

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕРОВСКИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Л. Г. Герасимова, А. И. Николаев, Е. С. Щукина, А. Г. Артеменков

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева — обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (Апатиты, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2025 г.

Для цитирования

Герасимова Л. Г., Николаев А. И., Щукина Е. С., Артеменков А. Г. Некоторые технологические и экологические аспекты гидрометаллургической переработки перовскитового концентрата // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 2. — С. 238—245. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-2-238-245.

Располагая одной из крупнейших в мире сырьевых баз титана, Россия остается экспортером важного стратегического сырья. Кольский полуостров относится к региону, на территории которого открыты месторождения, где помимо титана содержатся редкие и редкоземельные металлы, столь необходимые для развития современных отраслей промышленности. В работе приведены гидрометаллургические схемы переработки, которые имеют перспективы быть реализованными в промышленности при использовании титано-кальцевого сырья Кольского полуострова, на примере перовскитового концентрата.

Ключевые слова: перовскитовый концентрат, гидрометаллургические схемы, титан, ниобий, редкоземельные металлы.

Введение

Перовскитовый концентрат относится к нетрадиционному титано-редкометалльному сырью, которое уже на протяжении нескольких десятков лет находится под пристальным вниманием исследователей и практиков. Теоретический химический состав минерала перовскит CaTiO_3 представлен оксидами титана и кальция: TiO_2 — 58,9 мас. %, CaO — 41,0 мас. %. Чистые разновидности минерала встречаются редко. Для перовскита в сильной степени характерен изоморфизм, и его состав изменчив в различных массивах Кольского полуострова [1; 2].

В 1930-е годы в южной части Кольского полуострова было открыто месторождение перовскит-титаномагнетитовых руд, которое расположено в 1,5 км от железнодорожной станции Африканда на берегу озера Имандра. В настоящее время по северной границе Африкандского массива проходят железная дорога и высоковольтные ЛЭП. Энергоснабжение осуществляется от ГЭС «Нива-2» и Кольской АЭС. На базе месторождения в 1950-х годах были построены рабочий поселок на 2 тыс. жителей и обогатительная фабрика (ныне бездействующая). Поселок соединен автодорогой с городом Полярные Зори, рядом с которым проходит автомагистраль Мурманск — Санкт-Петербург. Подробное описание месторождения приведено в [3].

Площадь месторождения — 0,77 км². Запасы перовскит-титаномагнетитовых руд были утверждены протоколом № 6851 Всесоюзной комиссии по запасам в 1951 г. В 1957 г. введена в строй обогатительная фабрика мощностью 500 тыс. т руды в год, но освоение месторождения по разным причинам постепенно затормозилось, и по существу были начаты лишь опытно-промышленная добыча и выпуск небольших партий перовскитового концентрата (ПК) при отсутствии спроса на титаномагнетитовый концентрат. По этой причине в 1972 г. запасы с баланса были сняты.

Интерес инвесторов к месторождению обусловлен современными потребностями отечественной промышленности в стратегических металлах и продуктах на их основе, которые могут быть получены при его переработке [4]. Так, среднее содержание перовскита в руде — 14—15%. В южной части Кольского полуострова детально разведан участок первой очереди с запасами по категориям А+В+С₁ в размере 34,3 млн т руды. Средние содержания компонентов в руде на участке первой очереди составили: Fe_{общ} — 14,2%, TiO₂ — 12,03%, (Nb, Ta)₂O₅ — 0,22%, TR₂O₃ — 0,67%, ThO₂ — 0,026%. В среднем в рудах первой очереди содержится 14% перовскита и 22% титаномагнетита.

Получением перовскитового концентрата из перовскито-титаномагнетитовой руды уже на протяжении нескольких десятков лет занимается Горный институт Кольского научного центра РАН. При проведении работ по обогащению совершенствуются физические и физико-химические приемы и реагенты, позволяющие повысить извлечение минерала из руды, улучшить экологию переработки и ее экономические показатели. Получаемый при обогащении перовскитовый концентрат содержит: TiO₂ — 48—50 мас. %, CaO — 33—35, SiO — 2,3—5, Ln₂O₃ — 2—4, Σ(Nb, Ta)₂O₅ — 0,9—1,2 мас. %. В состав концентрата входят также 1—1,5% FeO, 2,5—3,0% Fe₂O₃, 1—1,5% MgO, 0,5—1,5% Al₂O₃, 0,07—0,09% ThO₂.

Наиболее богатый опыт по химической переработке ПК накоплен в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева (ИХТРЭМС) Кольского научного центра РАН. Среди десятка разработанных учеными технологий наибольшее внимание привлекают гибридные способы, основанные на использовании не менее двух кислотных реагентов, каждый из которых в процессе переработки выполняет определенные функции,

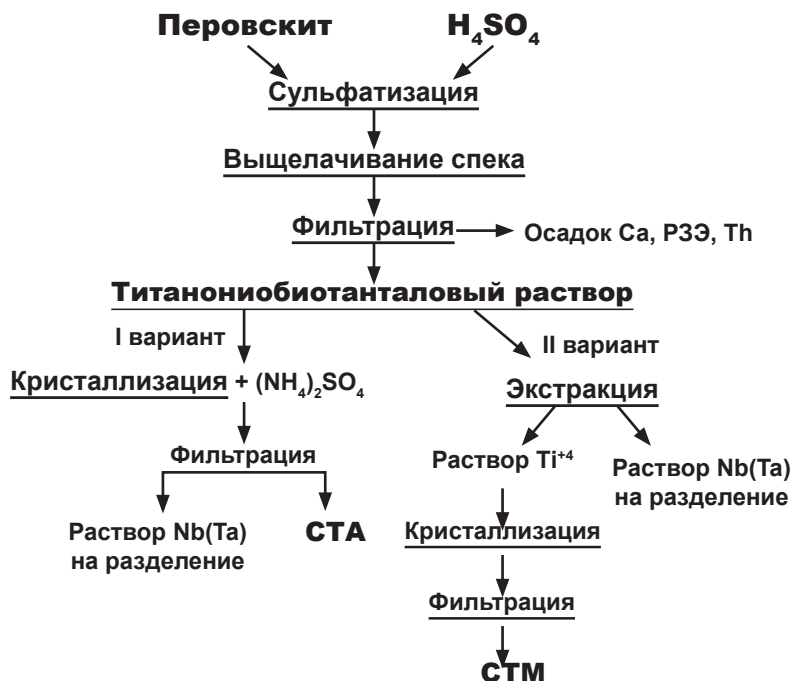


Рис. 1. Принципиальная сернокислотная схема переработки ПК
Fig. 1. Basic sulphuric acid scheme for PC processing

позволяющие максимально разделить компоненты сложного титано-ниобиевого сырья, в частности ПК с образованием прекурсоров, являющихся сырьем при синтезе функциональных материалов.

В данной статье сопоставлено несколько вариантов разработанных ранее и усовершенствованных в настоящее время технологических схем для выбора экологически и экономически выгодного способа реализации разработки в промышленном масштабе.

Методики и эксперименты

Многолетние исследования в области научных и технологических изысканий по переработке перовскитового концентрата позволили разработать несколько вариантов гидрометаллургических схем, позволяющих получать основную и побочную продукцию по безопасным технологическим схемам. Использовались разные минеральные кислоты [5—9], добавлялись химические реагенты, позволяющие снизить радиоактивность компонентов ПК [10—12].

Объект исследования — перовскитовый концентрат, состав которого приведен во введении.

Сернокислотная технология с выделением сульфата титанила моногидрата (рис. 1) характеризуется тем, что титан выделяется в виде кристаллического соединения СТМ — титанисульфата $\text{TiOSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. При этом резко снижается удельный расход серной кислоты и исключается передел по получению сульфата аммония, как это предусмотрено в известной схеме сернокислотной переработки лопарита [13]. К преимуществам данного варианта разработки следует отнести тот факт, что операции технологии испытаны в опытно-про-

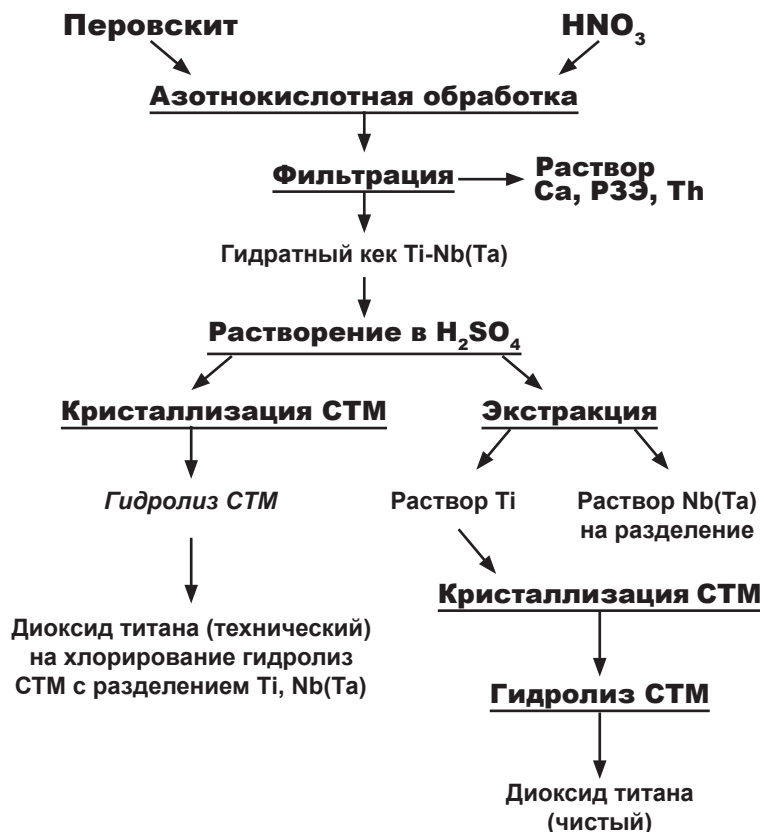


Рис. 2. Принципиальная азотно-сернокислотная схема переработки ПК
Fig. 2. Basic nitrogen-sulphuric acid scheme for PC processing

мышленном масштабе с переработкой 3 т ПК на НПО «Пигмент» (Санкт-Петербург) и в Научно-исследовательском проектном институте лакокрасочных материалов и пигментов (Челябинск). По результатам научных исследований и опытно-промышленных работ выданы исходные данные для проектирования опытно-промышленного цеха на площадке ИХТРЭМС, строительство которого было остановлено в годы перестройки из-за отсутствия финансирования.

Отходом сернокислотной переработки перовскита является титаногипс. Как показали наши исследования и испытания, титаногипс может быть использован в качестве эффективной замены природного гипса при производстве строительного материала — портландцемента [14].

Радиационная оценка ПК и продуктов его сернокислотной переработки проводилась в специализированной организации Минздрава России — Радиовом институте им. В. Г. Хлопина (Санкт-Петербург). В соответствии с его заключением удельная активность ПК равна $0,8—1,4 \cdot 10^{-6}$ Ки/кг. Титаногипс и другие титановые продукты — диоксид титана и сульфат титанила моногидрат — могут использоваться без ограничений по радиационному фактору.

Азотно-сернокислотная технология (рис. 2) заключается в азотнокислотной обработке перовскита в автоклаве или в атмосферных условиях с выщела-

чиванием полезных компонентов в азотнокислотную жидкую фазу и последующим осаждением титана и редких металлов (Nb, Ta) в виде титано-ниобо-танталового гидратированного осадка (ТНТО). При этом кальций, редкоземельные элементы (РЗЭ), торий и частично железо остаются в растворе. Осадок предлагается перерабатывать по сернокислотной схеме или методом хлорирования с получением четыреххлористого титана, из которого методом парового гидролиза выделяется диоксид титана. Также четыреххлористый титан является сырьем для получения металлического титана. Основные переделы технологии испытаны в опытно-промышленном масштабе.

При проведении азотнокислотной обработки в автоклаве удалось на порядок снизить продолжительность операции и тем самым сократить выброс вредных веществ в атмосферу. При разложении концентрата также получают ТНТО ($75—90\% \text{ TiO}_2$) и нитратные растворы, в кото-

рые из концентрата переходит основное количество кальция, РЗЭ и тория. Степень извлечения в раствор составила: CaO — $83—92\%$, TR_2O_3 — $85—87\%$, Fe_2O_3 — $2—4\%$, ThO_2 — $88—99\%$ [15]. Переработка таких растворов осуществлялась посредством предварительной отгонки азотной кислоты с последующей экстракцией РЗЭ и тория. Из рафината (раствора нитрата кальция) электродиализом можно выделить гидроксид кальция и регенерировать азотную кислоту. Важным преимуществом метода является то, что он не требует дополнительного использования реагентов. Регенерацию азотной кислоты предлагается осуществлять обработкой растворов серной кислотой с отделением сульфата кальция от HNO_3 . Сульфат кальция может использоваться в производстве строительных материалов. ТНТО пригоден для переработки сернокислотным методом с выделением промежуточного продукта — СТМ, являющегося сырьем для получения диоксида титана, а экстракцией из фильтрата выделяются индивидуальные редкие металлы. Более эффективным является метод хлорирования, позволяющий сократить значительное количество переделов, характерных для сернокислотной переработки по отработанной в промышленности технологии.

Технологический передел состоит в том, что измельченный ПК постепенно загружается в $28—32\%$ -ную соляную кислоту при интенсивном переме-

шивании и нагревании суспензии в течение 5 ч (температура процесса 95—100°C), после чего выдерживается 3—5 ч (рис. 3). При этом компоненты ПК переходят в жидкую фазу. Образовавшийся осадок, состоящий из кремнезема и неразложившихся частиц концентрата, отделяется фильтрованием. Из фильтрата поликомпонентного состава отгоняется свободная соляная кислота. Количество конденсата составляет примерно 35% от первоначального фильтрата [16]. Конденсат используется в обороте при разложении ПК. Из поликомпонентного солянокислотного раствора термогидролизом [17] выделяется гидратированный осадок — ТНТО. Степень осаждения компонентов составляет не менее 95% для TiO_2 и 90% для ниобия и тантала. Осадок промывается, после чего прокаливается при 800°C с получением технического диоксида титана, который может использоваться в качестве пигмента с повышенной термостойкостью, например, для производства герметиков, применяемых в авиастроении [17]. Также хлорированием из него могут быть получены соединения ниобия и тантала. Из фильтрата выделяют РЗЭ и торий [18; 19]. Выделение концентрата РЗЭ осуществляется путем введения в раствор известкового молока до достижения $pH = 7$. Образовавшийся осадок отделяется фильтрованием. Степень извлечения РЗЭ из раствора составляет не менее 80% [20]. Фильтрат хлорида кальция после отделения РЗЭ упаривается с выделением кристаллической соли $CaCl_2$.

Обсуждение результатов

В табл. 1 приведены ориентировочные данные расхода основных видов сырья, материалов и выхода продуктов на 1 т перовскитового концентрата по серноокислотному и азотно-серноокислотному вариантам технологических схем. Данные по солянокислотному варианту отсутствуют, поскольку технология

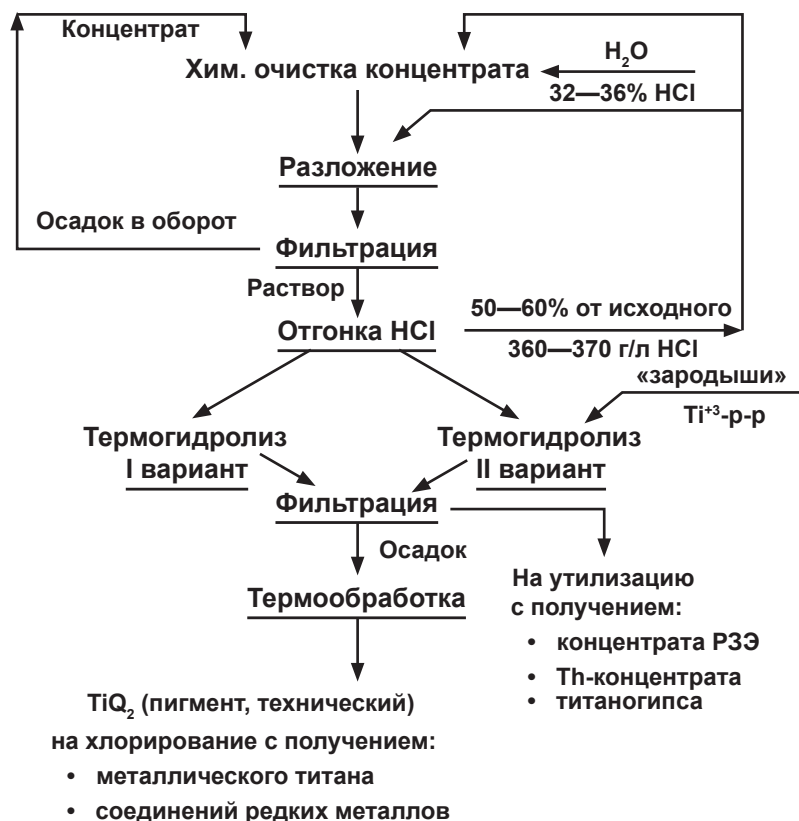


Рис. 3. Принципиальная схема солянокислотной переработки перовскита
Fig. 3. Basic scheme of hydrochloric acid processing of perovskite

Таблица 1. Расход основных видов сырья, материалов и выхода продуктов на 1 т перовскитового концентрата

Table 1. Consumption of main raw materials, materials and product output per 1 ton of perovskite concentrate

Наименование затрат	Единица измерения	Вариант	
		«С»	«А С»
Реагенты			
Серная кислота (92,5%)	т	2,0	0,8
Аммиак (100%)	т	0,017	—
Плавиковая кислота (40%)	т	0,01	0,01
Фторид аммония	т	0,046	0,046
Известь	т	0,033	0,05
Сульфат натрия	т	0,046	—
Трибутилфосфат	кг	0,5	1,0
Д2ЭГФК	кг	0,8	0,8
Соляная кислота (35%)	т	—	—
Азотная кислота (40%)	т	—	0,30
Нитрат бария	т	0,005	—

Окончание табл. 1

Наименование затрат	Единица измерения	Вариант	
		«С»	«А С»
Продукция (основная)			
Пигментный диоксид титана	т	0,473	0,47
Пентаоксид ниобия	кг	7,7	7,7
Пентаоксид тантала	кг	0,42	0,42
Редкоземельный концентрат	кг	145	50
Ториевый концентрат	кг	—	1,3
Сульфат аммония	т	0,5	—
Титаногипс	т	1,1	0,1

находится на стадии лабораторных исследований. Для рекомендации того или другого варианта к внедрению следует выполнить технико-экономическую оценку технологии в соответствии с современными потребностями в производимой продукции на рынке и ее стоимости.

Выводы

Каждая из описанных выше технологических схем имеет как преимущества, так и недостатки. Для реализации технологии выбирается вариант, который учитывает такие факторы, как научная и экологическая обоснованность технологии, доступность сырья, энергии и транспорта, а также дефицитность выпускаемой продукции. Из материалов, приведенных в статье, авторы склоняются к варианту переработки перовскитового концентрата, основанному на гибридном способе с использованием двух минеральных кислот, позволяющем максимально разделить компоненты перовскитового концентрата с высокой степенью их извлечения в конечные продукты. Именно этот вариант позволяет на первой же стадии отделить крайне нежелательную примесь радиоактивных компонентов и тем самым исключить возможность «заражения» радиоактивностью получаемых при переработке ПК продуктов. Азотно-серноокислотная технология наиболее изучена в лабораторном масштабе и опробована в укрупненных и опытно-промышленных условиях, что позволило усовершенствовать некоторые технологические переделы, расширить ассортимент продукции на основе титана, редких и редкоземельных элементов, столь необходимой для современных отраслей промышленности. В связи с принятой Правительством России стратегией развития страны, направленной на организацию производств импортозамещающей продукции, и с учетом интереса инвесторов к этой проблеме можно предположить, что внедрение усовершенствованной азотно-серноокислотной тех-

нологии переработки перовскита, месторождения которого находятся в Арктической зоне, внесет вклад в исполнение принятых директив.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по научной теме FMEZ-2025-0056.

Литература/References

- Соколов С. В., Нечелюстов Г. Н., Быстров И. Г. Перовскит из титаномagnetит-перовскитовой руды месторождения Африканда // Щелочной магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов: Труды XXXIII Международной конференции. — М.: GEOХИ РАН, 2016. — С. 116—118. Sokolov S. V., Nechelyustov G. N., Bystrov I. G. Perovskite from titanomagnetite-perovskite ore of the Afrikanda deposit. Alkaline magmatism of the Earth and related deposits of strategic metals. Papers of the XXXIII International Conference. Moscow, GEOCHI RAS, 2016, pp. 116—118. (In Russian).
- Соколов С. В. Перовскит и титанат — возможные нетрадиционные источники титана (на примере месторождения Африканда) // Технологическая минералогия в оценке качества минерального сырья природного и техногенного происхождения: Сборник статей по материалам докладов XIV российского семинара по технологической минералогии. — Петрозаводск, 2022. — С. 78—81. — DOI: 10.17076/tm1444. Sokolov S. V. Perovskite and titanate — possible unconventional sources of titanium (on the example of Afrikanda deposit). Technological mineralogy in quality assessment of mineral raw materials of natural and anthropogenic origin. Collection of articles on the materials of reports of XIV Russian seminar on technological mineralogy. Petrozavodsk, 2022, pp. 78—81. DOI: 10.17076/tm1444. (In Russian).
- Герасимова Л. Г., Артеменков А. Г., Николаев А. И., Шукина Е. С. Титано-редкометалльные концентраты из сырья Кольского региона и возможность их совместной переработки с получением дефицитной продукции // Арктика экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 2. — С. 217—225. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-2-2217-225. Gerasimova L. G., Artemenkov A. G., Nikolaev A. I., Shchukina E. S. Titanium-redmetal concentrates from raw materials of the Kola region and the possibility of their co-processing to obtain scarce products. Arctic: Ecology and Economy, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 217—225. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-2-2217-225. (In Russian).

4. Петкевич Д. Г. Выделение редкоземельных элементов при комплексном обогащении перовскит-титаномагнетитовой руды месторождения Африканда // Цветная металлургия. — 2015. — № 2. — С. 79—81. Petkevich D. G. Allocation of rare-earth-elements at complex enrichment of the perovskite-titanomagnetite ore of the Afrikanda deposit. Tsvetnaya metallurgiya [Non-ferrous metallurgy], 2015, no. 2, pp. 79—81. (In Russian).
5. Крысенко Г. Ф., Эпов Д. Г., Медков М. А. и др. Вскрытие перовскитового концентрата гидрофторидом аммония // Хим. технология. — 2015. — Т. 16, № 4. — С. 219—223. Krysenko G. F., Epov D. G., Medkov M. A., Sitnik P. V., Nikolaev A. I. Decomposition of perovskite concentrate by ammonium hydrodifluoride. Khimicheskaya tekhnologiya [Chemical technology], 2015, vol. 16, no. 4, pp. 219—223. (In Russian).
6. Крысенко Г. Ф., Эпов Д. Г., Ситник П. В. и др. Выделение РЗЭ при гидрофторидной переработке перовскитового концентрата // Хим. технология. — 2015. — Т. 16, № 10. — С. 625—630. Krysenko G. F., Epov D. G., Medkov M. A., Sitnik P. V., Nikolaev A. I. REE extraction during hydrodifluoride processing of perovskite concentrate. Khimicheskaya tekhnologiya [Chemical technology], 2015, vol. 16, no. 10, pp. 625—630. (In Russian).
7. Artemenkov A. G., Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Bychenya Yu. G., Shchukina E. S., Kuznetsova E. V. Nitric acid processing of perovskite concentrate under atmospheric and autoclave conditions. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2024, vol. 58, no. 2, pp. 379—385.
8. Герасимова Л. Г., Охрименко Р. Ф., Быченя Ю. Г. Получение пигментного диоксида титана при солянокислотной переработке перовскитового концентрата // Лакокрасоч. материалы и их применение. — 2004. — № 4. — С. 33—37. Gerasimova L. G., Okhrimenko R. F., Bychenya Yu. G. Preparation of pigmented titanium dioxide at hydrochloric acid processing of perovskite concentrate. Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye [Paint and coating materials and their application], 2004, no. 4, pp. 33—37. (In Russian).
9. Артеменков А. Г., Быченя Ю. Г., Герасимова Л. Г., Николаев А. И. Сернокислотное разложение перовскита в присутствии добавок, повышающих устойчивость титана (IV) в жидкой фазе // Тр. КНЦ РАН. Химия и материаловедение. — 2018. — Т. 9, вып. 2-1. — С. 121—124. Artemenkov A. G., Bychenya Yu. G., Gerasimova L. G., Nikolaev A. I. Sulfuric acid decomposition of perovskite in the presence of additives increasing the stability of titanium (IV) in the liquid phase. Trudy KNTS RAN. Khimiya i materialovedenie [Works of KSC RAS. Chemistry and Materials Science], 2018, vol. 9, iss. 2-1, pp. 121—124. (In Russian).
10. Salnikova E. B., Stifeeva M. V., Chakhmouradian A. R. et al. The U–Pb system in schorlomite from calcite-amphibole–pyroxene pegmatite of the Afrikanda complex (Kola Peninsula). Dokl. EarthSc., 2018, vol. 478, pp. 148—151. Available at: <https://doi.org/10.1134/S1028334X18020083>.
11. Potter N. J., Kamenetsky V. S., Chakhmouradian A. R. et al. Polyminalic inclusions in oxide minerals of the Afrikanda alkaline-ultramafic complex: Implications for the evolution of perovskite mineralisation. Contrib Mineral Petrol, 2020, vol. 175, 18. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00410-020-1654-7>.
12. Будин О. Н., Кропачев А. Н., Агафонов Д. Г., Черепов Н. Н. Изучение карботермического способа вскрытия титанового сырья на примере искусственно синтезированного перовскита // Изв. вузов. Цветная металлургия. — 2018. — № 5. — С. 23—30. — URL: <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2018-5-23-30>. Budin O. N., Kropachev A. N., Agafonov D. G., Cherepov N. N. Study of carbothermal method of opening of titanium raw materials on the example of artificially synthesized perovskite. Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya metallurgiya [Izvestiya Vuzov. Non-Ferrous Metallurgy], 2018, no. 5, pp. 23—30. Available at: <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2018-5-23-30>. (In Russian).
13. Николаев А. И. Переработка нетрадиционного титансодержащего сырья Кольского полуострова. — Апатиты: КНЦ АН СССР, 1991. — 116 с. Nikolaev A. I. Pererabotka netraditsionnogo titansoderzhashchego syr'ya Kol'skogo poluostrava [The processing of non-traditional titanium-containing raw materials of the Kola Peninsula]. Apatity, KSC AS USSR, 1991, 116 p. (In Russian).
14. Гуревич Б. И. Вяжущие вещества из техногенного сырья Кольского полуострова. — Апатиты: КНЦ РАН, 1996. — 179 с. Gurevich B. I. Binders from anthropogenic raw materials of the Kola Peninsula. Apatity, KSC RAS, 1996, 179 p. (In Russian).
15. Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Petrov V. B., Bychenya Yu. G. Nitric acid decomposition of perovskite with fluor-bearing agent. Tsvetnye Metally, 2017, no. 5, pp. 26—31. DOI: 10.17580/tsm.2017.05.07.
16. Герасимова Л. Г., Маслова М. В., Щукина Е. С. Получение титансодержащих материалов при переработке сфена и перовскита // Хим. технология. — 2009. — № 11. — С. 674—680. Gerasimova L. G., Maslova M. V., Shchukina E. C. Obtaining titanium-containing materials in the processing of sphene and perovskite. Khimicheskaya tekhnologiya [Chemical Technology], 2009, no. 11, pp. 674—680. (In Russian).
17. Герасимова Л. Г., Николаев А. И., Маслова М. В., Щукина Е. С. Наноразмерный диоксид титана для термостойких герметиков // Клеи. Герметики. Технологии. — 2014. — № 4. — С. 9—15. Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Maslova M. V., Shchukina E. C. Nanosized titanium dioxide for heat-resistant sealants. Klei. Germetiki. Tekhnologii [Glues. Sealants. Technology], 2014, no. 4, pp. 9—15. (In Russian).

18. Майоров В. Г., Николаев А. И., Авсаратов Х. Б. и др. Выделение тория при переработке хлоридных растворов в технологии перовскита // Цветные металлы. — 2005. — № 3. — С. 85—87.

Mayorov V. G., Nikolaev A. I., Avsaragov H. B., Kopkov V. K., Korotkova G. V. Thorium extraction during processing of chloride solutions in perovskite technology. Tsvetnye metally [Non-ferrous metals], 2005, no. 3, pp. 85—87. (In Russian).

19. Майоров В. Г., Николаев А. И., Копков В. К., Сафонова Л. А. Экстракция тория в солянокислотной технологии перовскита // Цветная металлургия. — 2004. — № 2. — С. 15—18.

Mayorov V. G., Nikolaev A. I., Kopkov V. K., Safonova L. A. Thorium extraction in hydrochloric acid technology of perovskite. Tsvetnaya metallurgiya [Non-ferrous metallurgy], 2004, no. 2, pp. 15—18. (In Russian).

20. Калинин В. Т., Николаев А. И. Титановая и редкометалльная продукция на базе минерального сырья Кольского полуострова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2005. — 24 с.

Kalinnikov V. T., Nikolaev A. I. Titanovaya i redkometall'naya produktsiya na baze mineral'nogo syr'ya Kol'skogo poluostrova [Titanium and rare-metal products based on mineral raw materials of the Kola Peninsula]. Apatity, KSC RAS, 2005, 24 p. (In Russian).

Информация об авторах

Герасимова Лидия Георгиевна, доктор технических наук, заведующая сектором, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Коми научного центра РАН (184209, Россия, Апатиты, Академгородок, д. 26а), e-mail: l.gerasimova@ksc.ru.

Николаев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Коми научного центра РАН (184209, Россия, Апатиты, Академгородок, д. 26а), e-mail: a.nikolaev@ksc.ru.

Щукина Екатерина Сергеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Коми научного центра РАН (184209, Россия, Апатиты, Академгородок, д. 26а), e-mail: e.shchukina@ksc.ru.

Артеменков Анатолий Григорьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Коми научного центра РАН (184209, Россия, Апатиты, Академгородок, д. 26а), e-mail: a.artemenkov@ksc.ru.

SOME TECHNOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF PEROVSKITE CONCENTRATE

Gerasimova, L. G., Nikolaev, A. I., Shchukina, E. S., Artemenkov, A. G.

Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences” (Apatity, Russian Federation)

The article was received on February 19, 2025

For citing

Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Shchukina E. S., Artemenkov A. G. Some technological and ecological aspects of hydrometallurgical processing of perovskite concentrate. *Arctic: Ecology and Economy*, 2025, vol. 15, no. 2, pp. 238—245. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-2-238-245. (In Russian).

Abstract

With one of the world's largest titanium raw material bases, Russia remains an exporter of an important strategic raw material. The Kola Peninsula is a region where deposits have been discovered that contain, in addition to titanium, rare and rare-earth metals so essential for the development of modern industries. This paper presents hydrometallurgical processing schemes, which have potential for industrial implementation using titanium-calcium raw materials of the Kola Peninsula by the example of perovskite concentrate.

Keywords: *perovskite concentrate, hydrometallurgical schemes, titanium, niobium, rare-earth metals.*

Funding

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the research topic FMEZ-2025-0056.

Information about the authors

Gerasimova, Lydia Georgievna, Doctor of Engineering Science, Head of Sector, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of the Sciences” (26a, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209), e-mail: l.gerasimova@ksc.ru.

Nikolaev, Anatoly Ivanovich, Doctor of Engineering Science, Corr. member RAS, Professor, Head of Laboratory, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of the Sciences” (26a, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209), e-mail: a.nikolaev@ksc.ru.

Shchukina, Ekaterina Sergeevna, PhD of Engineering Science, Senior Researcher, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of the Sciences” (26a, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209), e-mail: e.shchukina@ksc.ru.

Artemenkov, Anatoly Grigorievich, PhD of Engineering Science, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of the Sciences” (26a, Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209), e-mail: a.artemenkov@ksc.ru.

© Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Shchukina E. S., Artemenkov A. G., 2025