs, Ta, Sn и Mn, причем наиболее богатые танталом разновидности кристаллизуются на самых поздних стадиях пегматитового процесса. Такие системы рассматриваются обычно как закрытые, магний для них нехарактерен и появление здесь высокомагнезиальных оксидных минералов представляется с геохимической точки зрения крайне маловероятным.

В литературе описаны три находки достоверного магнезиоколумбита. Две из них сделаны в небольших жильных телах гранитных пегматитов, секущих высокомагнезиальные карбонатные породы — магнезитовые мраморы на месторождении благородной шпинели Кухилал на Юго-Западном Памире (Матиас и др., 1963; Корнетова и др., 1971) и доломитовые мраморы в Восточной Сибири (Недашковский и др., 1967). Магнезиоколумбит, пограничный по составу с ферроколумбитом, установлен в жиле доломитового карбонатита, залегающей в метагипербазитах Булдымского массива, Вишневые горы, Южный Урал (Поляков, 2000). По всей вероятности, для появления высокомагнезиальных членов группы колумбита—танталита требуется не только значительное содержание магния в минералообразующей среде, но и низкие активности «конкурирующих» с ним Mn^{2+} и Fe^{2+} . Последнее может быть достигнуто в том числе и повышением окислительного потенциала, о чем прямо говорит теснейшая ассоциация магнезиоколумбита с ильменорутилом $(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Nb})_3\text{O}_6$ в пегматитах Памира и Восточной Сибири (Матиас и др., 1963; Корнетова и др., 1971; Недашковский и др., 1967).

Анализируя обстановку, в которых формируется магнезиоколумбит, можно предположить, что если небольшое тело гранитного пегматита, обогащенного Ta, окажется среди реакционноспособных высокомагнезиальных пород, то в нем возможно появление танталов магния. Именно этот редкий случай и реализовался в Липовке.

Условия нахождения. Гранитные пегматиты окрестностей деревни Липовское в 15 км к северо-западу от города Реж на Среднем Урале (обычно называемые «пегматитами копей Липовки») впервые получили широкую известность в 1900 г. благодаря находке в них крупных скоплений цветного ювелирного турмалина. На протяжении всего XX в., а особенно в его первые годы, из пегматитов Липовки старателями добывались прекрасные кристаллы турмалина-эльбаита, розовый бурилл-воробьевит, топаз, лепидолит и петалит. Многочисленные, но, как правило, небольшие жилы гранитных пегматитов литиевого типа залегают здесь среди гнейсов, амфиболитов, мраморов, аподунитовых и апоперидотитовых серпентинитов, дайковых гранитов и аплитов. Этот пестрый комплекс пород «зажат» между тремя крупными гранитными массивами — Мурзинским, Адуйским и Соколовским. С линейными и площадными корами выветривания серпентинитов связано Липовское

² Решением Комиссии по новым минералам и названиям минералов ММА от 3 июня 2002 г. принято в целях унификации номенклатуры переименовать Mg- и Nb-доминантный член группы колумбита—танталита из *магноколумбита* в *магнезиоколумбит*.

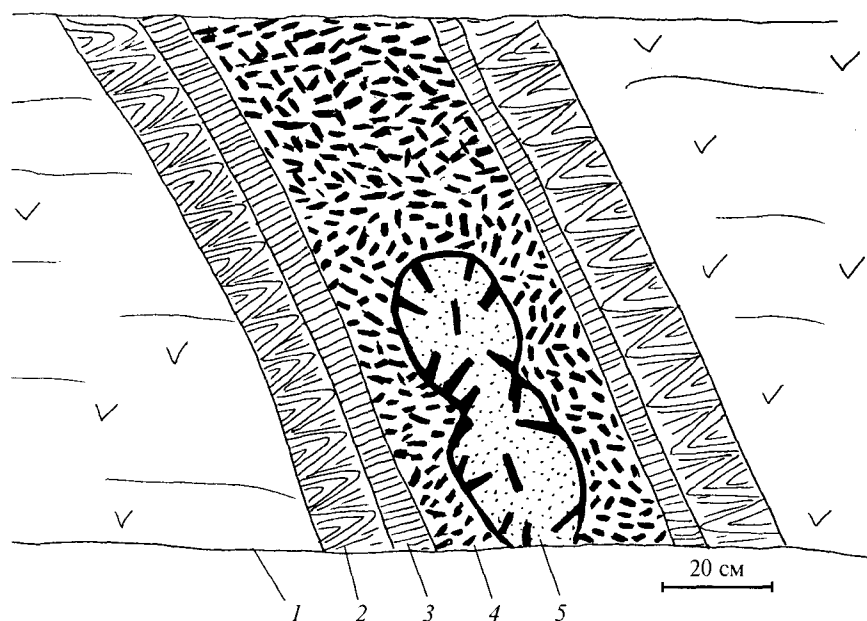


Рис. 1. Схема строения пегматитовой жилы, где установлен магнезиотанталит: 1 — серпентиниты, 2 — оторочка антофиллита, 3 — зона антигорита, 4 — турмалинно-амфиболо-флогопитовая зона, 5 — андезино-кальциевые гнезда с крупными кристаллами турмалина, хризобериллом и ниоботанталатами; по В. А. Попову и А. А. Канонеру (1996).

Fig. 1. Scheme of structure of the pegmatite vein — the type locality of magnesiotalite.

месторождение силикатных никелевых руд (Сысоев, 1964), отрабатывавшееся карьерами в период 60—80-х гг. XX в. Масштабные горные работы, направленные на добычу никеля, были развернуты непосредственно на площади знаменитого пегматитового поля и привели к тому, что некоторые жилы оказались уничтоженными или же погребенными под отвалами, но зато вскрылся целый ряд новых тел, и стало ясно, что разнообразие типов гранитных пегматитов Липовки намного шире, чем это представлялось ранее. Кроме «классических» жил, из которых происходит знаменитый липовский рубеллит, здесь обнаружены залегающие среди серпентинитов и мраморов тела «пегматитов скрещения». С одной из таких жил, претерпевшей очень глубокую десиликацию, как раз и связана ассоциация ниоботанталатов, в которой найден магнезиотанталит.

Это пегматитовое тело было вскрыто карьером № 4 Липовского никелевого месторождения. В настоящее время нижняя часть карьера затоплена, и коренные выходы пегматита стали практически недоступными для наблюдений. Образцы, содержащие новый минерал, собраны одним из авторов (И. В. П.) летом 2001 г. в отвалах. Сам пегматит прекрасно охарактеризован В. А. Поповым и А. А. Канонером (1996), по чьим данным, сделав некоторые дополнения, мы и приведем его описание.

Симметрично-зональная жила (рис. 1) мощностью 0,7 м залегает среди слабоизмененных серпентинитов, падая под углом 60°. Ее зальбанды шириной до 20 см сложены шестоватым антофиллитом, содержат тальк и магнетит. Следующая к центру зона мощностью 8—10 см образована параллельно-шестоватым агрегатом антигорита. Осевая зона сложена в основном крупно- и гигантозернистым агрегатом сине-черного турмалина ряда увит—дравит, флогопита и темного серо-зеленого амфибола, промежуточного по составу между эденитом и магнезиальной роговой обманкой (магнезиогорнблендитом). В подчиненных количествах здесь присутствуют тальк, клинохлор, хризоберилл и корунд. В темной осевой зоне ярко выделяются

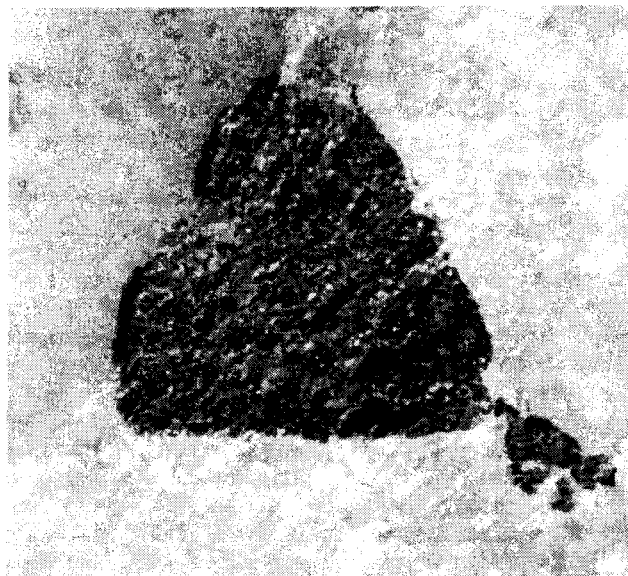


Рис. 2. «Сердцевидный» двойник по (201) манганотанталита (5 мм в поперечнике), замещенный по периферии агрегатом микролита и минералов ряда ферротанталит—магнезиотанталит; в андезиново-кальцитовой матрице. Фото Н. А. Пековой.

Fig. 2. «Heart-like» manganotantalite twin on (201) (5 mm across) replaced in its outer zone by aggregate of microelite and ferrotantalite-magnesiotaltalite series minerals, in an andesine-calcite matrix. Photo of N. A. Pekova.

белые линзовидные гнезда («ядра») до $50 \times 30 \times 20$ см, сложенные плотным мелкозернистым агрегатом андезина ($\text{An}_{40}\text{Ab}_{60}$) и кальцита с вкрапленностью хризоберилла, апатита, микролита и танталита. На контакте этой породы и турмалиновой зоны встречается фенакит, обилен хризоберилл. В трещинах агрегатов турмалина кристаллизуются поздние кальцит и брусит (Попов, Канонеров, 1996). Нами в турмалино-амфиболовой зоне обнаружен кордиерит необычного оранжевого цвета, содержащий Ве, замещающий Al. Минералы Та и Nb предыдущими исследователями практически не изучались.

Характер выделения. Ниоботанталаты в изобилии вырастают в белую кальцитово-андезиновую матрицу (в отдельных участках их содержание достигает 5 об.%%), обычно ближе к контакту с турмалино-амфиболовым агрегатом. Наиболее часто встречаются их пластинчатые обособления, достигающие $15 \times 8 \times 1.5$ мм. Эти пластинки имеют грубую огранку и соответствуют по форме кристаллам колумбита—танталита, уплощенным вдоль [010]; распространены характерные для этих минералов «сердцевидные» двойники по (201) — рис. 2. Гетерогенность пластин хорошо видна даже невооруженным глазом. Внутренняя часть их, как правило, массивная, красновато-черная, отчетливо просвечивающая, с сильным алмазным до полуметаллического блеска, а кайма сложена мелкозернистым агрегатом двух фаз: непрозрачной черной, имеющей полуметаллический до металлического блеск, и прозрачной буровато-желтой со стекляннм до смолистого блеском.

Красновато-черное ядро таких пластин представляет собою монокристалльный индивид манганотанталита с устойчивым составом, в среднем близким к $(\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})(\text{Ta}_{1.2}\text{Nb}_{0.8})_2\text{O}_6$. Периферическая зона сильно отличается от ядра по свойствам и имеет с ним резкую извилистую границу. Эта кайма сложена массивным буровато-желтым уранистым микролитом состава $(\text{Ca}_{0.9-1.1}\text{U}_{0.4-0.2})(\text{Ta}_{1.6-1.3} \times \text{Nb}_{0.4-0.7})\text{O}_{6.0-6.4}(\text{OH})_{1.0-0.6}$ (иногда встречается и почти лишенный урана микролит) и черными зернистыми скоплениями минералов изоморфной системы ферроколумбит—ферротанталит—магнезиотанталит (рис. 3). Соотношения объемов манганотан-

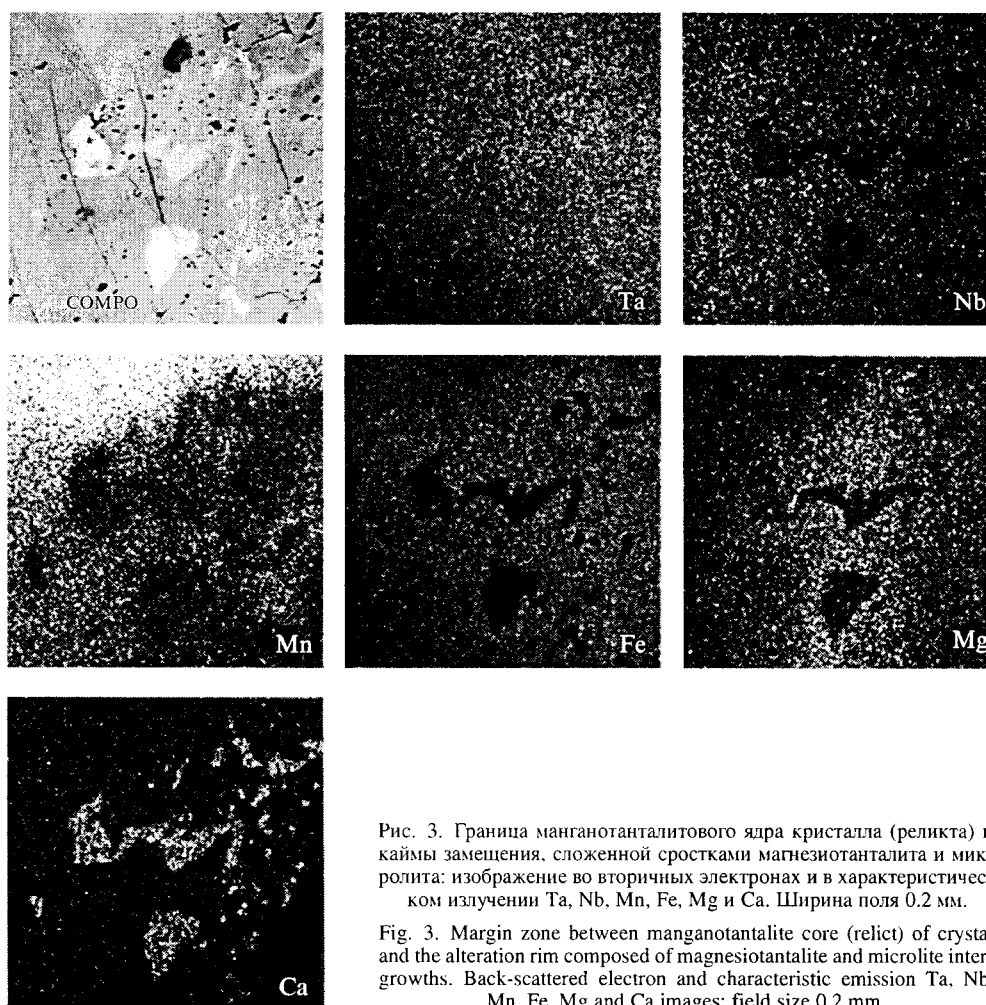


Рис. 3. Граница манганотанталитового ядра кристалла (реликта) и каймы замещения, сложенной сростками магнезиотанталита и микролита: изображение во вторичных электронах и в характеристическом излучении Ta, Nb, Mn, Fe, Mg и Ca. Ширина поля 0.2 мм.

Fig. 3. Margin zone between manganotantalite core (relict) of crystal and the alteration rim composed of magnesiotalite and microlite intergrowths. Back-scattered electron and characteristic emission Ta, Nb, Mn, Fe, Mg and Ca images; field size 0.2 mm.

танталитового ядра и полиминеральной периферической зоны варьируют широко (в наиболее тонких пластинах ядер иногда вовсе не наблюдается), а относительные количества колумбито-танталитовой и микролитовой составляющих этой зоны обычно колеблются в пределах от 1 : 2 до 2 : 1. Многие пластины дополнительно окружены тонкой (< 0.5 мм) мономинеральной оторочкой оранжево-желтого микролита.

Магнезиотанталит входит в состав черных наиболее высокоотражающих участков кайм и ни визуально, ни под оптическим микроскопом неотличим от ферротанталита и ферроколумбита, с которыми связан непрерывными переходами по составу. Для рентгеновских исследований и для изучения свойств нового минерала были выбраны участки, предварительно проконтролированные электронно-зондовым методом на однородность и устойчивое преобладание Mg. Размер таких участков не превышает 0.7 мм, тогда как общая площадь обособлений, сложенных (Fe, Mg)-доминантными минералами, достигает 5 × 3 мм при толщине до 0.5 мм. Максимальный размер наблюдавшихся монокристалльных зерен магнезиотанталита — 0.4 мм, их форма неправильная, обычно уплощенная.

Свойства. Новый минерал черный, непрозрачный, с полуметаллическим до металлического блеском и коричнево-красной чертой. Хрупкий, спайность не наблюдалась, излом неровный. Твердость по Моосу –5.5, твердость микровдавливания,

Таблица 1

Коэффициенты отражения магнезиотанталита
Reflectance values of magnesiotantalite

R_{\max} , %	R_{\min} , %	Длина волны, нм	R_{\max} , %	R_{\min} , %	Длина волны, нм
15.20	14.02	400	13.67	13.45	560
15.18	13.69	410	13.94	13.67	570
15.05	13.49	420	14.25	13.94	580
14.79	13.27	430	14.58	14.25	590
14.53	12.95	440	14.90	14.58	600
14.28	12.76	450	15.18	14.90	610
13.97	12.82	460	15.41	15.16	620
13.75	12.95	470	15.56	15.32	630
13.58	13.05	480	15.61	15.31	640
13.44	13.13	490	15.55	15.15	650
13.33	13.20	500	15.41	14.83	660
13.25	13.22	510	15.22	14.48	670
13.23	13.19	520	15.00	14.12	680
13.25	13.18	530	14.88	13.93	690
13.32	13.20	540	14.76	13.76	700
13.47	13.28	550			

измеренная на пенетрометре Reichert при нагрузке 50 г. составляет 489(5) кг/мм². Плотность, определенная микрообъемометрическим методом, составляет 6.7(3), вычисленная — 6.79 г/см³. В отраженном свете магнезиотанталит светло-серый, слабо анизотропный, наблюдаются коричнево-красные внутренние рефлексии. Величины коэффициентов отражения приведены в табл. 1. Расчетные показатели преломления, вычисленные из коэффициентов отражения для длины волны света 589 нм: $N_g = 2.235$, $N_p = 2.213$. Индекс сходимости состава и свойств, рассчитанный по уравнению Гладстона—Дейла (Mandarino, 1981), для измеренного значения плотности составляет 0.017 («superior»), для вычисленного значения плотности — 0.017 («superior»), для вычисленного значения плотности — 0.030 («excellent»).

Химический состав магнезиотанталита и ассоциирующих с ним ниоботанталатов (табл. 2) определен с помощью электронно-зондового микроанализатора Camebax SX-50 на кафедре минералогии Московского университета. Как уже отмечалось, черные высокоотражающие участки кайм сложены магнезиотанталитом, ферротанталитом и ферроколумбитом, образующими непрерывное поле составов, не пересекающееся с полем составов манганотанталита из ядра пластин (табл. 2, рис. 4). Средний химический состав голотипного образца магнезиотанталита (ан. I в табл. 2) отвечает формуле $(Mg_{0.56}Fe_{0.40}Mn_{0.05})_{\Sigma 1.01}(Ta_{1.20}Nb_{0.78}Ti_{0.02})_{\Sigma 2.00}O_6$. Упрощенная формула $(Mg, Fe)(Ta, Nb)_2O_6$. Из малых примесей практически всегда присутствует Ti (до 0.5 % мас. TiO_2), иногда W (до 0.6 % WO_3), редко Sn (до 0.3 % SnO_2). Интересно, что наиболее богатые танталом зерна являются одновременно и самыми высокомагнезильными. Магнезиоколумбит в изученных образцах не обнаружен.

Существование в природе танталовых членов группы, близких по составу к $MnTa_2O_6$ и $Fe(Ta, Nb)_2O_6$ (Минералы, 1967), обуславливает в соответствии с действующими правилами минералогической номенклатуры для серий твердых растворов (Nickel, 1992) выделение магнезиотанталита как самостоятельного вида, даже несмотря на то что близкий к крайнему магнезильный член с $Ta > Nb$ пока не найден.

Рентгеновские данные. Исследование монокристалла магнезиотанталита методами Лауэ и качания показало его ромбическую симметрию и позволило оценить параметры элементарной ячейки: $a \approx 14.3$, $b \approx 5.7$, $c \approx 5.05$ Å. По этим данным и

Таблица 2

Химический состав (мас. %) магнезиотанталита (ан. 1—4) и ассоциирующих с ним других минералов группы колумбита—танталита из десилицированного гранитного пегматита (Липовка)

Chemical composition of magnesiotalantalite (NN 1—4) and associated other columbite—tantalite group minerals from desilicated granitic pegmatite at Lipovka

Компо- нент	Анализ													
	магнезиотанталит				ферротанталит				ферроколумбит				манганотанталит	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MgO	5.27 (±0.1)	5.16	4.56	4.79	4.55	4.17	4.44	2.87	3.42	4.78	3.39	4.48	0.00	0.06
FeO	6.71 (±0.2)	7.49	7.98	8.38	8.46	8.92	8.67	9.02	9.95	9.93	10.17	10.81	3.09	3.88
MnO	0.82 (±0.1)	0.50	0.64	0.61	0.52	0.94	0.81	2.46	2.56	0.55	2.13	0.79	13.49	12.31
SnO ₂	0.00	0.00	0.10	0.00	0.08	0.10	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.17	0.13
TiO ₂	0.38 (±0.05)	0.37	0.28	0.38	0.36	0.29	0.12	0.35	0.36	0.29	0.15	0.08	0.34	0.33
Nb ₂ O ₅	24.19 (±0.4)	24.89	23.55	26.36	23.48	25.92	28.32	28.56	36.53	39.40	47.15	58.44	23.92	23.46
Ta ₂ O ₅	61.86 (±0.7)	62.35	61.95	60.46	62.85	59.05	57.16	55.86	46.87	45.42	35.95	24.06	58.76	60.37
WO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.20	0.00	0.54	0.56	0.00	0.00
С у м м а	99.23	100.76	99.06	100.98	100.30	99.80	99.52	99.12	99.89	100.45	99.48	99.22	99.77	100.54

Формульные коэффициенты, рассчитанные на 6 атомов кислорода

Mg	0.56	0.54	0.49	0.50	0.48	0.44	0.46	0.30	0.34	0.47	0.32	0.40	—	0.01
Fe	0.40	0.44	0.48	0.49	0.50	0.53	0.51	0.53	0.56	0.54	0.54	0.55	0.19	0.24
Mn	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.05	0.15	0.145	0.03	0.115	0.04	0.84	0.76
Sn	—	—	0.00	—	0.00	0.00	—	—	—	0.00	—	—	0.005	0.00
Ti	0.02	0.02	0.015	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
Nb	0.78	0.79	0.77	0.83	0.76	0.83	0.90	0.91	1.11	1.16	1.36	1.595	0.79	0.78
Ta	1.20	1.19	1.21	1.145	1.22	1.14	1.09	1.075	0.855	0.81	0.63	0.395	1.17	1.20
W	—	—	—	—	—	0.01	—	—	0.00	—	0.01	0.01	—	—

Примечание. Ан. 1—12 — минералы из периферической поздней зоны кристаллов; ан. 13, 14 — манганотанталит из ядра кристаллов; ан. 1 — голотипный образец магнезиотанталита, среднее по 5 анализам (в скобках — стандартные отклонения).

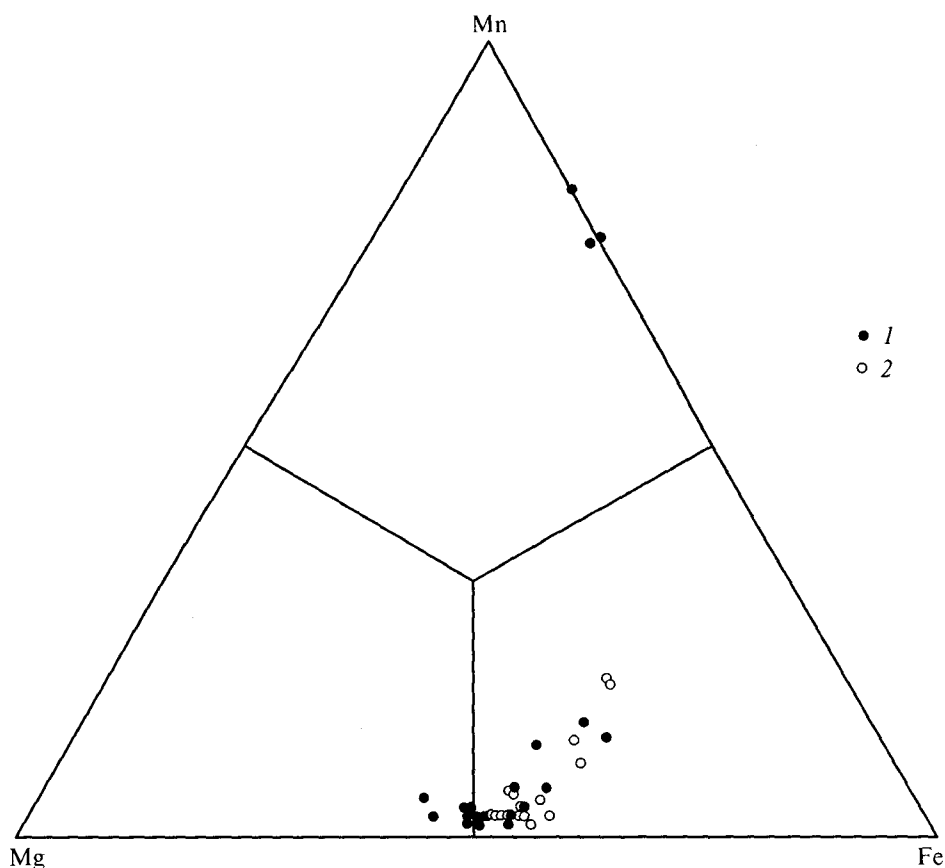


Рис. 4. Соотношения Mn, Fe и Mg в исходном манганотанталите (1) и замещающих его членах системы магнезиотанталит—ферротанталит—ферроколумбит (2).

1 — Ta-доминантные минералы, 2 — Nb-доминантный (ферроколумбит).

Fig. 4. Mn, Fe, Mg ratios in initial manganotantalite (1) and the magnesiotalite-ferrotantalite-ferrocolumbite system members (2) replacing manganotantalite. Filled symbols show Ta-dominant minerals, empty ones—Nb-dominant ferrocolumbite.

по порошковой рентгенограмме (табл. 3) новый минерал однозначно отнесен к группе колумбита—танталита и для него по аналогии со всеми другими ее членами представляется наиболее вероятной пространственной группой $Pbcn$. Уточненные по порошковой рентгенограмме параметры элементарной ячейки: $a = 14.335(2)$, $b = 5.735(1)$, $c = 5.058(1)$ Å. $V = 415.8(2)$ Å³, $Z = 4$.

Согласно сведениям, любезно предоставленным А. В. Волошиным, на сегодняшний день известно семь публикаций, в которых содержатся оригинальные результаты исследований синтетического $MgTa_2O_6$, и во всех случаях это тетрагональная фаза с тапиолитовой (т. е. трирутиловой с разной степенью упорядоченности) структурой (см.: Рахманкулов, Удалов, 1976; Halle, Muller-Buschbaum, 1988). А. И. Комков и О. Ю. Дубик (1974) отмечают, что их попытки синтезировать соединение $FaTa_2O_6$ со структурой танталита также не были успешными: во всех опытах кристаллизовался только аналог ферротапиолита. Нет сомнения, что именно с этим и связана редкость ферротанталита в природе. Для $MnTa_2O_6$ картина обратная: манганотанталит устойчив и соответственно является распространенным минералом, тогда как малоустойчивый манганотапиолит исключительно редок (Комков, Дубик, 1974; Волошин, 1993).

Таблица 3

Результаты расчета порошковой рентгенограммы магнезиотанталита
X-ray powder diffraction data on magnesiotalantalite

$I_{\text{изм}}$	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	hkl	$I_{\text{изм}}$	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	hkl
5	7.10	7.168	200	4	1.380	1.379	041
60	3.67	3.671	310	2	1.316	1.312	912
		3.667	111	5	1.282	1.287	441
100	2.96	2.971	311			1.282	10.20.0
15	2.87	2.868	020	30	1.248	1.247	10.0.2
20	2.56	2.529	002			1.243	10.2.1
30	2.49	2.494	021	30	1.224	1.224	930
20	2.38	2.389	600	60	1.196	1.195	641, 12.0.0
5	2.25	2.235	302	3	1.170	1.168	414
10	2.21	2.211	321	30	1.141	1.144	10.2.2
30	2.09	2.083	312	20	1.129	1.135	913
30	1.908	1.900	022	10	1.116	1.118	604
20	1.828	1.835	20			1.115	350
60	1.774	1.775	330	60	1.105	1.102	932
50	1.746	1.737	602	30	1.091	1.092	043
70	1.728	1.725	621			1.089	351
50	1.545	1.535	910	20	1.083	1.080	12.0.2
20	1.488	1.486	622	20	1.078	1.077	12.2.1
90	1.462	1.469	911	5	1.061	1.059	13.1.1
		1.453	332	10	1.052	1.052	134
5	1.434	1.434	040	50	1.040	1.041	624

Примечание. Условия съемки: УРС-55, камера РКД-57.3, Fe γ -излучение. При выборе индексов hkl использовались значения интенсивностей рефлексов теоретической порошковой диаграммы изоструктурного манганотанталита (Grice e. a., 1976). Жирным шрифтом выделены интенсивности главных линий в интервале $d > 1.4 \text{ Å}$.

Изучение методом порошковой рентгенографии не только магнезиопегматита, но и образцов состава (Fe, Mg)(Ta, Nb) $_2$ O $_6$ из этого же пегматита показало, что все они относятся к структурному типу колумбита—танталита: ни одной линии тапиолита на рентгенограммах не обнаружено. Возможно, танталитовая структура этих минералов стабилизирована существенной примесью Nb. Таким образом, в десилицированных пегматитах Липовки достоверно установлен и редкий минерал ферротанталит. Обычно именно он преобладает в составе описанных кайм.

Генезис. По геологическому положению и строению, по минералогии и геохимии обсуждаемая жила относится к числу ярчайших представителей гранитных пегматитов «линии скрещения». Несмотря на отсутствие кварца и калиевого полевого шпата, не вызывает сомнения изначально гранит-пегматитовая природа этого объекта, резко обогащенного Ta, V, Be, U и Mn. Источником Mg и в значительной мере Fe явились вмещающие серпентиниты, а Ca — кальцитовые мраморы, с которыми серпентиниты контактируют менее чем в 10 м от жилы (очень возможно, что имеет место и непосредственный контакт ее с мрамором). Обилие высокоглиноземистых минералов — характерная особенность десилицированных пегматитов, а присутствие магнетита и Fe $^{3+}$ -кордиерита при низком содержании Fe $^{2+}$ в Mg-силикатах говорит о повышенном окислительном потенциале среды минералообразования. Возможно, это обстоятельство способствовало и вхождению замечных количеств Mg вместо Fe $^{2+}$ в поздние генерации колумбита—танталита.

Хорошо известно, что в минералах нормально эволюционирующей закрытой гранит-пегматитовой системы, в том числе в колумбитах—танталитах, со временем растет величина Mn/Fe-отношения. В нашем случае наблюдается обратная картина, и это вместе с другими признаками четко свидетельствует об открытости минера-

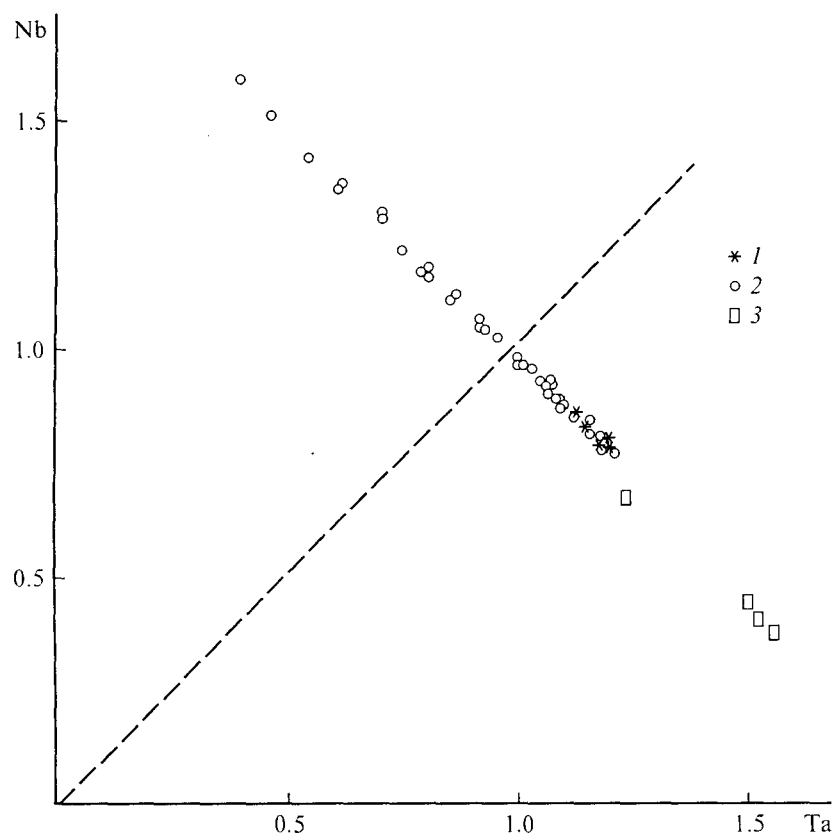


Рис. 5. Соотношения Ta и Nb в ниоботанталатах из десицированной пегматитовой жилы. Липовка.
 1 — исходный манганотанталит; 2, 3 — замещающие его минералы (2 — члены системы магнезиотанталит—ферротанталит—ферроколумбит; 3 — микролит); по осям отложены формульные коэффициенты.

Fig. 5. Ta/Nb-ratios in niobotantalates from the desilicated pegmatite vein Lipovka; 1 — initial manganotantalite, 2—3 — minerals replacing it: 2 — magnesiotalite-ferrotantalite-ferrocolumbite system members; 3 — microlite. Formula coefficients are given on axes.

лообразующей системы для Fe, Mg и Ca-компонентов окружающих пород, резко контрастных по составу с гранитным пегматитом. Низкожелезистый манганотанталит практически без Mg (рис. 4) — самый ранний из ниоботанталатов в этой жиле. Он представляется нам реликтом пегматитового парагенезиса «чистой линии», успевшего сформироваться ранее, чем контактово-метасоматический процесс — десицикация с привнесом больших количеств Ca, Mg и Fe — переработал жилу до ее нынешнего состояния. Манганотанталит благодаря химической устойчивости оказался единственным «оставшимся в живых свидетелем» той стадии, когда в осевой зоне тела еще, вероятно, существовали и другие «нормальные» пегматитовые минералы: кварц, калиевый полевой шпат, альбит, мусковит, берилл, турмалины ряда шерл—эльбаит, характерные для большинства тел редкометалльных пегматитов Липовки. Все остальные, кроме манганотанталита, минералы нашего объекта типоморфны именно для гранитных пегматитов «линии скрещения»: они сформировались уже в условиях дефицита кремнезема (яркие примеры — хризоберилл, фенакит, корунд) при высокой активности Ca, Mg, Fe (кальцит, андезит, дравит-увит, флогопит, Mg-амфиболы, кордиерит, антигорит, клинохлор, магнетит и др.).

Взаимоотношения ниоботанталатов и морфология их агрегатов свидетельствуют о том, что здесь имело место не нарастание магнезиально-железистых членов груп-

пы на манганотанталит, а замещение ими его кристаллов с периферии, т. е. не продолжение кристаллизации минералов Nb и Ta из флюидной или расплавной фазы, а их твердофазное преобразование практически без приращения объема. В пользу этого вывода говорят и результаты сопоставления значений Nb/Ta-отношения в минералах. На рис. 5 видно, что исходный манганотанталит характеризуется промежуточной величиной Nb/Ta: (Mg, Fe)-минералы относительно него обогащены ниобием, а микролит — танталом. Таким образом, по мере проникновения агрессивных компонентов окружающих пород в осевую зону жилы осуществлялась реакция с ними манганотанталита и псевдоморфизация его агрегатом ниоботанталатов Mg, Fe и Ca. При этом происходило частичное фракционирование Nb и Ta между новообразованными минералами в соответствии со сродством их структурных типов к одному из этих двух катионов. Внешняя микролитовая оторочка, часто наблюдаемая вокруг обособлений ниоботанталатов, вероятно, является самой поздней реакционной каймой между ними и вмещающей высококальциевой матрицей, сложенной кальцитом и андезином.

В заключение отметим, что ниобиево-танталовая минерализация в разнотипных гранитных пегматитах Липовки, ранее практически не исследовавшаяся, оказалась очень разнообразной: здесь нами зафиксировано уже более десятка ниобатов и танталатов, включая собственные минералы не только Fe, Mn, Mg, Ca, но и Bi, Sb, Pb, U. Этой тематике планируется посвятить специальную публикацию.

Изученный образец магнетиттанталита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана РАН в Москве, рег. № 2823/1.

Авторы благодарят А. В. Волошина, Л. А. Паутова и А. Г. Турчкову за помощь.

Список литературы

- Волошин А. В.* Тантало-ниобаты: систематика, кристаллохимия и эволюция минералообразования в гранитных пегматитах. СПб., 1993. 297 с.
- Комков А. И., Дубик О. Ю.* Экспериментальные исследования полиморфных и изоморфных соотношений в системе $\text{FeNb}_2\text{O}_6\text{—FeTa}_2\text{O}_6\text{—MnTa}_2\text{O}_6\text{—MnNb}_2\text{O}_6$ // Кристаллохимия и структура минералов. Л., 1974. С. 75—82.
- Корнетова В. А., Казикова М. Е., Александров В. Б.* Ильменорутил из пегматитов месторождения благородной шпинели Кухи-Лал на Юго-Западном Памире и некоторые поправки к формуле магноколумбита // Тр. Минер. музея АН СССР. 1971. Вып. 20. С. 107—113.
- Матиас В. В., Россовский Л. Н., Шостацкий А. Н., Кумскова Н. М.* О новом минерале — магноколумбите // Докл. АН СССР. 1963. Т. 148. № 2. С. 420—423.
- Минералы.* Справочник. Т. II. Вып. 3. М., 1967. 676 с.
- Недашковский П. Г., Минаева Н. А., Толоч К. П., Бровчук Н. Ф.* Новая находка магноколумбита // ЗВМО. 1967. № 6. С. 720—723.
- Поляков В. О.* Магноколумбит // Минералогия Урала. Оксиды и гидроксиды. Часть I. Миасс—Екатеринбург, 2000. С. 244—245.
- Попов В. А., Канонеров А. А.* Пегматитовая жила с увитом, хризобериллом и фенакитом из Липовки (Средний Урал) // Материалы Уральской летней минералогической школы-96. Екатеринбург, 1996. С. 134—137.
- Рахманкулов Р. М., Удалов Ю. П.* Получение монокристаллов ниобатов и танталатов щелочноземельных элементов // Журн. неорганич. химии. 1976. Т. 76. С. 2842—2844.
- Сысоев Ф. А.* О приуроченности крупных никелевых месторождений линейного типа к небольшим массивам гипербазитов // Разведка и охрана недр. 1964. № 10. С. 3—6.
- Grice J. D., Ferguson R. B., Hawthorne F. C.* The crystal structure of tantalite, ixiolite and wodginite from Bernic Lake, Manitoba. I. Tantalite and ixiolite // Canad. Miner. 1976. Vol. 14. P. 540—549.
- Halle G., Muller-Buschbaum H.* Untersuchungen an $\text{Zn}_{1-x}\text{M}_x\text{Ta}_2\text{O}_6$ (M = Mg und Ni) mit einer Verfeinerung der Kristallstruktur von MgTa_2O_6 // J. Less-Common Metals. 1988. Vol. 142. P. 263—268.
- Mandarino J. A.* The Gladstone—Dale relationship: IV. The compatibility concept and its application // Canad. Miner. 1981. Vol. 19. P. 441—450.
- Nickel E. H.* Nomenclature for mineral solid solutions // Amer. Miner. 1992. Vol. 77. P. 660—662.

Поступила в редакцию
27 ноября 2002 г.