

Техногенно-минеральные образования обогащительной фабрики Карнасурт как возможный редкометалльный сырьевой источник Ловозерского ГОКа

Лаломов А.В.^{id}, Григорьева А.В.^{id}

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва,
lalomov@mail.ru*

Аннотация. В настоящее время единственным действующим источником редкоземельных металлов (и значительной части редких) в России является Ловозерский горно-обогащительный комбинат, разрабатывающий месторождение лопарита Ловозерского массива – источника ниобия, тантала, редких земель и титана. Дополнительным источником редкоземельного сырья комбината могут служить техногенные отвалы – хвосты обогащательной фабрики Карнасурт. Содержание лопарита в хвостах оценено как по на основе расчета по содержанию лопарита в перерабатываемых рудах и потерях при обогащении, так и по данным точечного опробования. Эти методы дали хорошую сходимость результатов на уровне 0.58–0.77 %. Минералогическое исследование малых технологических проб показало, что лопарит в хвостах обогащения присутствует в виде как обломков крупных зерен, так и мелких идиоморфных кристаллах. Основная масса лопарита находится в гравитационно обогатимых классах. Структура хвостохранилища неоднородная, она определяется перераспределением тяжелой фракции за счет природно-техногенных процессов и имеет преимущественно концентрическую форму, что должно учитываться при постановке оценочных работ.

Ключевые слова: лопарит, ниобий, редкие металлы, Ловозерский массив, хвосты обогащения.

Technogenic-mineral formations of the Karnasurt processing plant as a possible rare-metal raw material source of Lovozersky GOK

Lalomov A.V.^{id}, Grigorieva A.V.^{id}

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow,
lalomov@mail.ru*

Abstract. Currently, the only active source of rare earth metals (and a significant part of rare metals) in Russia is the Lovozersky Mining and Processing Plant, which is developing the loparite deposit of the Lovozersky massif – a source of niobium, tantalum, rare earths and titanium. An additional source of rare earth raw materials of the Plant can be man-made dumps – tailings of the Karnasurt processing plant. The content of loparite in the tailings was obtained both on the basis of calculation of the content of loparite in the processed ores and losses during enrichment, and according to the data of point testing. These methods gave a good convergence of results at the level of 0.58–0.77 %. A mineralogical and technological study of small technological samples showed that loparite in the tailings of enrichment is present in the form of both fragments of large grains and small idiomorphic crystals. The bulk of loparite is in gravitationally enriched classes. The structure of the tailings dump is heterogeneous, it is determined by the redistribution of heavy fraction due to natural and man-made processes and has a predominantly concentric shape, which should be taken into account when setting up evaluation work.

Keywords: loparite, niobium, rare metals, Lovozero massif, processing tails.

Введение

В настоящее время единственным действующим источником редкоземельных металлов (и значительной части редких) в России является Ловозерский горно-обогащительный комбинат. Основным полезным компонентом месторождения является лопарит, содержащий Nb_2O_5 – 8.3 %, Ta_2O_5 – 0.67 %, TiO_2 – 39.8 %, $\Sigma\text{TR}_2\text{O}_3$ – 34.9 %. В настоящее время добыча ведется в сложных горно-геологических условиях при низкой рентабельности существующих разрезов.

Помимо коренного месторождения лопарита, связанного с породами Ловозерского массива, дополнительным потенциально перспективным объектом редкометалльного сырья являются техногенные отвалы — хвосты обогащения Ловозерского ГОКа (Лаломов и др., 2022), (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема района обогатительной фабрики Ловозерского ГОКа и хвостохранилищ (на основе космоснимка, полученного из открытых источников – программа «Google Earth»).

Fig. 1. Overview scheme of the area of the processing plant of Lovozer GOK and tailings dumps (based on a satellite image obtained from open sources – the “Google Earth” program).

Хвостохранилище Карнасурт-1 эксплуатировалось в период с 1955 по 1989 гг., Карнасурт-2 – с 1989 г. по настоящее время. Извлечение полезного компонента из руды, содержащей 3.5–3.2 % лопарита, составляло 78–80 %. Учитывая содержание полезных компонентов в отработанных рудах и извлечение лопарита в концентрат, можно предположить валовое содержание в образованных отвалах. Эта расчетная оценка валового содержания близка к результатам минералоготехнологического опробования (табл. 1, 2).

Таблица 1. Параметры хвостохранилищ Карнасурт-1 и Карнасурт-2

Table 1. Parameters of the Karnasurt-1 and Karnasurt-2 tailings dams

Хвостохранилище	Даты эксплуатации	Содержание лопарита в перерабатываемых рудах, %	Потери при обогащении, %
Карнасурт-1	1951–1989	3.5	22
Карнасурт-2	1989–2022	3.2	20.5

Таблица 2. Содержание лопарита и основных компонентов в отложениях хвостохранилищ по данным расчета и точечного опробования (в % от исходной пробы)

Table 2. The content of loparite and the main components in the tailings deposits according to different sources (in % of the initial sample)

	Лопарит	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	ΣTR ₂ O ₃
К-1 (расчётное)	0.77	0.070	0.005	0.25
К-2 (расчётное)	0.64	0.058	0.004	0.21
К-1 МТП РФА*	0.58	0.079	0.005	0.33
К-2 МТП РФА*	0.77	0.081	0.005	0.34

Примечание. *Минералоготехнологическая проба, проанализированная РФА.

К освоению хвостохранилищ регулярно обращаются недропользователи, поскольку эти объекты обладают рядом положительных свойств (Быховский и др., 2014).

1. Как правило, хвостохранилища расположены в освоенных районах в непосредственной близости от действующих (или ранее действующих) горнообогатительных предприятий, что существенно сокращает логистические затраты.

2. Хвосты обогащения руд представлены измельченным промытым материалом, что исключает необходимость дробления, являющегося наиболее энергозатратным этапом, потребляющим около 50% энергии при разработке коренных месторождений.

3. Хвостохранилища располагаются на поверхности и не требуют вскрышных или подземных работ.

К негативным факторам относятся:

1. Пониженное (остаточное) содержание полезного компонента, ушедшее в хвосты при его извлечении на основном этапе.

2. Пониженная крупность полезного компонента.

С целью исследования структуры и состава хвостов из них были отобраны 2 точечных минералоготехнологических пробы (МТП) весом около 30 кг Карнасурт-1 (К-1) и Карнасурт-2 (К-2), и 7 рядовых проб (0.1 кг).

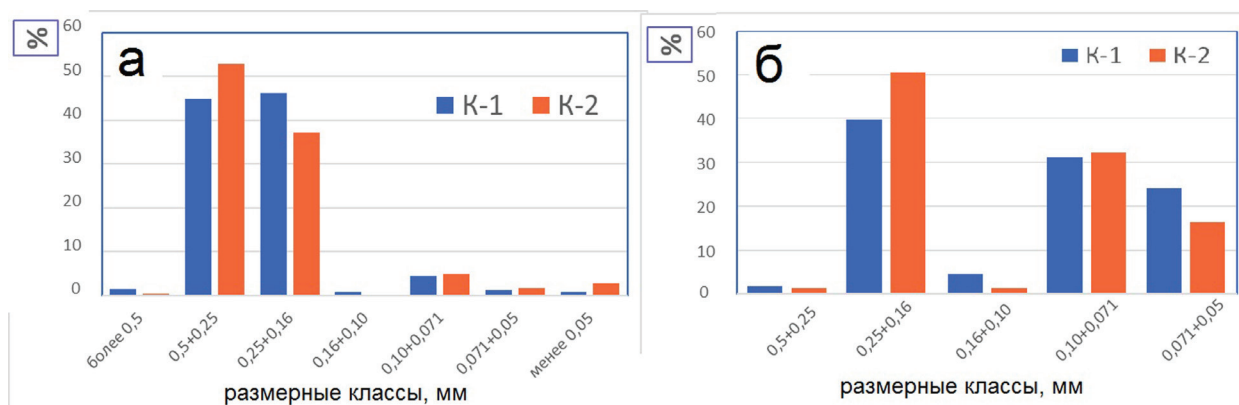


Рис. 2. Характеристики техногенных отложений (хвостов обогащения) Ловозерского ГОКа. а – гранулометрический состав; б – распределение лопарита по классам крупности. К-1 – лежалые хвосты Карнасурт-1; К-2 – текущие хвосты Карнасурт-2.

Fig. 2. Characteristics of technogenic (man-made) deposits (enrichment tailings) of Lovozersky GOK. а – granulometric composition; б – distribution of loparite by size classes. K-1 – stale tails of Karnasurt-1; current tails of Karnasurt-2.

Пробы были разделены на 7 классов крупности (рис. 2а), для пяти классов в диапазоне 0.5–0.05 мм оптическими методами (под биноклем) был исследован минеральный состав тяжелой и легкой фракций. На последующих этапах планируется изучение лопарита техногенных образований с использованием сканирующего электронного микроскопа и микрозондового анализа.

Исследование гранулометрического состава МТП показало, что более 90 % отложений находится в классе 0.5–0.16 мм (рис. 2а). Лопарит по классам крупности распределен неравномерно: повышенное содержание отмечается в классах 0.25–0.16 мм (40–50 %), 0.1–0.071 мм (около 30 %) и 0.071–0.05 мм (15–23 %) (рис. 2б).

Исследование морфологии зерен лопарита показало, что в мелких классах лопарит находится преимущественно в виде бесформенных обломков. В классе 0.25–0.16 мм встречаются идиоморфные зерна сдвойникованных кристаллов.

В минеральном составе преобладает нефелин (56–57 %), минералы группы пироксенов (16–22 %), полевые шпаты (7–8 %), кварц (0.4–4.2 %), в содержании не более 1–2 % присутствуют амфиболы, слюды, апатит, эвдиалит, лампрофилит. Сrostки минералов с лопаритом составляют 8–9 % (табл. 3).

Таблица 3. Минеральный состав отложений хвостохранилищ
Table 3. Mineral composition of tailings deposits

	Лопарит	Нефелин	Гр. пироксенов	Полевые шпаты	Кварц	Гр. амфиболов	Гр. слюд (флогопит, биотит)	Апатит	Эвдиалит	Кальцит	Лампрофилит	Минералы в срос-ках с лопаритом
К-1	0.58	56.67	16.20	8.21	4.17	1.02	1.32	0.95	0.52	0.14	0.52	8.98
К-2	0.81	56.01	20.22	7.57	0.40	0.31	0.73	2.06	0.47	0.00	0.45	7.86

В структуре хвостохранилищ можно выделить следующие зоны (рис. 3):

1. Зона сброса, куда по трубопроводу поступает пульпа с хвостами обогащения лопаритовой руды.
2. Прудковая зона в центре водоема, где осаждаются наиболее тонкие и легкие фракции техногенных отложений.
3. Пляжевая зона водоема, где за счет волнового воздействия происходит обогащение техногенного материала.

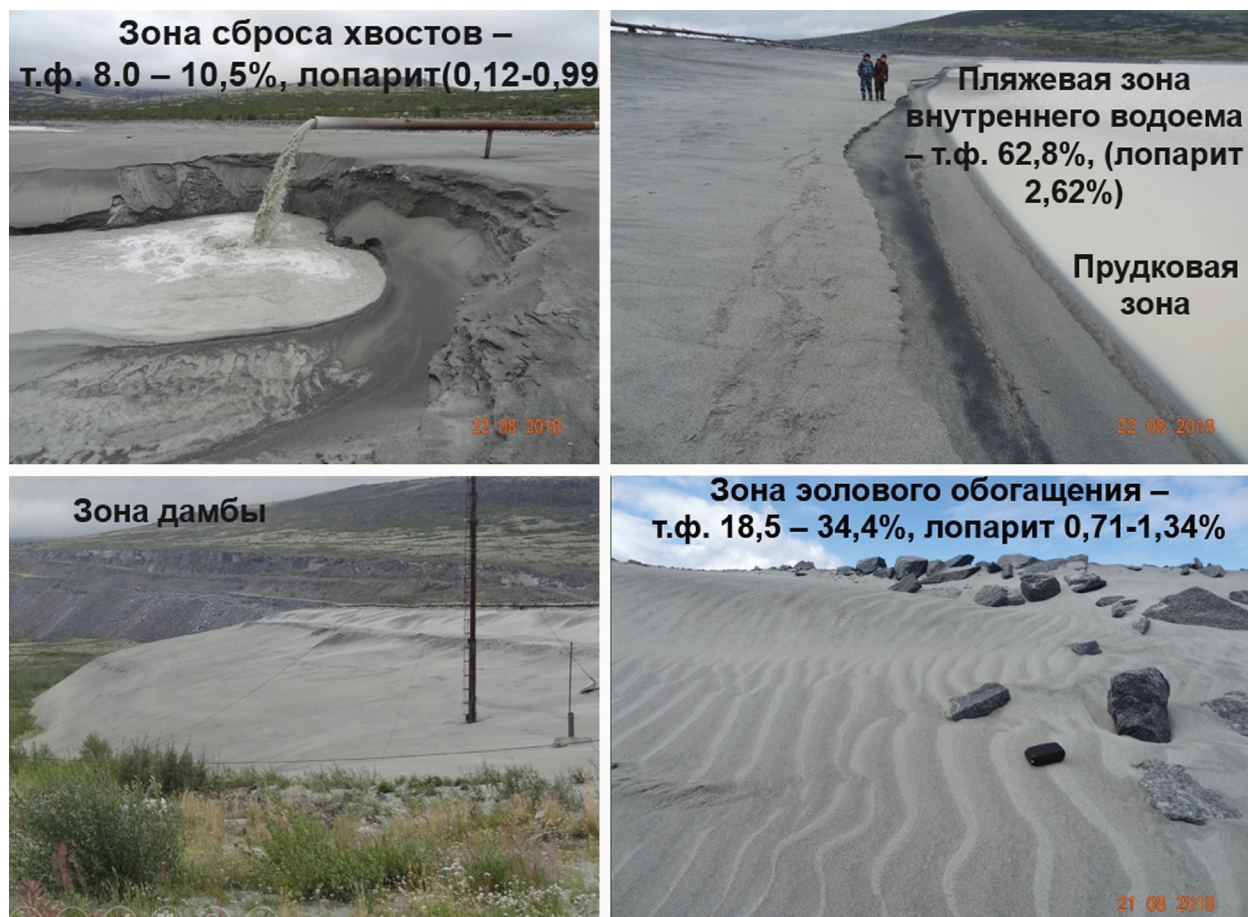


Рис. 3. Техногенно-фациальные зоны хвостохранилища Карнасурт-2.
 Fig. 3. Technogenic (man-made) – facial zoning of tailing dam Karnasurt-2.

4. Дюнная зона по периферии хвостохранилища, где происходит эоловое обогащение материала.

5. Зона дамбы.

Поступающие с фабрики хвосты обогащения подаются в котловину по пульпопроводу, образуя техногенную дельту или конус выноса. За счет жидкой составляющей пульпы в центре котловины образуется водоем («прудок»), в котором происходит дифференциация материала. За счет ветроволновых процессов в краевой (пляжевой) части водоема происходит существенное обогащение отложений минералами тяжелой фракции (табл. 4). Основную массу минералов в зоне обогащения пляжа составляют пироксены (49.0 %), нефелин (27.5 %), апатит (9.4 %), амфиболы (3.8 %), лопарит (2.6 %), эвдиалит (2.5 %) и полевые шпаты (2.2 %). Легкие и мелкие фракции отложений выносятся в центральную части прудковой зоны. В надводной части пляжа происходит ветровая (эоловая) переработка материала.

Таблица 4. Содержание тяжелой фракции и лопарита в разных техногенно-фациальных условиях хвостов обогащения по данным рядовых проб, % на исходную пробу.

Table 4. Content of heavy fraction and loparite in different technogenic (man-made) facial conditions of tailing dams according to ordinary samples, % per initial sample.

	т.ф.	лопарит
зона сброса	9.2	0.55
пляж	62.8	2.62
дюна	26.4	1.02
пруд	н.а. *	н.а.

Примечание. н.а.* – не анализировалось.

Проведенный анализ состава и структуры техногенных образований Ловозерского ГОКа (хвостохранилищ Карнасурт-1 и Карнасурт-2) позволил сделать выводы, что:

1) хвосты обогащения фабрики Ловозерского ГОКа содержат лопарит в обогатимых классах, откуда он может быть извлечен с использованием гравитационно-магнитной переработки. К аналогичным заключениям приходят и другие исследователи (Хохуля и др., 2015; Maksimova et al., 2022); 2) структура хвостохранилища является неравномерной в результате вторичной переработки хвостов обогащения за счет природно-техногенных процессов сепарации, поэтому точные параметры запасов могут быть установлено только в результате бурения отложений на полную мощность по разведочной сети не менее 20×20 м.

Работы проведены в рамках темы государственного задания ИГЕМ РАН.

Литература

1. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В., Ануфриева С.И. Техногенные месторождения и образования редких металлов России // Рациональное освоение недр. 2014. № 3. С 14–22.
2. Лаломов А.В., Григорьева А.В., Зайцев В.А. Минеральный состав редкометалльных россыпей Ловозерского массива // Геология рудных месторождений. 2022. № 5. С. 485–497. <https://doi.org/10.31857/S0016777022050069>.
3. Хохуля М.С., Фомин А.В., Голубцов А.В., Конторина Т.А. Технология получения лопаритового концентрата гравитационно-магнитной переработкой шламов текущего производства // Труды КНЦ РАН. 2015. № 5. С. 592–595.
4. Maksimova V.V., Krasavtseva E.A., Savchenko E.E., Ikkonen P.V., Elizarova I.R., Masloboev V.A., Makarov D.V. Study of the composition and properties of the beneficiation tailings of currently produced loparite ores // Journal of Mining Institute. 2022. V. 256. P.642–650. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.88>.