

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 21-77-10103 «Создание новых функциональных материалов на основе минерального сырья в Арктической зоне РФ: кристаллохимия, тополого-геометрический анализ, ионный обмен, синтез, технологии производства» на оборудовании ЦКП ФИЦ КНЦ РАН.

Литература

1. Agilent C. A. P. R. O., CrysAlis P. R. O. Agilent Technologies Ltd /Yarnton, Oxfordshire, England. – 2014. – Т. 2014.
2. Sahama Th.G., Hynen K. // Miner. Mag. 1959. V. 32. 1. P. 6-9.
3. Sheldrick G. M. SHELXT–Integrated space-group and crystal-structure determination //Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances. – 2015. – Т. 71. – №. 1. – С. 3-8.
4. Дорфман М. Д. Дельхайелит и особенности его //Mir Kamnia. – 1995. – С. 7.
5. Дорфман М. Д. Новые данные по минералогии Юкспора в Хибинских тундрах //В сб.: «Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. – 1958. – №. 1.
6. Дорфман М. Д., Чигаров М. И. Гидродельхайелит продукт гипергенного изменения дельхайелита. – 1979.
7. Пеков И. В. и др. Кристаллохимия дельхайелита и гидродельхайелита //Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение" Российская академия наук", 2009. – Т. 428. – №. 4. – С. 519-525.
8. Пеков И. В. и др. ШЛЫКОВИТ $KCa [Si_4O_9 (OH)] 3H_2O$ И КРИПТОФИЛЛИТ $K_2Ca [Si_4O_{10}] 5H_2O$ -новые минералы из Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия) 1 //Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Т. 139. – №. 1. – С. 37-50.
9. Хомяков А.П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука. – 1990. – 196 С.

МИРОВОЙ РЫНОК ТАНТАЛА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ: ДОБЫЧА И ПОТРЕБЛЕНИЕ
Дибров А.М¹., Диброва Ю.А.²

¹*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Тантал является одним из умеренно критически важных технологических металлов в мировой экономике. Тантал пластичен, легко поддается обработке, обладает высокой устойчивостью к кислотной коррозии, является хорошим проводником тепла и электричества, а также имеет высокую температуру плавления. Основное применение тантала на современном этапе осуществляется при изготовлении танталовых конденсаторов для электронных устройств (сотовые телефоны, компьютеры, видеокамеры и др.) и медицинских приборов.

С 2006 года мировое производство тантала постепенно переместилось из Австралии в страны Центральной Африки (в Руанду и Демократическую Республику Конго (ДРК)) [1]. Только Руанда и ДРК производят значительное количество тантала, а Бурунди (Восточная Африка) значительно меньше. В других африканских странах нет данных о производстве тантала. Также среди крупных производителей тантала можно отметить такие страны, как Бразилия и Китай.

Мировое производство и потребление тантала увеличилось в 2022 году, поскольку производство металла в большинстве стран продолжало восстанавливаться после снижения, вызванного глобальной пандемией COVID-19 в 2019 году.

Жесткие меры, включая временное закрытие шахт в Бразилии и Руанде во время борьбы с пандемией, привели к сокращению мирового производства тантала. Объем производства тантала в 2020 году в Бразилии, Руанде и Демократической Республике Конго составил 77 % от мирового объема. Однако в связи с новой волной всплеск COVID-19 такая страна, как Руанда, ввела в несколько раз больший карантин, чем ожидалось, что в свою очередь, значительно сократило производство тантала с 336 тонн в 2019 году до 254 тонн в 2020 году, т. е. произошло снижение на 24 % [2,3].

Покупатели стремились увеличить поставки тантала после сохранения низких запасов в 2021 году. Также важно отметить, что вырос спрос на тантал со стороны электронной промышленности. В 2022 году Китай оставался ведущим экспортным направлением, на долю которого пришлось около 20 % танталовых руд и концентратов, отходов и лома, а также потребления металла. На Бразилию, Конго (Киншаса), Нигерию и Руанду в 2022 году пришлось около 85 % мирового производства тантала (Таблица) [4]. Всего в мире было извлечено порядка 2000 тонн тантала в 2022 году.

На рынке тантала можно выделить следующие крупнейшие компании:

1. Global Advanced Metals Pty Ltd;

Таблица
Добыча тантала ведущими странами (по данным Геологической службы США (USGS))

Страна	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Изменение 2022 г. / 2021 г.
Австралия	67	34	44	57	29,5 %
Бразилия	430	470	360	370	2,8 %
Бурунди	38	24	39	39	0,0 %
Китай	76	74	76	78	2,6 %
Конго (Киншаса)	580	780	790	860	8,9 %
Эфиопия	70	69	32	24	-25,0 %
Нигерия	180	260	110	110	0,0 %
Россия	26	49	39	39	0,0 %
Руанда	336	254	269	350	30,1 %

2. AMG Advanced Metallurgical Group NV;
3. Pilbara Minerals;
4. Ningxia Orient Tantalum Industry Co. Ltd;
5. Minsur (Mining Taboca).

В 2022 году наибольшая доля потребления на мировом рынке тантала принадлежала Азиатско-Тихоокеанскому региону. Китай является крупнейшим потребителем тантала в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Конденсаторы и высококлассные военные изделия являются ключевыми областями применения тантала в стране.

Китай является крупнейшей базой по производству электроники в мире. Электронные продукты, такие как смартфоны, телевизоры, провода, кабели, портативные вычислительные устройства, игровые системы и другие персональные устройства, зафиксировали самый высокий рост в сегменте электроники в 2021–2022 годах. Китай не только обслуживает внутренний спрос на электронику, но и экспортирует электронную продукцию в другие страны, а также является ведущим мировым производителем различных компонентов.

Также необходимо добавить, что в Индии реализуется Национальная политика в области электроники с 2019 года, которая направлена на проектирование и производство электронных систем (ESDM). Таким образом, Индия может внести значимый вклад в формирование спроса на мировом рынке тантала.

В заключении важно отметить, что помимо существующих факторов спроса на тантал, которые определяются потребностями высокотехнологичной промышленности (электроника, аппаратные системы 5G, электромобили и др.), можно выделить ещё один – высокую вероятность возникновения дефицита предложения тантала из-за медленных темпов восстановления его добычи по сравнению со скоростью роста спроса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-01742.

Литература

1. Sanderson K. Concerns raised over tantalum mining //Nature. <https://doi.org/10.1038/5161038a>. – 2015. – Т. 1038.
2. Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 2021. 200 p. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> (accessed 05 March 2023).
3. Mineral Commodity Summaries 2022: U.S. Geological Survey, 2022. 202 p. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (date of access: 05.03.2023).
4. Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey, 2023. 210 p. Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> (accessed 05 March 2023).

ДЕКАТИОНИЗАЦИЯ ПРИРОДНОГО МУРМАНИТА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.

Калашникова Г.О., Грязнова Д.В., Гойчук О.Ф., Базай А.В., Паниковский Т.Л.
**Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр» Российской академии наук,
г. Апатиты, Россия**

Для минералов Кольской щелочной провинции характерны посткристаллизационные преобразования в результате различных наложенных процессов. Данные процессы могут включать в себя катионный обмен и декатионизацию, обычно проявленную в виде реакции $\text{Na}^+ + \text{O}^{2-} = \square + \text{OH}^-$ [1]. Мурманит, $\text{Na}_4\text{Ti}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$, является породообразующим минералом и широко распространён в лейкократовых породах (фойяиты, уртиты), а также пегматито-гидротермальных жилах Ловозерского щелочного массива [2, 3]. Кристаллохимия минералов, структурно относящихся к мурманиту была детально исследована научной группой И. В. Пекова, авторами были открыты новые минералы звягинит [4], вигришинит [5] и кальциомурманит [6], которые являются продуктами преобразования первичного мурманита, либо его ниобиевого аналога – эпистолита. Нами, в свою очередь, была обнаружена природная декатионизированная разновидность мурманита (рис. 1) [7]. В связи с этим поставлена задача по моделированию данного процесса в лабораторных условиях.

Эксперименты по декатионизации проводились на образцах мурманита из пегматита на г. Куамдеспакх Ловозерского массива. Мурманит здесь образует прямоугольные кристаллы (до 10 см в длину), расположенные как в зальбандах прожилков, так и во вмещающих луювритах. В ассоциации с мурманитом, кроме содалита и микроклина присутствуют сферолиты длиннопризматических кристаллов эгирина и крупные (до 1 см в поперечнике) кристаллы эвдиалита. Декатионизация проводилась при температурах 35, 60, 85, 110 и 135 °C в 1.0, 0.1, 0.01 и 0.001 М растворах HCl с использованием автоклавов с PTFE вкладышами объёмом 20 мл и временем выдержки 24 часа в сушильном шкафу BINDER FD53. В результате экспериментов было определено, что мурманит в насыщенных кислотах меняет цвет с розового на коричневый и становится аморфным. Наиболее оптимальными оказались слабокислые растворы, которые могут быть в приповерхностных условиях залегания мурманита.

Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре Rigaku SynergyS (ЦКП ФИЦ КНЦ РАН), оснащенного плоским CCD детектором, при комнатной температуре с использованием монокроматического MoK α излучения ($\lambda = 0.71069 \text{ \AA}$). Параметры элементарной ячейки уточнялись методом наименьших квадратов. Поправка на поглощение определена эмпирически с помощью сферических гармоник, реализованных в алгоритме калибровки SCALE ABSPACK, в программном комплексе CrysAlisPro [8]. Уточнение структуры проводилось с помощью программы SHELX [9], графическое изображение структур было получено с использованием компьютерной программы VESTA 3.