

Научная статья
УДК 546.28:621:82:88
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.001

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА С УЧАСТИЕМ ИНСТИТУТА ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ИМЕНИ И. В. ТАНАНАЕВА КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Анатолий Иванович Николаев

*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия, a.nikolaev@ksc.ru,
<http://orcid.org/000-0002-9457-7761>*

Аннотация

Открытие крупных месторождений минерального сырья на Кольском полуострове стало предпосылкой для разработки химических технологий и их научного обоснования. Особенностью многих видов сырья является сложный состав. Рассмотрены технологии, разработанные в Кольском научном центре РАН, до и после создания в нем Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья (ИХТРЭМС). Переработка добываемого и подготовленного к добыче сырья региона позволит в значительной степени обеспечить потребности отечественной промышленности в высокотехнологичных материалах.

Ключевые слова:

комплексное минеральное сырье, химические технологии, материалы, экология, химико-технологический кластер, устойчивое развитие региона

Благодарности:

государственное задание по теме научно-исследовательской работы № FMEZ-2022-0015.

Для цитирования:

Николаев А. И. Химические технологии переработки сырья Кольского полуострова с участием Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 9–14. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.001

Original article

CHEMICAL TECHNOLOGIES OF PROCESSING RAW MATERIALS OF THE KOLA PENINSULA FEATURING I. V. TANANAEV INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF RARE ELEMENTS AND MINERAL RAW MATERIALS OF THE KOLA SCIENCE CENTRE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Anatoliy I. Nikolaev

*I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials
of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia, a.nikolaev@ksc.ru,
<http://orcid.org/000-0002-9457-7761>*

Abstract

The discovery of large deposits of mineral raw materials on the Kola Peninsula has become a prerequisite for development of chemical technologies and their scientific justification. Complex composition is known to be a feature of local raw materials. The technologies developed at the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences before and after the establishment of the Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials have been considered. The processing of the raw materials extracted and available to extraction will provide the domestic industry needs in high-tech materials.

Keywords:

complex mineral raw materials, chemical technologies, materials, ecology, chemical-technological cluster, sustainable development of the region

Acknowledgments:

state task on the topic of research No FMEZ-2022-0015.

For citation:

Nikolaev A. I. Chemical technologies of processing raw materials of the Kola peninsula featuring ICT KSC RAS // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 9–14. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.001

Введение

До образования Советского Союза химической промышленности как таковой на Кольском полуострове не было. Собственно, и изучение минеральных ресурсов находилось на начальной стадии. Положение кардинально изменилось после первой геологической экспедиции академика А. Е. Ферсмана в 1920 г. Именно тогда началось планомерное изучение выявленных рудопоявлений, первыми из которых стали гигантские по запасам апатит-нефелиновые руды хибинских месторождений. Геологические работы всегда сопровождаются проведением химических исследований состава руд входящих в них породообразующих минералов и, естественно, определением возможности практического использования нового сырья для производства химической продукции [1]. Принято считать, что основы исследований по технологии кольского минерального сырья были заложены в 1930 г. в созданной А. Е. Ферсманом Хибинской горной лаборатории, названной «Тиетта». Её роль определялась как изучение природных ресурсов края, их освоение и обеспечение научного сопровождения новых производств [2].

Химические технологии до организации ИХТРЭМС

Необходимость химических исследований наряду с геологическими и горными очевидна. Для примера можно сказать, что это сегодня апатитовый концентрат считается сырьем № 1 для фосфатной промышленности, а сто лет назад были большие сомнения в возможности его использования вместо фосфоритовых руд, и первая проверка технологии апатитового концентрата на заводах в Германии подтвердила сомнения немецких химиков. Но испытания отечественных технологов хибинского апатита в Дзержинске были положительными. Уже в 1932 г. на заседании Госсовета страны А. Е. Ферсман докладывал планы по реализации к концу второй пятилетки (1934–1937 гг.) разработанного с участием сотрудников «Тиетты» проекта северного горно-химического треста «Апатит». Сырьем служили комплексные руды месторождений Хибин и Мончетундры.

В проекте должны были впервые на практике воплотиться принципы ноосферной теории, разработанной учителем А. Е. Ферсмана, русским и советским ученым-академиком В. И. Вернадским. Проект предусматривал полное использование добываемого сырья и получение широкой номенклатуры продуктов от миллиона до тысяч тонн в год [2]. Основные продукты приведены в таблице. Проект не удалось реализовать в полной мере из-за сложностей, которые не связаны с самой технологией. Переход к экстенсивной переработке сырья создал экологические проблемы, которые и сегодня напоминают о необходимости соблюдения экологического императива, сочетающегося с ноосферным учением. Экологический императив предусматривает совокупность запретов, соблюдение неперемных ограничений потребления и использования природных ресурсов. В противном случае происходит ухудшение благоприятных для жизни людей условий окружающей среды и возможно разрушение экологического равновесия с угрозой существования человечества [3–6].

Основная продукция северного горно-химического треста «Апатит» (тыс. т/год)

Продукт	Количество	Продукт	Количество
Апатитовый концентрат	2000	Cu-Ni фанштейн	
Нефелиновый концентрат	600	Серная кислота	30
Пирротинный концентрат	200	Концентрат редких металлов	
Сфеновый концентрат	72	Натрия сульфит	18
Двойной суперфосфат	400	Калия сульфит	8
Термофосфат	158	Сиштоф для силикагеля	
Фосфорнокислые соли	5	Цемент	300
Глинозем		Жидкое стекло	

Научные основы практического использования сырья Кольского полуострова начали зарождаться до организации ИХТРЭМС [2, 7–9]. Движущей силой этого процесса стали громадные запасы полезных ископаемых, выявленные в этом арктическом регионе, наличие необходимой инфраструктуры и приемлемые климатические условия.

Применительно к некоторым месторождениям Мурманской области справедливы определения «уникальные» и/или «крупнейшие в мире или в Европе» [8, 10]. Например, хибинские месторождения апатит-нефелиновых руд; Ловозерское месторождение лопаритовых руд одно из крупнейших в мире, руды которого являются основным добываемым и перерабатываемым сырьем нашей страны для получения редкоземельных металлов (РЗ М), Nb, Ta, Ti; крупное Африкандское месторождение перовскитовых руд, находящееся в стадии освоения, — Ti, РЗМ, Nb, Ta). В последнее время возрождается значительный интерес к кольским месторождениям литиевых руд, в частности к Колмозерскому, крупнейшему в России. Запасы руд цветных металлов в регионе обеспечивают стабильную работу предприятиям Кольской горно-металлургической компании и, естественно, потребности страны в такой продукции.

По плотности месторождений и крупных проявлений дефицитного минерального сырья, достаточных для организации промышленных предприятий, Кольский полуостров превосходит другие регионы страны. Занимая около 1 % территория России, Мурманская область владеет примерно половиной запасов России по редкоземельным металлам, несколькими десятками процентов запасов титана, ниобия, тантала, циркония, гафния, лития, цветных и благородных металлов. Все эти редкие металлы составляют основу стратегических и конструкционных материалов, определяющих обороноспособность страны, а также состояние и уровень развития промышленности [5].

С расширением круга задач и развития потенциала Хибинской горной станции Академии наук СССР изменялись не только ее названия: 1934 г. — Кольская база АН СССР; 1949 г. — Кольский филиал АН СССР; 1988 г. — Кольский научный центр АН СССР; 1992 г. — Кольский научный центр РАН; 2017 г. — Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН» (ФИЦ КНЦ РАН), но и структура: произошли большие изменения, связанные с преобразованием отдельных тематических групп в полноценные институты. В числе первых был образован Геологический институт (1951 г.), следующим был утвержден ИХТРЭМС (1957 г.). Его организация стала закономерным шагом развития технологий минерального сырья Кольского полуострова и их научным обоснованием, а также стимулом для развития редкометалльной промышленности в стране, поскольку ИХТРЭМС — единственный институт Российской академии наук, в котором редкометалльная тематика является основной.

ИХТРЭМС и химические технологии

Безусловно, как уже было сказано выше, часть технологических разработок начинали выполнять до образования ИХТРЭМС, но потом эти работы (и их авторы) перешли в ИХТРЭМС, где и были продолжены. Особенностью большей части кольского сырья является сложный состав руд и выделяемых из них концентратов, которые относятся к нетрадиционным видам сырья, требующим разработки нестандартных технологий, отвечающих условиям экономической эффективности, экологической безопасности и социальной значимости для региона. Нетрадиционными сырьевыми источниками считаются, например, лопарит, перовскит, эвдиалит, сфен, титаномагнетит и многие другие минералы, широко распространенные в кольском сырье. Вариантов технологических схем предложено очень много. Разработан пакет технологических схем, позволяющий выбирать оптимальный вариант исходя из состава сырья, требований к конечной продукции [11]. Новизна и оригинальность технических решений подтверждается сотнями авторских свидетельств на изобретения и патентов, заявителем которых является ИХТРЭМС.

Доклад не позволяет рассказать о всех успехах, достигнутых институтом в области химических технологий. Поэтому ограничимся ссылками на наиболее показательные примеры. Первая крупная технология ИХТРЭМС была внедрена в 1969 г. в Эстонии на заводе по переработке лопаритового концентрата «Силмет». Производительность была доведена до 15 тыс. т/год по концентрату и проработаны проекты на 24 и 32 тыс. т/год (для сравнения: АО «Соликамский магниевый завод» перерабатывает 10 тыс. т лопарита). Завод в Эстонии обеспечивал заметную часть потребности СССР в танталовой, ниобиевой и редкоземельной продукции, а сульфатные соли титана использовались на всех кожевенных заводах СССР в качестве экологически безопасного дубителя кож, что снизило потребление высокотоксичного хромового дубителя.

В 1990-е гг. в Апатитах был построен крупнейший в Северной Европе завод материалов для электронной промышленности — ЗАО «Северные кристаллы», который должен был обеспечить

потребности СССР, но после разрушения Советского Союза новые потребности в этой продукции привели к банкротству завода. В промышленном масштабе на Ковдорском ГОКе реализована технология ИХТРЭМС по химической очистке некондиционного бадделеитового концентрата, что увеличило выпуск товарного продукта на 50 %.

Институтом разработаны и реализованы на Ловозерском ГОКе в опытно-промышленном масштабе технологии высокочистых щелочных металлов (Na, K, Rb, Cs) и их соединений. На опытно-промышленных установках АО «Апатит» отработаны технологии переработки сфенового концентрата с получением пигментов, дубителей, сорбентов и других продуктов, а также технологии химической очистки минеральных концентратов для их использования в сварочных электродах [12]. До стадии промышленного внедрения были доведены технологии нефелинового концентрата для производства и применения на АО «Апатит» коагулянтов и флокулянтов, а также взрывчатых веществ, которые использовались на ряде горных предприятий Мурманской области и Республики Карелия [8, 10]. Внедрена технология силикатного кирпича из отходов Оленегорского железорудного комбината, шлаковаты, сорбентов и бетонов из шлаков комбината «Североникель» [13]. На основе кольского минерального сырья были разработаны новые низкотемпературные стеклокерамические связки для производства абразивных инструментов. На Африкандском месторождении перовскит-титаномагнетитовых руд ведутся активные работы по добыче, обогащению и переработке перовскитового концентрата. Основным разработчиком химической технологии перовскита является ИХТРЭМС.

Институт внес заметный вклад в разработку технологии извлечения редкоземельных элементов из продуктов переработки апатитового концентрата [14]. Есть подобные разработки и у наших коллег, но на данный момент дальше уровня опытно-промышленных испытаний технологии не продвинулись.

Таким образом, имея большое количество разработанных перспективных вариантов технологии по переработке сырья региона, необходимых для производства высокотехнологичной продукции, реализованных производств очень-очень мало. Похожая ситуация сложилась и в других регионах России. Существующая опытно-промышленная база для доработки и оптимизации технологических процессов остается слаборазвитой. Это можно объяснить тем, что в мировой системе глобализации промышленного производства материалов России была уготована роль сырьевой базы, то есть мы продаем дешевое сырье, а покупаем дорогую продукцию у развитых стран. По этой причине Россия утратила свою технологическую независимость в ряде ключевых отраслей. В первую очередь это относится к малотоннажным производствам высокотехнологичных материалов, используемых в отраслях, определяющих уровень и темпы развития промышленности. Такие материалы принято считать катализаторами развития или индикаторами состояния промышленности (экономической и национальной безопасности). Ведущие отрасли промышленности страны испытывают заметную зависимость в обеспечении импортным оборудованием и материалами.

Для ускорения реализации инновационных разработок институт проводит активную деятельность по организации и развитию Кольского химико-технологического кластера (КХТК), задачами которого являются: доработка и апробация технологических схем переработки сырья региона; оптимизация аппаратного оформления процессов; получение исходных данных для расчета экономических показателей и подготовки ТЭО новых производств. В число первых продуктов входят дефицитные для нашей промышленности порошки редких металлов (Ta, Nb и др.), материалы для опто- и акустоэлектроники (LiNbO_3 , LiTaO_3 и др.), специальные герметики на основе диоксида титана для авиакосмической отрасли, природоподобные аналоги редких минералов как эффективные полифункциональные материалы [6, 10, 15]. Уже имеющиеся в зарождающемся КХТК пилотные установки частично решают подобные задачи. Кластер рассматривается нами как реализуемая модель перехода от характерной для России сырьевой экономики к инновационной. Проект создания и развития КХТК основывается на конкурентных преимуществах региона и, естественно, на разработках ИХТРЭМС и других подразделений ФИЦ КНЦ РАН.

Заключение

Кольский полуостров обладает мощной сырьевой базой, потенциально пригодной для производства высокотехнологичной продукции в объемах потребности всей страны. Значительная часть сырья

относится к нетрадиционным видам, представленным комплексными рудами сложного состава. Для ряда месторождений разработаны технологические схемы переработки сырья, соответствующие требованиям к инновационным экологически безопасным процессам. Отсутствие опытно-промышленных установок сдерживает реализацию новых технологий. Реализация межмуниципального проекта КХТК администрации Мурманской области и ФИЦ КНЦ РАН позволит организовать производства малотоннажных высокотехнологичных продуктов, способных обеспечить их импортозамещение.

Список источников

1. Ферсман А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. 20 с.
2. Соловьянов Г. Н. Научная база Хибинского горнопромышленного комплекса. Л., 1932.
3. Моисеев Н. Н. Теория управления и проблема «человек — окружающая среда» // Вестник АН СССР. 1980. № 1. С. 62–73.
4. Моисеев Н. Н. Экологический императив // Время решений. М.: Рус. яз., 1987. С. 22–30.
5. Виноградов А. Н., Калинин В. Т., Петров В. П. и др. Кольская горно-промышленная корпорация как ключевое звено государственного резерва стратегических материалов // Север — 2003: проблемы и решения. Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2004. С. 171–180.
6. Buznik V. M., Nikolaev A. I. Ecological Aspects of the Arctic Materials and Technologies // Chemistry for Sustainable Development. 2022. Vol. 30, № 1, pp. 26–36.
7. Калинин В. Т., Николаев А. И. ИХТРЭМС КНЦ РАН: шаги в будущее // Вестник КНЦ РАН. 2009. № 1. С. 104–109.
8. Калинин В. Т., Николаев А. И. Перспективы развития химических производств на базе сырья Кольского полуострова // Цветные металлы. 2011. № 11. С. 17–24.
9. Николаев А. И. Методы локальной переработки минерального арктического сырья // Арктическое материаловедение: состояние и развитие / Под ред. В. М. Бузника, Е. Н. Каблова, С. М. Алдошина. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. 417 с.
10. Калинин В. Т., Николаев А. И., Захаров В. И. Гидрометаллургическая комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1999. 225 с.
11. Калинин В. Т., Николаев А. И. Создание базового пакета технологий для формирования национального резерва стратегических материалов на основе рудно-сырьевого потенциала Кольского полуострова. Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2005. С. 174–191.
12. Мотов Д. Л., Максимова Г. К. Сфен и его химическая переработка на титановые пигменты и наполнители. Л.: Наука, 1983. 88 с.
13. Макаров В. Н., Крашенинников О. Н., Гуревич Б. И. и др. Строительные и технические материалы из минерального сырья Кольского полуострова. Ч. 1, 2. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 430 с.
14. Локшин Э. П., Тареева О. А. Разработка технологий извлечения редкоземельных элементов при сернокислотной переработке хибинского апатитового концентрата на минеральные удобрения. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 268 с.
15. Nikolaev A. I., Krivovichev S. V. Prospects for the Development of the Kola Chemical Technological Cluster in Transition from a Resource-Based Economy to an Innovative Economy // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. Vol. 53, No. 5, pp. 980–985.

References

1. Fersman A. E. *Kompleksnoe ispol'zovanie iskopaemogo syr'ya* [Integrated use of fossil raw materials]. Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1932, 20 p. (In Russ.)
2. Solov'yanov G. N. *Nauchnaya baza Hibinskogo gornopromyshlennogo kompleksa* [Scientific base of the Khibiny mining complex], Leningrad, Nauka, 1932. (In Russ.)
3. Moiseev N. N. Teoriya upravleniya i problema “chelovek — okruzhayushchaya sreda” [Control theory and the problem of “man — environment”]. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of USSR Science Academy], 1980, No. 1, pp. 62–73. (In Russ.)
4. Moiseev N. N. Ekologicheskij imperativ [Environmental imperative]. *Vremya reshenij* [Decision time]. Moscow, Rus. yaz., 1987, pp. 22–30. (In Russ.)
5. Vinogradov A. N., Kalinnikov V. T., Petrov V. P. etc. Kol'skaya gorno-promyshlennaya korporaciya kak klyuchevoe zveno gosudarstvennogo rezerva strategicheskikh materialov. [Kola mining and industrial corporation as a key element of the state reserve of strategic materials]. *Sever — 2003: problemy i resheniya* [North—2003: problems and solutions]. Apatity, izd. KNC RAN, 2004, pp. 171–180. (In Russ.)

6. Buznik V. M., Nikolaev A. I. Ecological Aspects of the Arctic Materials and Technologies. *Chemistry for Sustainable Development*, 2022, Vol. 30, no. 1, pp. 26–36.
7. Kalinnikov V. T., Nikolaev A. I. IHTREMS KNC RAN: shagi v budushchee [ICT KCS RAS: steps to the future]. *Vestnik KNC RAN* [Herald of the Kola Science Centre of RAS], 2009, No 1, pp. 104–109. (In Russ.).
8. Kalinnikov V. T., Nikolaev A. I. Perspektivy razvitiya himicheskikh proizvodstv na baze syr'ya Kol'skogo poluostrova [Prospects for the development of chemical industries based on raw materials from the Kola Peninsula]. *Cvetnye metally* [Non-ferrous metals], 2011, No 11, pp. 17–24. (In Russ.).
9. Nikolaev A. I. Metody lokal'noj pererabotki mineral'nogo arkticheskogo syr'ya [Methods of local processing of mineral arctic raw materials]. *Arkticheskoe materialovedenie: sostoyanie i razvitie* [Arctic materials science: state and development]. Moscow, Izdatel'skij centr RGU nefti i gaza (NIU) imeni I. M. Gubkina, 2021, 417 p. (In Russ.).
10. Kalinnikov V. T., Nikolaev A. I., Zaharov V. I. *Gidrometallurgicheskaya kompleksnaya pererabotka netraditsionnogo titano-redkometall'nogo i alyumosilikatnogo syr'ya* [Hydrometallurgical complex processing of non-traditional titanium-rare-metal and aluminosilicate raw materials]. Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN. [Apatity, KSC RAS], 1999, 225 p. (In Russ.).
11. Kalinnikov V. T., Nikolaev A. I. *Sozdanie bazovogo paketa tekhnologij dlya formirovaniya nacional'nogo rezerva strategicheskikh materialov na osnove rudno-syr'evogo potenciala Kol'skogo poluostrova. Formirovanie osnov sovremennoj strategii prirodnopol'zovaniya v Evro-Arkticheskom regione* [Creation of a basic package of technologies for the formation of a national reserve of strategic materials based on the ore and raw material potential of the Kola Peninsula. Formation of the foundations of a modern strategy for nature management in the Euro-Arctic region]. Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Apatity, KSC RAS], 2005, pp. 174–191. (In Russ.).
12. Motov D. L., Maksimova G. K. *Sfen i ego himicheskaya pererabotka na titanovye pigmenty i napolniteli* [Sphen and its chemical processing into titanium pigments and fillers]. Leningrad, Nauka, 1983, 88 p. (In Russ.).
13. Makarov V. N., Krashenninnikov O. N., Gurevich B. I. etc. *Stroitel'nye i tekhnicheskie materialy iz mineral'nogo syr'ya Kol'skogo poluostrova* [Construction and technical materials from mineral raw materials of the Kola Peninsula]. Parts 1, 2. Apatity, izd-vo KNC RAN [Apatity, KSC RAS], 2003, 430 p. (In Russ.).
14. Lokshin E. P., Tareeva O. A. *Razrabotka tekhnologij izvlecheniya redkozemel'nykh elementov pri sernokislotoj pererabotke hibinskogo apatitovogo koncentrata na mineral'nye udobreniya* [Development of technologies for the extraction of rare earth elements during sulfuric acid processing of the Khibiny apatite concentrate for mineral fertilizers]. Apatity, KNC RAN [Apatity, KSC RAS], 2015, 268 p. (In Russ.).
15. Nikolaev A. I., Krivovichev S. V. Prospects for the Development of the Kola Chemical Technological Cluster in Transition from a Resource-Based Economy to an Innovative Economy. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2019, Vol. 53, No. 5, pp. 980–985.

Информация об авторе

А. И. Николаев — доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе.

Information about the author

A. I. Nikolaev — Dr. Sc. (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific Work.

Статья поступила в редакцию 07.02.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2023; принята к публикации 14.02.2023.
The article was submitted 07.02.2023; approved after reviewing 13.01.2023; accepted for publication 14.02.2023.