

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Сборник статей
по материалам докладов XII Российского
семинара по технологической минералогии



RUSSIAN MINERALOGICAL SOCIETY
COMMISSION ON TECHNOLOGICAL MINERALOGY
FEDERAL RESEARCH CENTRE
«KARELIAN RESEARCH CENTRE, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES»
INSTITUTE OF GEOLOGY
FBSEI «PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY»
INSTITUTE OF FORESTRY, MINING AND CONSTRUCTION SCIENCES



MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL APPRAISAL OF NEW TYPES OF MINERAL PRODUCTS

Volume of papers based on the presentations made
at the XIIth Russian seminar on technological mineralogy

Petrozavodsk, May, 15–17, 2019

Edited by Vladimir V. Shchiptsov & Evgeniya N. Svetova

Petrozavodsk
2019

РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
КОМИССИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ КарНЦ РАН
ФГБОУ ВО «ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ЛЕСНЫХ, ГОРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК



МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Сборник статей по материалам докладов
XII Российского семинара по технологической минералогии

Петрозаводск, 15–17 мая 2019 г.

Под редакцией д. г.-м. н. В. В. Щипцова, к. г.-м. н. Е. Н. Световой

Петрозаводск
2019

УДК 622.7.017
ББК 33.4
М62

Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья : сборник статей
М62 по материалам докладов XII Российского семинара по технологической минералогии / под ред.
В. В. Щипцова, Е. Н. Световой. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2019. – 117 с.

УДК 622.7.017
ББК 33.4

ISBN 978-5-9274-0869-6

© Российское минералогическое общество, 2019
© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2019
© Институт геологии КарНЦ РАН, 2019
© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ)», 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2019 году Комиссия по технологической минералогии РМО организовывала и принимала участие в нескольких важных мероприятиях.

С 2011 года на базе минералогического отдела ФГБУ «ВИМС им. Н. М. Федоровского» ежегодно проводится **Минералогическая школа** «Актуальные проблемы и современные методы прикладной минералогии». Ее работа охватывает следующие тематические направления:

1. Основные понятия современной минералогии;
2. Перспективы развития минералогии в XXI веке;
3. Минералогическое обеспечение геолого-разведочных работ;
4. Современные методы минералогического анализа;
5. Экологические проблемы и специфика изучения техногенного сырья;
6. Позиция минералогии в обогащении руд;
7. Природа технологических свойств минералов и их поведение в единой геолого-технологической системе;
8. Метрологическое и методическое обеспечение минералогических работ;
9. Научная организация труда.

В работе Школы в разные годы принимали участие специалисты отраслевых, академических, учебных, производственных и коммерческих организаций Москвы, Петрозаводска, Сыктывкара, Апатит, Екатеринбург, Оренбург, Санкт-Петербурга, Якутска, Иркутска, Красноярска, Новосибирска, Казани, Благовещенска, Биробиджана, Хабаровска, Магнитогорска, Владивостока, Алма-Аты, Усть-Каменогорска, Ташкента и других. В 2019 году Минералогическая школа-2019 традиционно проводилась во ФГБУ «ВИМС им. Н. М. Федоровского» (Москва) в период 8–12 апреля 2019 г. Руководит школой заведующая отделом минералогии, д.г.-м.н. Е. Г. Ожогина. На Школе рассматривались вопросы о роли и значении минералогических исследований твердых полезных ископаемых при геологоразведочных работах и промышленном освоении минерально-сырьевых объектов.

XII Российский семинар по технологической минералогии «Минералогическая оценка новых видов минерального сырья» состоялся в Институте геологии

КарНЦ РАН 15–17 мая 2019 г. Организаторами мероприятия выступили Комиссия по технологической минералогии РМО, Карельское отделение РМО, Институт геологии ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета.

Научная программа семинара охватывала следующие направления исследований в технологической минералогии:

1. Технологические подходы по вовлечению в промышленную сферу новых металлов и химических элементов;
2. Новые технологические подходы по вовлечению в промышленную сферу минерального сырья техногенного происхождения;
3. Интенсификация минералого-технологических исследований с целью повышения качества сырья до уровня чистых и суперчистых концентратов;
4. Исследования многокомпонентных минеральных систем с применением современных аналитических методик.

Участники семинара представляли академические и отраслевые институты, ВУЗы, производственные и другие организации из Петрозаводска, Москвы, Санкт-Петербурга, Апатит, Саратова, Сыктывкара, Красноярска. Всего было представлено 26 выступлений с докладами, работала стендовая сессия.

В целом программа семинара представляла собой очередной этап развития технологической минералогии. В современных условиях красной нитью отражается актуальность укрупнения планируемых исследований на междисциплинарном и межрегиональном уровнях в целях решения научно-производственных задач повышения эффективности и экологизации деятельности действующих и планируемых горно-промышленных комплексов России.

На семинаре разговор шел об «экзотических» типах редкометалльных гранитных пегматитов, аномально обогащенных танталом, бериллием и редкоземельными металлами, обнаружение которых представляет интерес для ускоренного промышленного освоения, в том числе с использованием ручной выборки крупнокристаллических редкометалльных минералов. Особое внимание уделено редкометалльному и кварцевому сырью, хромитам, шунгитам, тальку, серпентиниту

и флюориту Карелии, включая методические аспекты пробоподготовки, диагностики минералов и их преобразовании при термических воздействиях.

В работе семинара участвовали представители группы компаний «Анакон», занимающейся поставкой и сервисным обслуживанием лабораторного оборудования для исследования состава горных пород и руд, а также являющейся эксклюзивным представителем в России и СНГ компании по производству оборудования Rocklabs. Для участников семинара были подготовлены раздаточные рекламно-информационные материалы.

Партнером семинара выступил информационный журнал «Глобус: геология и бизнес» – специализированное издание о добыче и переработке полезных ископаемых в России и Казахстане, служащее площадкой для обмена опытом специалистов горной отрасли.

В рамках семинара состоялась полевая экскурсия в горный парк Рускеала.

К важному мероприятию относится **XIV Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM-2019)**, который состоялся 23–27 сентября 2019 года на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова по решению IMA-SAM – Комиссии по прикладной минералогии при Международной минералогической ассоциации. Конгресс проходил под девизом «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня». Этот девиз определил вектор приоритетных научных направлений, что послужит укреплению престижа науки, созданию новых профессиональных контактов.

В данный сборник научных статей в основном включены публикации на основе материалов докладов на XII Российском семинаре по технологической минералогии.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Щуцов В. В.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Фенноскандинавский щит – это мегаструктура с длительным активным периодом становления от ранних этапов формирования земной коры (> 3.5 млрд лет) со сменой геологических режимов во всей последующей истории геологического развития от архея до настоящего времени.

Становление континентальной коры Лапландско-Кольско-Карельской провинции (значительная часть территории Карелии и Кольского полуострова) проходило в позднем архее и завершилось в условиях протоплатформенного режима в палеопротерозое. Стратиформная кора Свекофеннской геоструктурной области, охватила центральную часть щита (центральная и юго-восточная Швеция, южная Финляндия, юго-западная Карелия), сформировавшись 2000–1550 млн лет назад. Во время кратонизации этой области в интервале 1700–1550 млн лет продолжалось накопление в остаточных бассейнах терригенно-порфировых и терригенных толщ вепсия и внедрение сложных габбро-сиенит-гранитового и габбро-анортозит-рапакиви-гранитового комплексов, локализующихся в южной и юго-западной частях области. Свеконорвежская провинция является самой молодой в составе Фенноскандинавского щита и занимает юго-западную часть. Формирование коры на юго-западе Швеции, юго-востоке и юге Норвегии произошло в мезо и неопротерозое в интервале 1700–850 млн лет. С меняющимися геологическими режимами в докембрии связано формирование разнообразных промышленных минералов.

Значительная роль в формировании минеральной базы данной территории также отводится на северо-западе Фенноскандинавского щита фанерозойским покровам скандинавских каледонид и палеозойской группе интрузий щелочно-ультраосновной с карбонатитами формации и формации агпайтовых нефелиновых сиенитов (рис. 1). К крупнейшим осваиваемым месторождениям промышленных минералов относятся уникальные месторождения апатит-нефелино-

вых руд Хибинского массива, Ковдорский щелочно-ультраосновной массив (апатит, флогопит, вермикулит, бадделейт).

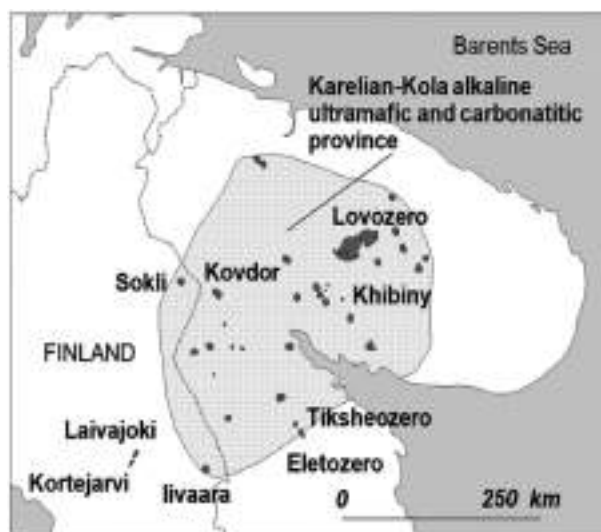


Рис. 1. Размещение интрузий щелочно-ультраосновной с карбонатитами формации и формации агпайтовых нефелиновых сиенитов [4]

Промышленные минералы Фенноскандинавского щита

В мировой практике используется большая группа полезных ископаемых под названием «industrial minerals» (промышленные минералы). Под индустриальными минералами подразумевают обширную группу полезных ископаемых, т. е. все минеральное сырье, которое человек извлекает из недр, кроме энергетических видов сырья, металлов, воды и самоцветов, и может использовать в промышленности благодаря определенным физическим и химическим свойствам [2, 53]. Большое значение придается тому факту, что некоторые металлы используются без металлургического передела как промышленные минералы (ильменит, хромит, кианит и др.).

В мировой практике уже давно при освоении промышленных минералов наметились тенденции, имеющие зависимость от более жестких требований, предъявляемых потребителями

на мировом рынке. П. Харбен и Р. Бейтс [13] считали, что во всех случаях накладывается большая ответственность на поставщиков материалов из промышленных минералов в смысле соблюдения мировых стандартов на готовую продукцию. Особенно это относится к стеклольному производству, наполнителям и покрытиям в бумагоделательной промышленности и т. п. Процесс горной добычи, рудоподготовки и обогащения промышленных минералов все чаще связан с применением новых современных методов, в частности, методов электростатической сепарации и оптической сортировки; методов энергетического, плазмохимического и ионного воздействия, выщелачивания и активации и т. д. Приоритет отдается развитию новых направле-

ний применения минерального сырья, например, в качестве наполнителей для производства резины, бумаги, красок и пластиков, в создании новых энергоносителей, защите окружающей среды и т. д. На мировом рынке минерального сырья усиливается конкурентность. В связи с этим целый ряд промышленных минералов, используемых в прошлом и настоящем, могут за короткий срок стать неконкурентноспособными или наоборот, т. е. появится конъюнктура на новые виды промышленных минералов, называемых минералами XXI века – века «high-tech». Здесь находят применение целый ряд традиционных и новых промышленных минералов (карбонатные породы, диатомиты, гранаты, цеолиты, бентониты, минералы литиевой группы, шунгиты и другие).

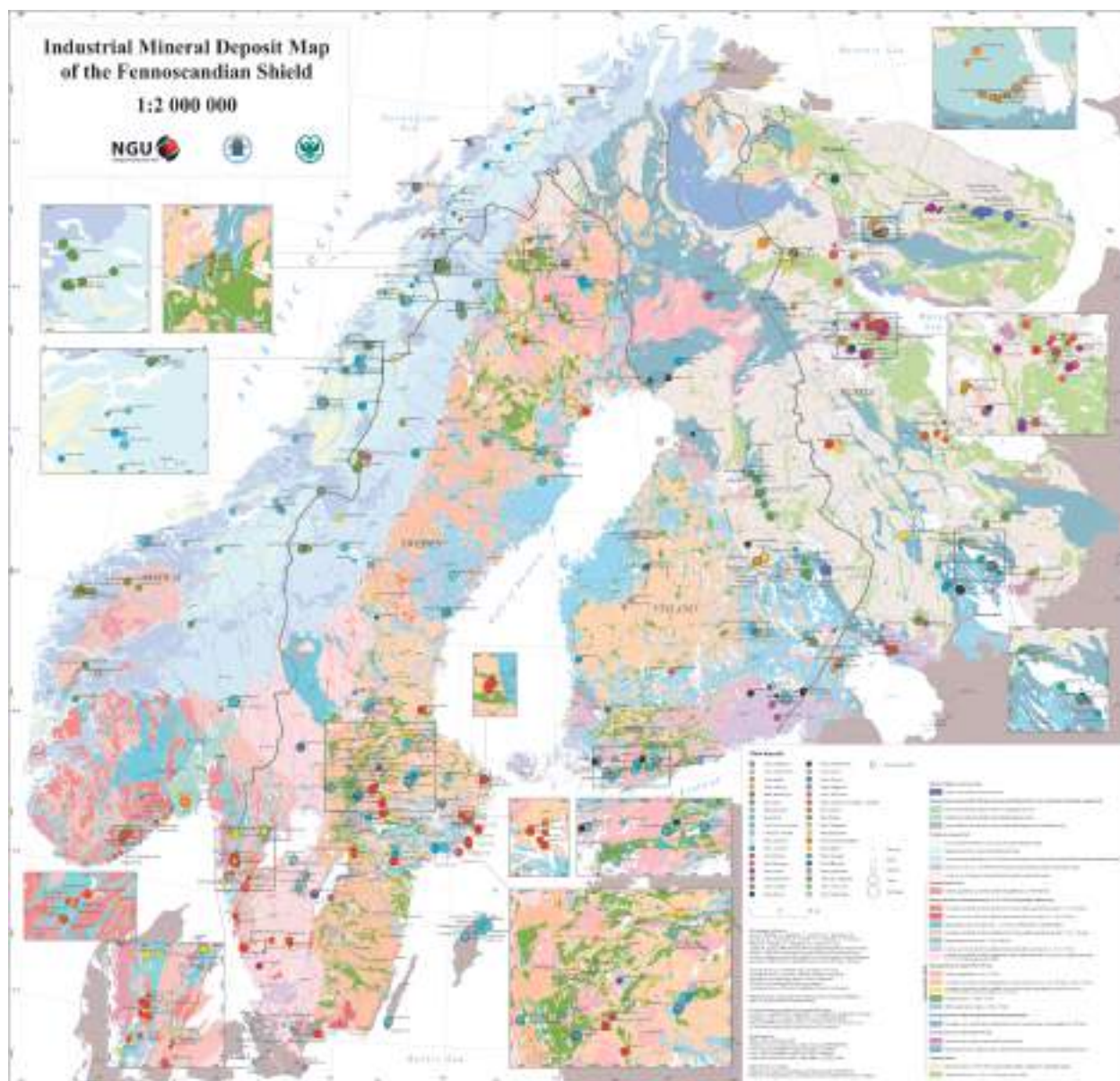


Рис. 2. Карта размещения месторождений промышленных минералов Фенноскандинавского щита [8]

В мировой практике уделено большое внимание индустриальным минералам. Этот интерес год от года усиливается.

В основу изложения принята База данных месторождений промышленных минералов (FODD) ГИС-система «Промышленные минералы Фенноскандинавского щита», включающая информацию о 35 видах минерального сырья в границах данной территории. В эту базу включены данные по 576-ти месторождениям и крупным проявлениям промышленных минералов Фенноскандинавского щита, в том числе по 119 объектам Норвегии, 225 – Швеции, 119 – Финляндии и 115 – России (Карело-Кольский регион). Издана карта промышленных минералов Фенноскандии М: 1:2-000-000, предназначенная для стратегического планирования направлений разведки полезных ископаемых и исследований в области экономической геологии (рис. 2). Участниками проекта являются представители Геологических служб Норвегии, Финляндии и Швеции, Института геологии КарНЦ РАН, Геологического института КНЦ РАН и ГУП «Минерал» [1, 8].

Алмазы

В пределах Карельского кратона расположены многочисленные кимберлитовые породы различных возрастов и минеральных типов [22] (рис. 3). К наиболее выраженным относятся Кимозерская алмазоносная площадь [50, 51], расположенная на северном берегу Онежского озера датируемая возрастом 1760 млн лет и площадь Лентира-Кухмо-Костомукша возрастом 1200 млн лет (кимберлиты и лампроиты).

Алмазы встречены в кимберлитах и лампроитах. На карте показаны кимберлиты и лам-

проиты, а также указаны алмазные рудники в Архангельской области (рис. 3).

Основная часть кимберлитовых трубок размещена на территории Финляндии в районах Куопио-Каави и Куусамо, где кимберлиты датируются возрастом около 600 и 760 млн лет, соответственно.

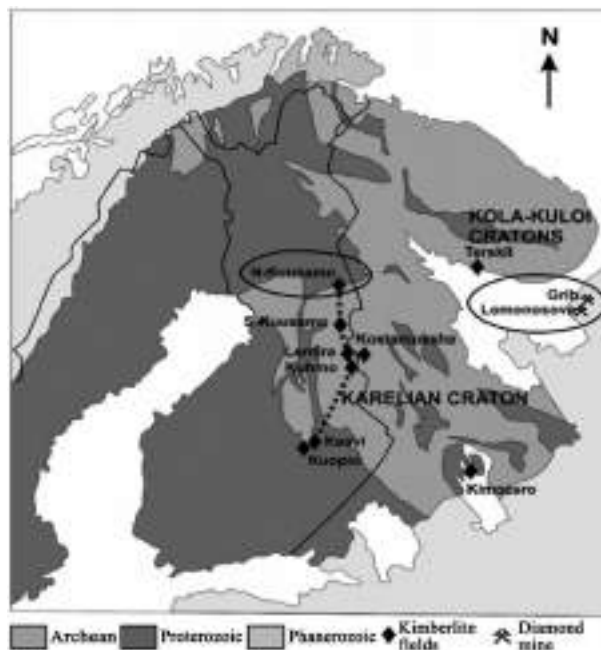


Рис. 3. Обобщенная схема геологического строения Фенноскандии с указанием потенциальных алмазоносных участков [22]

На Терском и Архангельском берегах Белого моря кимберлиты имеют возраст от 360 до 380 млн лет (рис. 4). Архангельские кимберлиты разделены географически и по минеральному составу на восточный и западный подтипы. В западной группе находится первый в Европе алмазный рудник имени Ломоносова, который охватывает шесть отдельных кимберлитовых трубок.

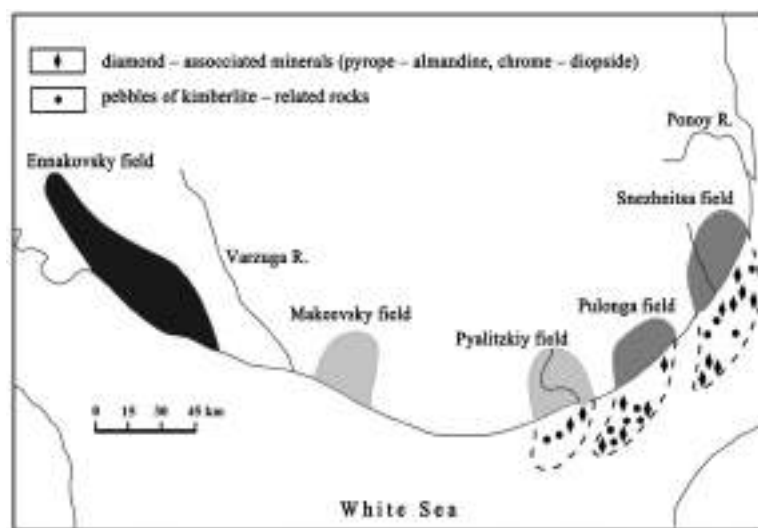


Рис. 4. Схематическая карта установленных и предполагаемых кимберлитовых площадей на Терском берегу Белого моря [10]

Апатит

Основная доля запасов и ресурсов апатитовых руд связана с палеозойскими ультраосновным-щелочным комплексом (УЩК), и прежде всего, с Хибинским массивом, относящимся к крупнейшим щелочным массивам мира. Благодаря наличию уникальных месторождений данного массива, доля апатитовых руд в составе фосфатного сырья является доминирующей в России.

Хибинский массив щелочных пород находится в центральной части Кольского полуострова между крупными озерами Имандра и Умбозеро (рис. 5). В плане он имеет эллипсоидальную несколько вытянутую в субширотном направлении форму (45×35 км) общей площадью 1327 км². Формирование Хибинского массива происходило путем последовательного многостадийного внедрения щелочного магматического расплава мантийного происхождения в позднедевонское время. При этом апатит-нефелиновые руды представляются продуктом конечной кристаллизационной дифференциации обогащенной фосфором ийолит-уртитовой магмы, поступавшей по конической трещине отслоения между более ранними хибинитами краевых частей и несколько более поздними нефелиновыми сиенитами центральной части массива. Наиболее поздним образованием в массиве является карбонатитовый шток ядра [31, 48 и др.]. Возраст Хибинского массива оценивается в 365–369 млн лет [19, 20]. Вмещающие породы в экзоконтакте массива изменены: архейские гнейсы (на севере и востоке) сиенитизированы и в непосредственном контакте (в зоне шириной 5–10 м) превращены в фениты; зеленокаменные протерозойские породы свиты имандра-варзуга (на юге и западе) в зоне до 400 м ороговикованы. Апатит-нефелиновые и титанит-apatитовые руды связаны с ийолит-уртитовыми промежуточными образованиями (apatитовые уртиты, титанитовые ийолиты и т. п.) [37].

Хибинская группа апатит-нефелиновых месторождений включает 15 месторождений и проявлений, сгруппированных в три участка (рудных поля), некоторые из которых эксплуатируются [48]. К главным промышленным минералам относятся апатит, нефелин, пироксен (эгирин-авгит), титанит, полевой шпат (ортоклаз), титаномагнетит и др. Разработаны и апробированы технологические схемы с получением апатитового, нефелинового, титанитового, эгиринового, титаномагнетитового концентратов, однако

в промышленных объемах выпускаются только апатитовый (7–9 млн т в год) и нефелиновый концентрат (1.0–1.5 млн т в год) с содержанием Al_2O_3 – не менее 28%. Все месторождения расположены в пределах ийолит-уртитовой дуги, при этом наиболее крупные запасы сосредоточены в южной ее части (рис. 5). В настоящее время АО «Апатит» эксплуатирует Кукисвумчорр и Юкспор (Объединенный Кировский рудник), Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр (+ Ийолитовый Отрог), Коашва и Ньоркпахк и ведутся подготовительные горно-капитальные работы на месторождении Восточный Расвумчорр. АО «Северо-западная фосфорная компания» (СЗФК) эксплуатирует месторождение Олений Ручей и готовит к эксплуатации месторождение Партомчорр. Остаток балансовых запасов апатит-нефелиновых руд эксплуатирующихся месторождений составляет порядка 2 млрд т со средним содержанием P_2O_5 около 15% [55].

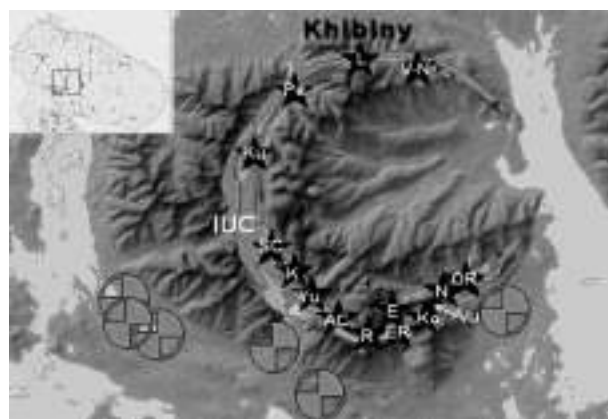


Рис. 5. Топографическая схема Хибинского массива с выделенной ийолит-уртитовой дугой (IUC) и обозначенными апатит-нефелиновыми месторождениями (звездочки): К – Кукисвумчорр; Ю – Юкспор; АС – Апатитовый Цирк; R – Расвучорр Плато; ER – Восточный Расвумчорр; E – Эвслогчорр; Ко – Коашва; Vu – Вуоннемйок; N – Ньоркпахк; OR – Олений Ручей; SC – Снежный Цирк; Ку – Куэльпор; Pa – Партомчорр – Лявочорр; V-N – Валепакх-Намуайв и хвостохранилища (круги) (по материалам Д. В. Жирова)

Месторождения различаются по морфологии, размерам, условиям залегания рудных тел и качеству слагающих их руд. Это могут быть простые, весьма значительные по размерам (100–200 м мощностью и протяженностью в несколько километров) пологопадающие пластовые апатит-нефелиновые залежи (месторождения Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр и др.), либо сложно построенные многоярусные рудные зоны,

образованные крутопадающими согласными рудными линзами или горизонтами брекчиевых руд (месторождения Коашва, Ньоркпахк, Олений ручей и др.).

Руды сложены главным образом апатитом, нефелином, эгирин-авгитом, титанитом и титаномагнетитом (табл. 1). Количество полевых шпатов, слюд и других минералов незначительно. Повсеместно распространенные апатит-нефелиновые руды обнаруживают пятнистую, пятнисто-полосчатую, линзовидно-полосчатую, крупно- и мелкоблоковую, массивную, сетчатую и брекчиевую текстуры [36].

Таблица 1

Состав основных минералого-технологических типов руд апатито-нефелиновых месторождений Хибин, мас. % [36]

Минералы	Типы руд					
	апатит-нефелиновый		апатит-сфеновый		гипергенно измененный	
	от	до	от	до	от	до
апатит	6.1	91.4	12.0	35.0	16.1	77.0
нефелин	18.2	67.5	19.7	41.5	8.7	44.5
полевой шпат	0.1	8.6	0	3.4	0.6	2.7
пироксены	5.5	25.7	3.7	26.7	0.9	11.8
амфибол	0	1.3	0.5	8.3	–	0.3
сфен	0.6	6.2	10.8	51.9	0.2	3.5
титаномагнетит	0.1	3.9	0.7	4.3	0.1	2.0
ильменит	0	0.3	0.2	3.8	0	0.3
гидроокислы железа	–	–	–	–	0.6	4.2
анатаз	–	–	–	–	0.4	1.2
монтмориллонит	–	–	–	–	0.5	6.0
гидрослюда	–	–	–	–	6.4	24.7

В действующий горно-промышленный комплекс АО «Апатиты» входит современная апатит-нефелиновая фабрика АНОФ-3 и ряд хвостохранилищ (рис. 6, 7).



Рис. 6. Апатит-нефелиновая фабрика (АНОФ-3) (фото автора)



Рис. 7. Хвостохранилище АО «Апатит» (фото автора)

Гигантское предприятие, дающее, можно сказать, опосредованно хлеб всей стране, имеет серьезные проблемы:

1. гигантские масштабы добычи приводят к истощению действующих карьеров;

2. строительство новых карьеров для добычи в таких объемах требует больших капитальных затрат;

3. за годы интенсивной эксплуатации хибинских месторождений закономерно снизилось и содержание в рудах апатита: в тридцатых годах содержание P_2O_5 превышало 30%, в настоящее время доходит до уровня бортовых содержаний 8–13%;

4. гигантские объемы добычи приводят к экологическим катастрофам – не исключаются искусственные землетрясения, которые уже были зафиксированы. Например, в верхних горизонтах старейшего подземного рудника горы Кукисвумчорр в 1989 году отмечено локальное землетрясение в 8 баллов по шкале Рихтера (данные лаборатории сейсмологии ГИ КНЦ РАН), в горных условиях отвалы карьеров представляют угрозу лавиноопасности.

Вторым по значимости промышленным типом являются комплексные апатит-магнетитовые с редкими металлами руды в фоскоритах и карбонатитах Ковдорского УЩК этой же палеозойской формации. В настоящее время эксплуатируется единственное Ковдорское бадделейт-апатит-магнетитовое месторождение, и еще несколько объектов находятся в резерве. Кроме того, апатит включен в подсчет запасов месторождения апатит-ильменит-титаномагнетитовых руд Гремяха-Вырмес в одноименном палеопротерозойском массиве габбро-перидотитов и щелочных пород. В Карелии перспективы добычи апатита связаны с карбонатитами Тикшеозерского массива [54].

Месторождение апатитовых руд Сиилинъярви

Начиная с 1980 года акционерная компания Kemira проводит операции на апатитовом руднике и фабрике минеральных удобрений в Сиилинъярви (Финляндия), расположенной приблизительно в 20 км к северу от г. Куопио (рис. 8). Генетически месторождение Сиилинъярви определяет УЩК. Комплекс образует грубо лентовидный субвертикальный интрузив протяженностью около 16 км и шириной до 1.5 км. Площадь выхода – 14.7 км². Он приурочен к пересечению диагональных (северо-запад – юго-восток) и меридиональных трещинных структур в окружающих гранито-гнейсах архейского возраста (2800 млн лет). Генеральное направление простирания – субмеридиональное. Формирование комплекса началось с интрузии глиммерита (флогопитовая порода с щелочным амфиболом – рихтеритом и апатитом, с участками, богатыми серпентинитом – антигоритом), которая сменилась интрузией сиенита вдоль контактов глиммерита с гранито-гнейсами. Собственно карбонатит с преобладанием севита интродировал на поздней стадии в глиммеритовое тело. В результате вытянутое ядро комплекса сложено серией пород смешанного состава, варьирующих от глиммерита до карбонатита, а по обе стороны от него находятся сиениты, образующие внешнюю зону комплекса. Фенитовые края вокруг комплекса развиты слабо. Контур промышленной апатитовой минерализации по существу совпадает с глиммерит-карбонатитовым ядром комплекса, имеющим площадь выхода около 4 км². На глубину рудная залежь разведана скважинами до нескольких сотен метров [27].



Рис. 8. Фрагмент карьера Сиилинъярви. Добыча апатитовой руды (фото автора, 2005 г.)



Рис. 9. Карбонатит с апатитовой рудой месторождение Сиилинъярви (фото автора)

В карбонатитах содержится до 10% апатита, до 65% флогопита, 12–14% кальцита, 4–6% доломита и 5% рихтерита (рис. 9). Возраст карбонатитов оценивается в 2580 млн лет [28]. Во время свекофеннского события 1.8 млрд лет назад комплекс испытал сильный метаморфизм, но большая часть пород комплекса показывает хорошо сохранившиеся изверженные текстуры, первичные магматические составы составляющих минералов и сохранение первичных изотопных составов, которые указывают на образование из мантийного источника, как отмечается Н.О’Вриен и другими [26].

С 1980 года выпуск апатитового концентрата достигает 0.65 млн т в год, а добыча руды до 9 млн т. Попутно на Сиилинъярви добывается 0.1 млн т известняка для агрохимии и немного флогопита. Весь получаемый апатитовый концентрат используется на фабрике минеральных удобрений, которая размещена рядом с рудником. Как побочный продукт производства фосфорной кислоты получают гипс путем очищения и обогащения. В настоящее время разработку месторождения ведет компания Kemira Agro, входящая в группу Oyjara International ASA.

Карбонатитовый комплекс Сокли

В финской Лапландии карбонатитовый комплекс Сокли был обнаружен в 1967 году на территории Салла-Савукоски при проведении аэрогеофизических работ. Среди пород массива Сокли выделены две главные разновидности: зона фенитов и массивные карбонатиты. Площадь овального карбонатитового тела составляет 18 км². Центральная часть сложена массивными карбонатитами, которые окружены

поясом неоднородных метакарбонатитов и интенсивно испытавших метасоматические преобразования породами. Магматические карбонатиты представлены фоскоритами и севитами, а метакарбонатиты – фоскориты и силикосевиты. Жилы щелочных лампрофиров завершают становление щелочного комплекса [29]. Массив включен в перспективный объект по добыче апатита.

Минералы группы силлиманита

В России запасы минералов группы силлиманита составляют 4 млрд т, а прогнозные ресурсы достигают 19 млрд т (рис. 10). По запасам и ресурсам руд минералов группы силлиманита Россия занимает первое место в мире [44]. В 30–60-е годы прошлого столетия были разведаны месторождения в Мурманской области, Республике Карелия, Сибири и на Урале.

Типичным примером глиноземистой (кианитовой) формации щитов и древних платформ (метаморфогенный, кейвский тип) являются кейвские кианитовые месторождения, которые

по своим масштабам несравнимы ни с одним из других известных в мире месторождений высокоглиноземистого сырья и по геологическим запасам превосходят все другие месторождения вместе взятые. Запасы кианитовых руд в Кейвах сосредоточены на наиболее крупных месторождениях – Воргельурта, Тавурта, Безымянное, Большой Ров, Ягельурта, Кайнурта, Червурта, Восточная Шуурурта, Шуурурта, Манюк и др. (рис. 11). Они связаны с кианитовыми сланцами нижнего продуктивного пласта пачки Б свиты кейв неоархея. Характерной особенностью пород являются темно-серый цвет, общая повышенная концентрация кианита и многообразие форм его развития. По составу и морфологическим типам кианита среди этих сланцев выделяются параморфические (с параморфозами кианита по хиастолиту), конкреционные, агрегатно-волоконистые (сноповидные, волоконистые, радиально-волоконистые), радиально-лучистые, призматически-зернистые, порфиробластические кианитовые и ставролит-кианитовые сланцы [44].

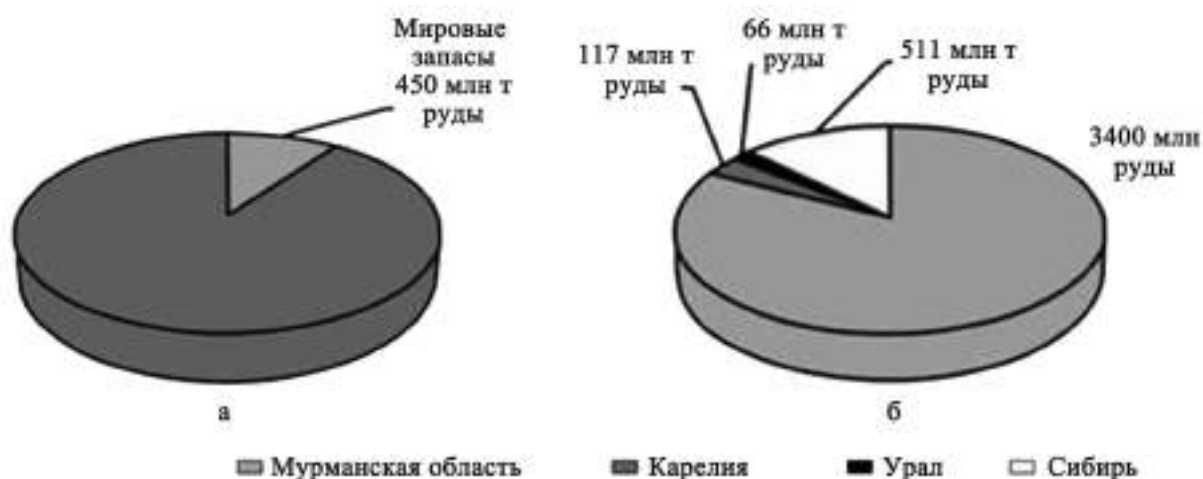


Рис. 10. Мировые запасы руд силлиманитовой группы мира (а) и России (б)

Общая протяженность выходов на поверхность продуктивного пласта кианитовых сланцев в северном и южном крыльях Кейвского синклинория достигает 420 км. В наиболее перспективных участках (общей протяженностью 37 км) мощность продуктивного пласта возрастает до 60–80 м, одновременно повышается содержание кианита в рудах до 35–40%. Такие зоны и приняты за месторождения. Минералогическое изучение кианитовых руд кейвских месторождений показало, что они не могут быть отнесены к категории богатых руд высокоглиноземистого сырья. Запасы кианитовых руд в месторожде-

ниях Кейвской группы Кольского п-ова оцениваются более чем в 2 млрд т, ресурсы – около 10 млрд т.

В Карелии продуктивные кианитовые руды сформированы в пределах Хизоваарской структуры архейского Северо-Карельского зелено-каменного пояса. К потенциальному и оцененному объекту относятся шесть залежей кианит-серицит-кварцевых, кианит-кварцевых сланцев и кианитовых кварцитов метаморфогенно-метасоматического типа месторождения «Южная линза». Общая вытянутость этих залежей в северо-восточном – восточном

направлении составляет расстояние до 900–950 м при мощности 80–100 м. Породы содержат 50–80% кварца, 10–49% кианита, 0–15% рудных минералов; второстепенными минералами

являются серицит и плагиоклаз. Как правило, линзообразные тела подобного типа находятся в ассоциации с игольчатыми кианитовыми рудами в пространственном положении.

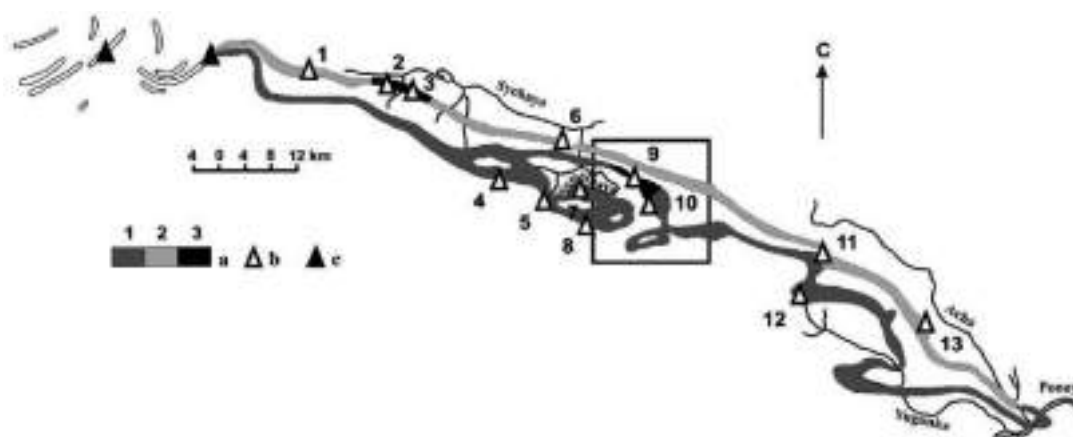


Рис. 11. Распределение главных месторождений кианита и силлиманита на Кейвах. По [32, 35]

а – типы руд в кианитовых и ставролитово-кианитовых сланцах пачки Б: волокнисто-игольчатые (1), параморфические (2), крупно-конкреционные (3); б – месторождения кианита; в – месторождения силлиманита. Месторождения: 1 – Воргельурта; 2 – Тавурта; 3 – Тяпышманюк; 4 – Червурта; 5 – Большой Ров; 6 – Безымянная; 7 – Кырпурта; 8 – Ягельурта; 9 – Новая Шуурурта; 10 – Восточная Шуурурта; 11 – Кайнурта; 12 – Нусса; 13 – Манюк

В Карело-Кольском регионе сосредоточено 99.4% балансовых запасов высокоглиноземистого сырья РФ, в том числе 83% – в восточной части Мурманской области в пределах Кейвской структурной зоны, где оценены и частично разведаны 23 месторождения кианитовых и 2 силлиманитовых руд. Разведанные запасы кианита в Кейвах в 1.5 раза превышают мировые, а прогнозные ресурсы составляют около 2 млрд т. Содержание кианита в сланцах составляет в среднем 31.9%.

Продуктивный пласт неогарейских кианитовых сланцев (древнейшее скопление глинозема осадочного происхождения) на территории центральных и восточных Кейв, в широком смысле, является единым «месторождением», а сами кианитовые сланцы представляют собой руду. Но продуктивный пласт на всем его протяжении неоднороден. В отдельных участках меняется его мощность, тектоническое строение, петрографический тип слагающих кианитовых сланцев, содержание в них кианита. Участки продуктивного пласта, более благоприятные по своим геологическим условиям, выделяются как собственно месторождения кианита, а в их пределах различные морфогенетические типы как кианитовые руды. Рудное тело имеет пластовую форму, протяженные выходы на дневную поверхность и пологое падение на глубину, что создает хорошие перспективы развития горных работ.

Инновационные подходы к технологии обогащения кианитовых руд данного объекта с использованием поцикловой трехстадиальной флотации сульфидов, слюды и кианита привели к получению кианитового продукта с содержанием 60% Al_2O_3 , 37.1% SiO_2 , 0.27% Fe_2O_3+FeO , 1.4% TiO_2 , 0.05% S. Основные пути использования конечных кианитовых продуктов Хизоваарского рудного поля – это огнеупоры, высокоточное литье (турбинные лопатки в авиационном моторостроении), санитарный и электрический фарфор, керамическая плитка, фильтры и т. п. [43]. Этот объект наиболее перспективен и подготовлен к освоению по критериям доступности недр.

В северной Швеции районе Шеллефтео известны перспективные проявления андалузитов, которые образовались в результате интенсивных изменений протерозойских супракрустальных пород (рис. 12, 13). Серицит-кварцевые и мусковит-серицитовые сланцы содержат 30–40% андалузита (андалузитовые кварциты). Минералогические исследования показали, что почти весь полевой шпат замещен слюдой. 33–57% породы состоит из чешуйчатого мусковита (0.05–0.5 мм) и кварца (0.1–0.3 мм). Теоретически могут быть достигнуты следующие показатели обогащения: Al_2O_3 52–60%, Fe_2O_3 0.8–1.2%.



Рис. 12. Рекламный щит на месте выходов кварцитов (фото автора)



Рис. 13. Шведский геолог А. Халберг знакомит с коренными выходами андузитовых кварцитов района Säter. Справа автор статьи

До 1993 года в Швеции разрабатывалось месторождение кианита Холсьоберг компанией Svenska Kyanite AB [12], но, не выдержав конкуренции на западном рынке со стороны американских производителей, разработка карьера приостановлена.

Минералы группы титана

Ильменит относится к одному из распространенных промышленных минералов группы титана и типичному промышленному минералу, образующему месторождения на Фенноскандинавском щите. В крупной анортозитовой провинции Рогаланд [5] размещены Tellnes, Blafjell и Storgangen Fe-Ti месторождения и зарегистрированные проявления [16]. Среди них, несомненно, ведущее значение на протяжении многих лет принадлежит ильменитовому месторождению магматической формации Tellnes, за счет которого по добыче титановой руды Норвегия стоит на одном из первых мест в мире. Месторождение приурочено к крупным дайкам норитов в анортозитах провинции Рогаланд в самой южной части Норвегии (рис. 14). Длина линзообразного рудного тела составляет 2.3 км. Содержание в руде TiO_2 – 18%, магнетита – 2%, сульфидов – 0.25%. Общие запасы перед разработкой месторождения составляли более 300 млн т. Схема обогащения руды достаточно сложная, для получения качественного ильменита требуется комбинация различных методов: магнитной сепарации, гравитации, несколько циклов флотации и выщелачивание. В выпускаемом ильменитовом концентрате содержится 44.5% TiO_2 (табл. 2).

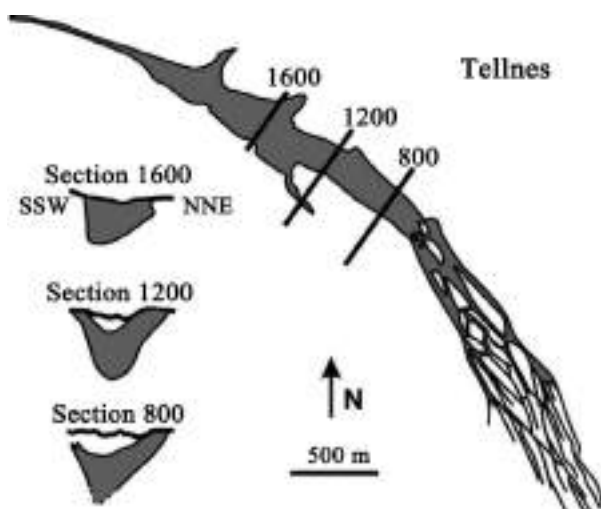


Рис. 14. План ильменитового тела на месторождении Теллес [5]

Таблица 2

**Химический состав (валовый) ильменитового концентрата,
полученного на месторождении Теллес, вес. %**

TiO ₂	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	V ₂ O ₅	MgO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	S сульф.	C
44–45	2–3.5	34.5–35.5	12–13	0.25–0.35	0.29–0.32	0.15–0.2	3.5–5.1	<0.003	<0.08	<0.25	<0.05

продолжение табл.

Ni	Cu	Co	Zn	Hg	Cd	Pb	U	Th
<200 ppm	<15 ppm	<200 ppm	<200 ppm	<0.01 ppm	<0.1 ppm	<5ppm	ppm<1	<2 ppm

Получаемый концентрат используется в нескольких направлениях:

- как сырьевой материал для производства титанового двуоксидного пигмента по технологии сульфатного процесса используется – 20 %;
- для получения титанового шлака в пигментную промышленность – 25 %;
- продается другим производителям пигмента в Европе – 55 %.

Помимо ильменита, продается побочный магнетитовый продукт производства для европейской угольной промышленности и сульфидные концентраты – для извлечения из них никеля и меди. В последнее время, в связи с переходом в пигментном производстве на хлоридный процесс, возникают экологические проблемы, что создает определенные трудности для развития ильменитового производства в Норвегии.

Компания Titania A/S входит в корпорацию Kronos Norge A/S. **Месторождение разрабатывается** открытым способом, добыча составляет 915 тыс. т руды в год, из которой производится титановый концентрат.

В Норвегии имеется целый ряд небольших месторождений, которые представляют эконо-

мический интерес в перспективе. Потенциал целой провинции анортозитов Рогаланд [6] считается значительным. Наиболее важное месторождение рутила связано с эклогитами, залегающими в различных частях Западной Норвегии [15, 17]. Эти месторождения присутствуют в обогащенных титаном габброидах докембрия, которые трансформировались в эклогиты при наложенном метаморфизме высоких давлений каледонского периода развития с переходом ильменита в рутил. Такие месторождения с относительно невысокими содержаниями рутила (2–6 %) встречаются нередко. Наиболее известное месторождение – это месторождение Енгебѳфеллет на северном берегу Фэрдфьорд в Согн ог Фьордане.

Nordic Mining ASA развивает проект Engebѳfjellet по добыче рутила. Планируются две стадии: первая стадия – открытая добыча; вторая стадия – подземная разработка. В рутилсодержащих эклогитах с запасами 154 млн т руды среднее содержание рутила составляет 3.8 %. Nordic Mining ASA планирует добывать 100 тыс. т рутила в год и 100 тыс. т гранатового концентрата (табл. 3).

Таблица 3

Состав рутилового концентрата Engebѳ, мас. %

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	S	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	U, ppm	Th, ppm
0.03–0.2	93–97	0.4–0.8	1.6–4.7	0.03–0.2	0.1–0.2	0.2–0.3	0.25	0.02	0.01	0.84	0.21

Магнезиальное сырье

В Фенноскандии были заложены основы по использованию оливина в качестве промышленного минерала. Заслуга принадлежит В. Гольдшмидту [11] в тот период, когда он был во главе Норвежского комитета по минеральному сырью (Statens Råstoffkomité). Добыча началась в дунитовой части массива Алмкловдален в 1948 г. Компания A/S Olivin производила до 4 млн т продукции для огнеупоров и минеральной ваты. В 2003 году этой компанией акции проданы компании North Cape Minerals,

основанной в 1993 г. в составе American Unimin Corp [14].

В 2008 году в Норвегии произведено 2.5 млн т оливиновой продукции, что составило 40 % всего мирового производства. Сейчас три из четырех горных предприятий приостановили свою деятельность в связи с уменьшением спроса на готовую продукцию. Действующий рудник принадлежит компании North Cape Minerals. Эта компания проводит добычу в западной части Норвегии, недалеко от Ахейма (Åheim), эксплуатируя дуниты Алмкловдален. 75 % продукции

используется в металлургии железа и стали для восстановителя шлаков, остальные в основном связаны с огнеупорными материалами. Запасы оливина Алмкловдален оцениваются в 2 млрд т горной массы [25]. Средний минеральный состав дунита: оливин 92%, пироксен и серпентин 5%, хлорит 1.5% и шпинель 1%. Состав оливина – 94% форстерита и 6% фаялита [14].

Общей чертой для всех месторождений является то, что они формируются во внутренних частях зональных метаморфических линз, более или менее устойчивых по составу, образованных в высокометаморфизованной области докембрийских пород Западного гнейсового района. Ультрамафические тела района Алмкловдален входят в состав полиметаморфического гнейсового комплекса юго-западной Норвегии. Они образуют конусообразные деформированные тела. Метаморфизованные ультрамафические тела представлены дунитами, гранатовыми лерцолитами и хлоритовыми гарцбургитами. Главный тип – это дунит гомогенного состава. На эти породы оказано влияние трех событий: свекофеннский цикл (1600–1800 млн лет), свеконорвежский цикл (900–1200 млн лет) и каледонский цикл (350–600 млн лет). Отмечено, что дуниты испытали продолжительные деформации в ретроградных Р-Т условиях метаморфизма, причиной которого были мантийные процессы условий фации гранатовых перидотитов через глубиннокоровые и в конечном итоге верхнекоровые условия амфиболитовой фации метаморфизма. Близкая ассоциация дунитов с рассланцованными гнейсами отражает тот факт, что дуниты связаны с глубинными разломами. Серпентинизация ограничивается в значительной степени только в контактовых зонах дунитов [3].

На территории Норвегии прогнозируются потенциальные перспективные проявления оливинсодержащих пород. Считается, что вероятность обнаружения их очень высокая, если принимать во внимание наличие большого количества линз в Каледонской горной цепи, где фиксируются благоприятные РТ-условия для метасоматических преобразований ультрамафитов [23]. Норвегия выступала значительным производителем металлического магния вплоть до 2001 г., что составляло 9% от мирового объема.

В Швеции в начале 30-х годов оливин использовался в производстве теплоустойчивых материалов. Небольшие объемы производились

для минеральных удобрений. Сегодня оливин применяется в огнеупорах. Большинство месторождений оливина сформировано в шведских каледонидах. В Ямтлэнде оливинсодержащие породы с красновато-желтой окраской на выветрелой поверхности разрабатывались с 1950-х до середины 80-х годов. Эти породы использовались в производстве огнеупорных кирпичей и плит для пола. В докембрийских образованиях на этой площади оливины не имеют широкого распространения. Только одно небольшое проявление в Пурну эксплуатировалось. В настоящее время не производится собственная продукция, но на нескольких объектах проводится пилотная добыча [56].

В восточной части Финляндии месторождения и проявления талькового камня и талька расположены в границах Карельского кратона Фенноскандинавского щита. По минеральному составу эти образования талька объединяются в две группы: апоультрамафитовый тальковый камень и апокарбонатный тальк (талькит). Апоультрамафитовый тип формируется в гранит-зеленокаменных областях мезо- и неоархея. В формациях архейского возраста отмечается около 100 проявлений тальковых сланцев и талькового камня в Финляндии [30, 56]. Большинство из них приурочены к архейским зеленокаменным поясам и протерозойским сланцевым комплексам.

Тальк-магнезитовые породы прошли многостадийный путь формирования. Существенное значение в формировании значимых месторождений талька играли события свекофеннского этапа активизации на рубеже 1900–1700 млн лет, когда существовали благоприятные структурные условия и размеры тел для образования тальковой руды высокого качества. В настоящее время выявлена общая последовательность формирования пород: серпентинит – тальк-магнезитовая порода – тальковый сланец – скарн – кварцевая порода – черный сланец – слюдяной сланец [21].

Minerals Oy (Mondo) из Нидерландов, дочерняя компания Advent International в США, имеет два действующих карьера в Соткамо и Вуонас. Группа Tulikivi является мировым лидером по производству талькового камня, а также ведущим производителем теплосберегающих каминов. В таблице 4 приводится таблица сравнительных характеристик талька двух марок Minerals Oy (Mondo).

Таблица 4

Сравнительные характеристики талька марок FINN talc 15 и FINN talc 20

Показатели	Мюфилл 15	Мюфилл 20
Состав минеральных веществ		
Тальк	>96 % Не содержит в видимых соотношениях асбеста или кварца	96 % Не содержит в видимых соотношениях асбеста или кварца
Химический состав		
MgO	31 %	31 %
SiO ₂	59 %	59 %
Al ₂ O ₃	0.6 %	0.6 %
Fe	1.6 %	1.6 %
Fe, HCl-растворимый	0.2 %	0.2 %
CO ₂	<1 %	1 %
H ₂ O ⁺	4.8 %	4.8 %
pH	9	9
Химические свойства		
Потери при прокаливании	6,0 % (Сан-П 40:80)	6,0 % (ДИН 51 081)
Растворимость в воде	0,1 % (Сан-П 48:83)	0,1 % (ДИН 53 197)
Физические свойства		
Плотность	2800 кг/м ³	2800 кг/м ³ (ДИН 53 193)
Твердость (по Моосу)	1	1
Абразивность (Еинлехнер АТ 1000)	6 мг	
Белизна	86 % (Елрепо, ИСО), 457 нм	88 % (ДИН 53 163)
Абсорбция масла	45 г/100г (АСТМ Д 281–31)	45 г/100г (ДИН 53–199)
Восприимчивость к загрязнениям	1 %	
Удельная площадь		6 м ² /г (ДИН 66 132)
Влажность		<0,2 %
Проводимость		0.05 мСсм ⁻¹ (ДИН 53 208)



Рис. 15. Стенка карьера на месторождении талька Лахнаслампи (близ города Соткамо) (фото автора)

На Кольском полуострове имеется целый ряд месторождений магнезиальносиликатных пород, вполне отвечающих требованиям для получения на их основе огнеупорных, строительных

и технических материалов – оливиниты Ковдора и Хабозера, дуниты Сопчеозера и Падос-тундры [42, 45]. Потребность в магнезиальных огнеупорах, огнеупорной и химически стойкой керамике, строительных материалах на внутреннем рынке России достаточно велика.

В Карелии к наиболее изученным месторождениям и проявлениям талька первого типа относятся Светлоозерское, Рыбозерское и Игнойльское месторождения. Общими чертами всех этих месторождений являются интрузии серпентинизированных дунитов и гарцбургитов покровного типа, в которых обнаруживаются крутопадающие обогащенные тальком рудные тела мощностью до 200 м. Вмещающими породами в большинстве случаев выступают серпентиниты и хлоритовые сланцы. К настоящему времени выявлено около 20 проявлений и месторождений талькового камня в центральных районах Карелии и на территории административного подчинения г. Костомукша [56].

Серпентиниты Карелии как тип промышленной породы изучены достаточно слабо, но геологические данные позволяют говорить о широком распространении данных пород, что может быть предметом минералого-технологических исследований. На Аганозерском месторождении хромовых руд выявлены две разновидности серпентинитов: серпентиниты по высокожелезистым и по высокомагнезиальным дунитам. Мощность по разрезу 540 и 410 м, соответственно. Кемиститы и серпентиниты богаты магнием (36–38%) и содержат незначительное количество примесей Al_2O_3 (0.1–0.5%) и CaO (0.24–0.5%) [58].

Карбонатные породы

Выпуск продукции из карбонатных пород в значительной степени связан со строительной индустрией и, в первую очередь, с производством цемента. Важной областью стало производство наполнителей с использованием карбонатных пород, что связано с получением микронизированного кальцита для бумажных покрытий и наполнителей, осажденного кальциевого карбоната (PCC) для пигментов и целый ряд других направлений использования. В 1986 году компания Партек получила права на технологию осаждения кальциевого карбоната и создала в 1989 году первую в Европе фабрику на Тервакоски. В настоящее время это направление получило развитие в скандинавских странах.

В Норвегии разрабатывается два типа месторождений: известняки низкотемпературных условий и мраморы, образованные в условиях высоких температур. Известняк обычно используется для получения цемента, в сельском хозяйстве и для осажденного кальциевого продукта, мрамор используется в значительной степени в бумажной промышленности.

Потенциал высокочистых месторождений кальцита в Норвегии очень большой: в центральной части страны, Мэре и Ромсдал в южной части Нордланда и южнее Тромса на севере. Минеральное сырье представлено относительно чистыми каледонскими кальцитовыми мраморами серого цвета с белизной 83%, но в более белых по цвету разновидностях белизна составляет 90%.

Доломиты ряда месторождений используются для получения наполнителей, производства магния, в стекольном производстве, а также в качестве удобрения. Высокая степень белизны (95%) делает доломит привлекательным для применения в различных направлениях промышленных производств. Дополнительно

молотый и гранулированный доломит используется в сельском хозяйстве.

Скандинавские страны и Финляндия обладают большим потенциалом карбонатных пород [1]. В настоящее время добыча карбонатных пород проводится в 18 карьерах и трех подземных выработках. Здесь разрабатываются месторождения различных геологических природных технологических типов. Общий годовой показатель составляет 11.5 млн т. Все это включено в единую цепочку компании Nordkalk Corp. (Rettig Group, 100%)

Полевой шпат

Одним из примеров старых разработок является рудник Иттербю (Швеция). С 1756 г. здесь находился карьер, в котором шла добыча кварца, поставлявшегося на север провинции Уппланд для нужд металлургии, а с конца 18 века была начата еще и добыча полевого шпата для обеспечения потребности в этом сырье знаменитых шведских фарфоровых фабрик Рёрстранд (Rörstrands Porslinsfabrik) и Густавсберг (Gustavsberg). В период с 1865 г. и вплоть до закрытия месторождения в 1933 г. было добыто 45 тыс. т кварца и 50 тыс. т полевого шпата, при этом глубина разработки достигла 170 м.

В Финляндии полевой шпат добывается компанией SP Minerals Oyj (бывшая Партек Индастриал Минералс) из двух месторождений пегматоидных гранитов палеопротерозойского возраста. Главное месторождение Кемио расположено на юго-западном морском побережье (табл. 5).

В Карело-Кольском регионе благодаря усилиям профессора П. А. Борисова была создана минерально-сырьевая база керамической промышленности. С частной конторой Чупинских разработок (Чургорн) связано начало промышленной добычи мусковита и полевошпатового сырья на основе сырьевой базы керамического сырья [57]. Впоследствии был организован трест «Союзслюдкомбинат» и началась добыча керамического сырья на месторождениях им. Чкалова, Попов Наволок, 8 Марта, Черная Салма, Кривое озеро, Хетоламбина, Панфилова Варака и др. в количестве до 40–60 тыс. т в год [34]. Здесь в 1932 году впервые в СССР при разведке пегматитовых жил было применено колонковое бурение.

К традиционным источникам полевошпатового сырья в Карело-Кольском регионе относятся керамические пегматиты. Это кусковой полевой шпат и пегматит южной части Мурманской области [48] (месторождения Куру-Ваара, Риколатва, Отрадное и др.), Северной Карелии и Северного

Приладожья, а также нетрадиционные – граниты рапакиви (Салминский массив, Питкярантский район), кварцевые порфиры (месторождение Роза-Лампи (Беломорский район), геллефлинта (Костомукшское железорудное месторождение, территория административного подчинения г. Костомукша), нефелиновые сиениты и щелочные граниты (Елетьозерский массив, Лоухский район) и сиениты (Элисенваарская группа массивов, Лахденпохский район). Если говорить о нетра-

диционном полевошпатовом сырье для Карелии, то в мировой практике подобные породы используются на протяжении нескольких лет [41; 57]. Данные комплексы имеют ряд преимуществ по сравнению с пегматитами, одним из которых является расширение областей использования конечных продуктов полевошпатового состава. Из всех перечисленных объектов добычные работы проводятся на месторождении керамических пегматитов Куру-Ваара.

Таблица 5

Состав выпускаемой продукции на фабрике по обогащению кварц-полевошпатового сырья Кемно (Финляндия)

Содержание, %	Полевой шпат								Кварц
	На стекло			На керамику					
	28 М			200 М		300 М			200 М
	FFF K6 ²⁾	FFF K8 ¹⁾	FFP	FFF K6 ²⁾	FFF K7 ³⁾	FFP	FFF K7 ³⁾	ALAVUS	200 М
Химический состав									
SiO ₂	67.5	66.2	77.0	68.0	67.0	77.0	67.0	72.0	98.0
Al ₂ O ₃	18.4	19.3	13.0	18.5	18.8	13.0	18.8	15.6	0.8
K ₂ O	6.4	8.2	4.1	6.5	7.5	4.1	7.5	7.4	0.13
Na ₂ O	5.9	4.8	4.5	5.8	5.2	4.5	5.2	4.0	0.2
CaO	0.8	1.3	0.5	0.8	0.9	0.5	0.9	0.3	0.04
Fe ₂ O ₃	0.11	0.1	0.09	0.1	0.12	0.09	0.12	0.06	0.025
MgO	0.01	0.1	0.10	0.02	0.02	0.10	0.02	0.05	45 ppm
P ₂ O ₅	0.13	0.12	0.05	0.12	0.14	0.05	0.14	0.08	30 ppm
Rb ₂ O	0.06	0.07	0.03	0.06	0.07	0.03	0.07	0.03	0.01
L.O.I.	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1
K ₂ O/Na ₂ O	1.1	1.7	0.9	1.1	1.4	0.9	1.4	1.9	
Физические свойства									
Удельный вес (г/см ³)	2.59	2.59	2.61	2.59	2.59	2.61	2.59	2.61	2.64
pH	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.8	5.8
Объемный вес (т/м ³)	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	1.0
Спек				белый	белый		белый	белый	
Минеральный состав, %									
Микроклин	37	48	25	37	44	25	44	43	
Плагиоклаз	51	41	39	51	45	39	45	34	4
Анортит	4	6	2	4	4	2	4	1	
Кварц	8	5	34	8	7	34	7	22	96

Примечание: Подчеркнутые значения регулярно анализируются количественным анализом, SiO₂ и Na₂O – подсчитанные значения. Данные по состоянию на 2001 г.

Нефелиновые сиениты месторождения Стьерноу

Горно-обогащительный комплекс по добыче и обогащению нефелиновых сиенитов месторождения Stjerneou (Стьерноу) расположен в северной части Норвегии. Нефелиновый сиенит имеет стабильный химический состав, сравнимый с составом полевых шпатов из пегматитов.

Нефелиновые сиениты Стьерноу залегают в центре щелочной магматической серии про-

винции Сейланд Каледонской горной цепочки. Серия состоит из габброидных плутонов, щелочных интрузий, ультрамафических комплексов, щелочных пород, карбонатитов и роев мафических даек.

В пространстве линза нефелиновых сиенитов имеет длину 1700 м с максимальной мощностью 300 м, глубина примерно 500 м, а запасы составляют около 300 млн т. Порода (нефелиновый сиенит) состоит из пертитового

калиевого полевого шпата с небольшим количеством пластинчатого альбита – 56 %, нефелина – 34 %. Последний явно наложенный, часто образует жилки. Главные компоненты нефелинового сиенита – полевой шпат и нефелин, которые находятся в пропорции 2:1. К второстепенным минералам относятся кальцит, клинопироксен, роговая обманка, биотит, титанит и магнетит.

Руда взрывается в подземной выработке, и извлекается крупными блоками (кусками). Для бурения, взрывных работ, погрузки и транспортировки используется современное оборудование. Исходная руда проходит серию операций по дроблению, сушке, просеиванию до максимального размера зерен 0.5 мм. Затем она последовательно подвергается обогащению.

Первая стадия проходит в сепараторах низкой магнитной интенсивности для отделения высоко магнитных минералов. В последующие стадии постепенно увеличиваются поля электромагнитной напряженности для того, чтобы слабомагнитные минералы извлекались. В технологическом процессе важным является то, что осуществляется 10 пересортичных операций до получения конечного концентрата с содержанием Fe_2O_3 до 0.10%, который классифицируется на два сорта – керамический и стекольный (табл. 6).

Для нефелинового концентрата характерно относительно раннее спекание с кварцем, лучшее качество, гомогенность и устойчивость условий, при которых проходят технологические процессы. Сокращается покупка более дорогого минерального сырья.

Таблица 6

Химический состав разновидностей готовой продукции из нефелиновых сиенитов (данные North Cape Minerals AS, 2000 г.)

Химические соединения и элементы	Состав разновидностей готовой продукции, %		
	Стекло	Керамика	Амбер
SiO ₂	57	57	56.5
Al ₂ O ₃	23.8	23.8	22.5
Fe ₂ O ₃	0.1	0.12	0.4
Ti O ₂	0.1		
CaO	1.3	1.1	2.5
Na ₂ O	7.9	7.8	7.5
K ₂ O	9.0	9.1	8.2
BaO	0.3	0.3	
SrO	0.3	0.3	
P ₂ O ₅	0.1		
F	<40 ppm	<40 ppm	<40 ppm
Cl (растворимый в воде)	<0.15 ppm	<18 ppm	
Cl (общий)	<100 ppm	<75 ppm	<100ppm
ппп	1.2		

В настоящее время владельцем предприятия является Sibelco Nordic Mine с годовой производительностью в 350 тыс. т. Это единственный производитель нефелинового сиенита в Норвегии и один из самых крупных производителей этой продукции в мире. Рудник Стьерноу содержит запасы более чем на 200 лет производства, ориентируясь на текущую производительность.

Волластонит

Партек Индастриал Минералс обладает карьером, где имеется волластонит, образованный в сильно метаморфизованных кальцитовых мраморах на Ихалайнен (юго-восточная Финляндия).

Состав волластонита по разновидностям приведен в таблице 7. Волластонитовый концентрат получается методами флотации и электромагнитной сепарации вместе с переработкой кальцитовых пород, из которых производят микронизированный кальцит для пигментов покрытия.

В течение 1990-х ежегодно выпускалось 27–29 тыс. т волластонита, из которых две трети экспортировалось. Волластонит, главным образом, используется в керамической промышленности, а также как металлургический порошок, наполнитель в красках, резине и пластиках.

Таблица 7

Химический состав волластонита месторождения Ихалайнен, мас. % [24]

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ппп	сумма
1	51.55	0.02	0.08	0.63	–	0.02	0.10	47.13	0.16	0.05	0.42	100.20
2	52.06	0.01	0.51	0.05	–	–	0.60	40.49	0.05	0.05	6.16	99.97

Кварц

Кварц высокой чистоты (HPQ), содержащий SiO₂ более 99.997%, применяется в производстве высокочистых наполнителей, металлического кремния, солнечных батарей и полупроводников и др. [7]. Основные области применения

кварца и продуктов его технологического передела приведены на рисунке 16. В настоящее время увеличиваются потребности различных отраслей промышленности («оборонной» и «гражданской» ориентации) в изделиях из этого сырья.

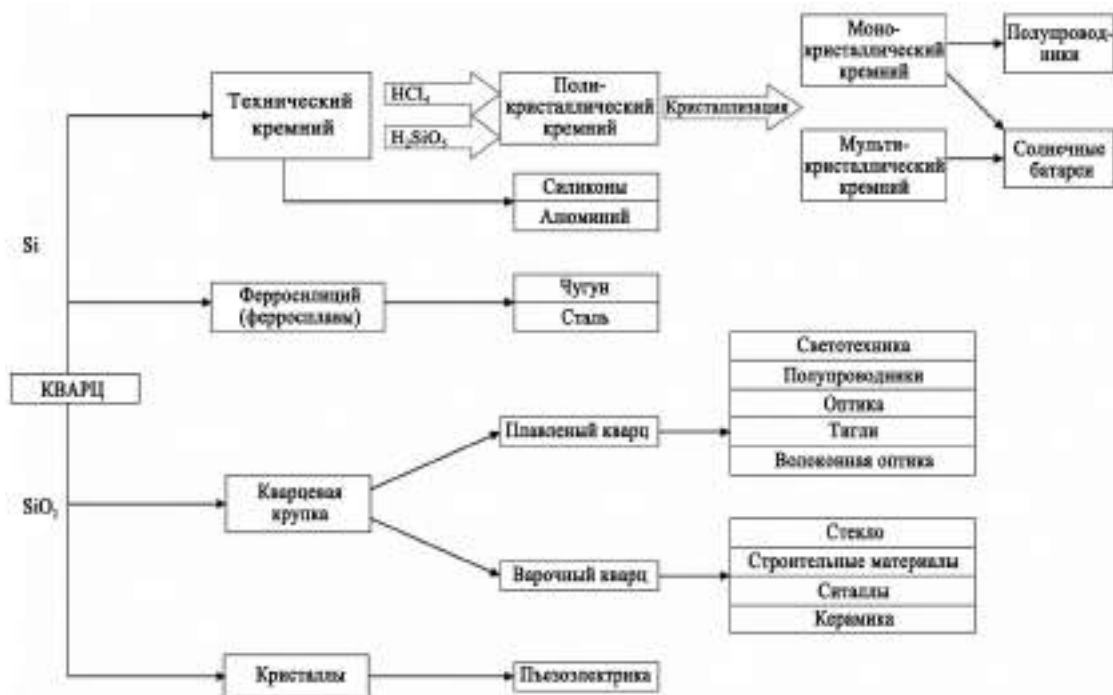


Рис. 16. Схема применения кварца и продуктов его технологического передела в промышленности

Проведенный анализ показал, что современную ситуацию на рынке высокочистого кварца (ВЧК) можно охарактеризовать как практически монополизированную компанией Unimin – ее доля составляет 80%. Вторым по значимости игроком на данном рынке является норвежско-американская корпорация The Quartz Corp. Norway-USA – 8%. Определенную роль в конкуренции производства ВЧК играют такие страны как Бразилия и Мадагаскар, поставляющие на рынок природный чистый кусковой кварц. В конце 2011 г. норвежская компания NS и американская Imegus (владеет кварцевым месторождением в Северной Каролине) объединились в кварцевую корпорацию (TQC). Консолидация активов американских и норвежских производителей приведет к еще боль-

шей монополизации рынка ВЧК. Китайские и российские производители выпускают соответственно 7% и 5%.

На территории Карело-Кольского региона в результате поисково-оценочных работ, проводившихся Институтом геологии КарНЦ РАН в предыдущие годы, выявлены новые кварценозные проявления, в том числе кварцевые жилы с гранулированным кварцем, сливные кварциты, были выделены перспективные зоны, районы, узлы (рис. 17). Проводившиеся работы по оценке кварцевого сырья были направлены на выявление геологических, минералого-петрографических особенностей кварцевых пород, а также проводилось предварительное и глубокое обогащение кварцевого сырья с получением кварцевых концентратов и оценкой их качества.

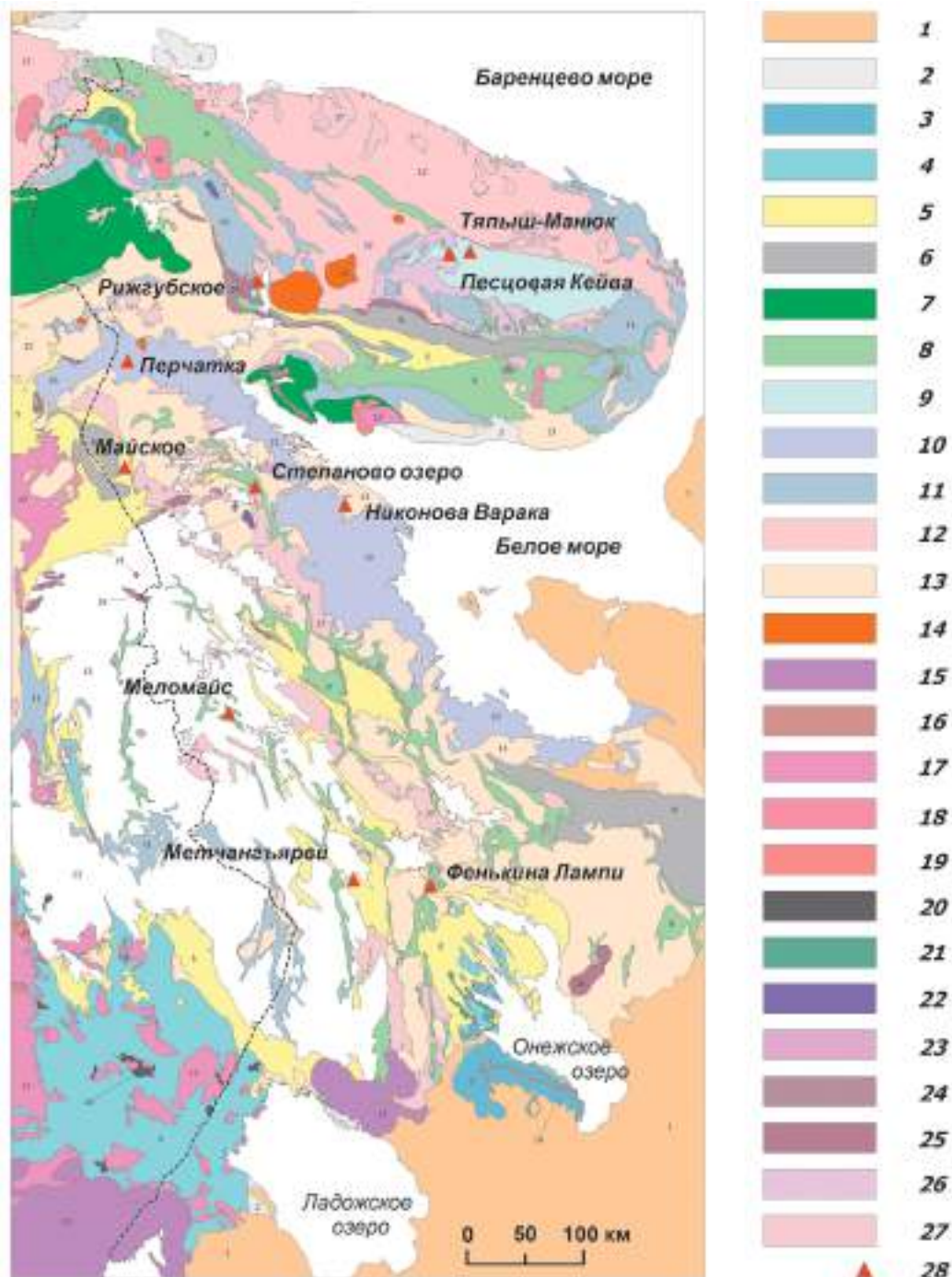


Рис. 17. Карта размещения перспективных проявлений промышленного кварца Карело-Кольского региона. Составители В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова, 2013. Использованы: Геологическая карта Кольского региона (редактор Ф. П. Митрофанов, Апатиты, 2001), Geological Map of the Fennoscandian Shield 1:2000000 GSF, GSN<GSS and SC Mineral, 2008

1 – объединенный венд и палеозой; 2 – рифей; 3 – вепись; 4 – калевий; 5 – ятулий-сарнолий нерасчлененные; 6 – сумий и сариолий нерасчлененные; 7 – Лапландская гранулитовая провинция; 8 – фрагменты разновозрастных зеленокаменных поясов; 9 – Кейвская провинция; 10 – Беломорская провинция; 11 – нестратифицированный кольско-беломорский комплекс; 12 – ТТГ кольский комплекс (архейский фундамент); 13 – ТТГ карельский комплекс (архейский фундамент); 14 – палеозойские щелочные интрузии; 15 – анортозит-рапакиви (1.7–1.5 млрд лет); 16 – габбродолериты (1.76 млрд лет); 17 – позднеорогенные граниты (1.84–1.81 млрд лет); 18 – граниты, гранодиориты, кварцевые монзониты и др. (1.96–1.84 млрд лет); 19 – граниты (1.95–1.91 млрд лет); 20 – перидотиты, пироксениты, габбро (1.96–1.91 млрд лет); 21 – толеитовые базальты, перидотиты, габбро, верлиты (1.97 млрд лет); 22 – щелочно-габбровые расслоенные интрузии с карбонатами (2.0–1.8 млрд лет); 23 – чарнокиты, гранодиориты, монзониты (2.4 млрд лет); 24 – анортозиты, габбро (2.5 млрд лет); 25 – расслоенные интрузивы основных и ультраосновных пород (2.5–2.4 млрд лет); 26 – граниты, гранодиориты, щелочные граниты, щелочные сиениты (2.6–2.5 млрд лет); 27 – граниты (2.7–2.85 млрд лет); 28 – крупные перспективные проявления кварца

В последние годы в теории и практике обогащения руд широкое развитие получили работы по *энергетическому воздействию* на минералы с целью направленного изменения их свойств. Обширный фактический материал по использованию методов направленного воздействия на минералы с целью изменения их свойств убедительно показывает эффективность этого направления. Целесообразность и перспективность данного направления для интенсификации и повышения эффективности процессов рудоподготовки и обогащения детально изучена на примере кварца различных генетических типов, как в России, так и за рубежом. Уникальные технологические разработки сотрудников ИГ КарНЦ РАН, ориентированные на обогащение природного кварцевого сырья и оценку его качества запатентованы и внесены в государственный реестр РФ [46, 47].

Анализ полученных на стадии поисков результатов геолого-технологического изучения нетрадиционных источников кварцевого сырья Карело-Кольского региона позволил выделить наиболее перспективные объекты.

В восточной Финляндии известны два кварцитовых месторождения – Кинахми и Вяртсила. Помимо главного минерала – кварца с содержанием 92–98%, в кварцитах присутствует серицит (2–8%) и каолинит, в качестве акцессорных отмечены кианит, турмалин, роговая обманка, гематит, рутил, циркон, плагиоклаз, микроклин, силлиманит, апатит, лазулит, пирофиллит, ксенотим, анатаз, актинолит, клинопироксен, гиперстен, гранат, сфен, ильменит, гетит и алунит. Их суммарное содержание не превышает 1%. В настоящее время разрабатывается месторождение Кинахми. Оно представлено мягкими и очень светлыми ортокварцитами палеопротерозоя. Структурно кварциты подразделены на три группы: мягкие, средне-твердые и твердые. Для первых двух групп характерны размеры зерен кварца 0.03–2 мм, размеры отдельных зерен достигают 5 мм. В твердых кварцитах зерна кварца более крупные. Качество мягких кварцитов почти всегда супервысокое. Обоганительная фабрика построена в 1976 году в Нильсия.

NFQ Nilsia Flotation Quartz – это торговая марка, производимого кварца из кварцитов Кинахми. Руда дробится, измельчается, гидроклассифицируется. Включения, подобные серициту и железосодержащим силикатам удаляются путем флотации. После флотации продукт очищается

от технологического железа в слабо магнитных сепараторах, а также извлекаются промывкой растворимые соли и химикаты. Титанистая примесь в кварцитах может регулироваться путем селективной горной добычи и уменьшаться при применении особых технологий очистки, чтобы достичь уровня низко титанистого кварцевого продукта. Трешиноватые формы частиц улучшают свойства растворимости ненужных примесей при мокром процессе и высоких температурах. Технология обогащения включает классификацию по 4 классам; мелкие фракции 0.6–0.2 и 0.2–0.03 мм обогащаются флотацией, удаляется серицит и акцессории после предварительной магнитной сепарации. Крупные фракции (более 0.6 мм) не обогащаются.

Месторождения-аналоги высококремнистых кварцитов в Карело-Кольском регионе (Метчангъярви, Рижгубское и др.) изучены на геологическом и минералого-технологическом уровне.

Мусковитовое сырье

Мусковит, как источник сырья для различных отраслей промышленности традиционно делился на листовую и мелкогабаритный (пластины площадью мене 4 см²). В Институте геологии КарНЦ РАН разработаны новые технологические решения по вовлечению промышленных отвалов мусковитовой добычи, наработанных в производство ГОКом «Карелслюда» на протяжении многолетней эксплуатации – это отвалы бывших слюдяных рудников «Малиновая Варакка», «Плотина», «Тэдино» и др. Оцененные запасы мусковита в отвалах составляют более 150 тыс. тонн.

В 1999 г. в Лоухском районе было выявлено перспективное проявление маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита в кварцитах «Межозерное» [41]. Руды этого объекта, благодаря низкому содержанию примеси железа и высоким технологическим характеристикам мусковита, стали привлекательным для инвесторов объектом, отнесенных к новому типу высококачественных промышленных минералов.

Флюорит

В настоящее время флюорит входит в группу критических минералов ЕС [33]. Примерно 40% мирового годового производства флюорита используется для получения HF, которая является предшественником почти всех других фторсодержащих веществ. Половина из них

используется в качестве хладагента и газов для кондиционирования воздуха, другие виды – это вспенивающие агенты, пропелленты, растворители широкого спектра. Часть рынка хладагентов переходит на нефторированные альтернативы, влияя на потребление флюорита в этом секторе. В 2012 году выручка от фторполимерной промышленности оценивалась в 5.8 млрд USD [26]. В металлургии флюорит используется для разжижения шлаков (флюсы), понижения температуры плавления металлов, в производстве электролитического алюминия; в керамике – для изготовления эмалей и глазурей. Прозрачные бесцветные разновидности кристаллов флюорита применяются в оптике, а кристаллы флюорита с примесями РЗЭ могут быть применены в квантовых генераторах света. Европа относится к числу главных импортеров флюорита.

Фенноскандинавский щит в минерагеническом отношении представляет собой потенциальную территорию на флюорит [26]. Наиболее интересными и многообещающими представляются проекты на флюорит, осуществляемые на европейском континенте в Норвегии и Швеции британской компанией Tertiary Minerals Plc. В частности, в Швеции ресурсы месторождения Storuman оценены по классификации JORC и составляют 27.8 млн т при среднем содержании флюорита 10.21%. Владельцем лицензионной площади является британская компания Tertiary Minerals Plc. Другой объект находится в Норвегии. Это сеть жил на месторождении Lassedalen с ресурсами 4 млн т при среднем содержании флюорита 29.0%.

На территории Республики Карелия отмечены проявления флюорита скарного, грейзенового, полиформационного, собственно гидротермального и гидротермально-метасоматического генезиса (кварц-флюоритовая формация). Рудный район Северного Приладожья имеет определенные перспективы, что связывается с Салминским массивом габбро-анортозит-рапакивигранитной формации (около 1550 млн лет), а именно, Салминско-Уксинско-Кительской рудной зоной оловянно-полиметаллического и редкометалльно-флюоритового оруденения [52].

Графит

Схема размещения основных графитовых месторождений Норвегии, Финляндии и Швеции приведена на рисунке 18. В Норвегии выделены четыре основные графитовые провинции – Senja,

Lofoten-Vesteralen, Hollandsfjord и Bamble [9]. В настоящее время в течение нескольких лет интенсивно проводятся геолокационные исследования с помощью EM, RAD и MAG по всем потенциальным графитовым провинциям страны.

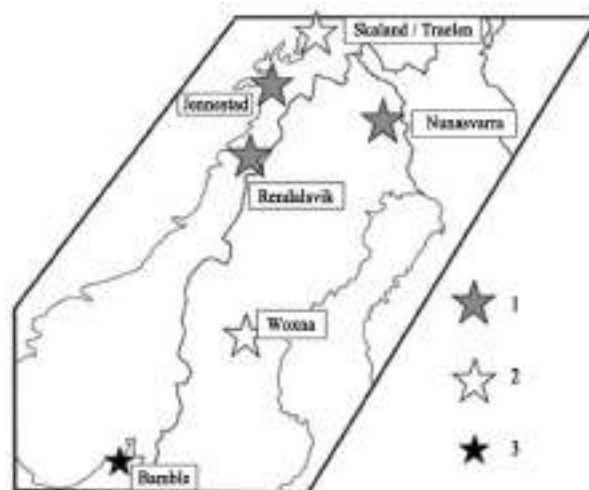


Рис. 18. Схема размещения главных графитовых месторождений Норвегии, Финляндии и Швеции (с использованием материалов [9])

На норвежском острове Сенья располагается шахтный графитовый рудник Skaland, крупнейший производитель природного графита в Европе. Здесь добывают графит с 1932 года. Skaland Graphite AS (LNS Group) производит графит высокого качества из высокометаморфизованных докембрийских графитовых сланцев. Графитсодержащие сланцы протягиваются на 600 м, площадь распространения имеет ширину 450 м. Руды слагают 8–10 субвертикальных пластиноподобных линз или “жил”. Линзы достигают длины 200 м мощностью 5–7 м, располагаются параллельно меридиональной сланцеватости с крутым падением на юг. Сланцы с грубочешуйчатым графитом содержат 16–36% углерода при среднем содержании 26%. Запасы составляют 480 000 т графитовой руды с содержанием 30% углерода. Готовый продукт обычно поставляется покупателям металлургической промышленности. Главная характеристика качества следующая: чешуйки >160 м, 90–95% углерода; порошок <100 м, 85–90% углерода.

На Лофотенско-Вестераленском архипелаге с помощью бортовой геофизики выявлен ряд аномалий ЭМ, которые были признаны новыми неизвестными графитовыми перспективами. В области Hollandsfjord, где находится заброшенный рудник Рендалсвик, также исследованы площади с помощью картографирования,

наземной и аэрогеофизики. На юге Норвегии (Bamble) имеются участки с супракристалльными породами с содержанием графита 2–6%.

Все норвежские графитовые проявления представляют собой образования с чешуйчатым графитом и встречаются в протерозойских супракристалльных породах, метаморфизованных в условиях высокой степени амфиболитовой или гранулитовой фаций. В ряде случаев зафиксировано высокое (>15%) содержание графитового углерода.

В Швеции разведка в районе рудника Крингель началась в 1980-х годах (рис. 19). В 1992 году Bergsstaten Anglo Grafite AB получила лицензию на добычу графитовой руды, которая проходила с 1996 по 2001 год. Вмещающими породами для графитовых руд месторождения Крингелграван являются метатиффиты с широким простиранием и падением на юг под углом 50–55°. Имелось 6 рудных тел в этом рудном районе. Руда в среднем содержала 11.6% графита. Бурение осуществлялось до глубины 80 м, запасы руды составляли 1.6 млн т крупночешуйчатого графита и 2.9 млн т тонкого и среднечешуйчатого графита. Предполагается, рудное тело залегает, по крайней мере, до глубины 500 м. В течение 1998 года компания увеличила выпуск продукции от 2500 т ежегодно до 12 000 т графита. В общей сложности добыто 254 000 т руды. Затем предприятие было продано в 2002 году и в 2011 году рудник был приобретен канадской компанией Flinders Resources (группа Tricon Mineral). С этим событием связано открытие фабрики Woxna (Woxna Graphite project) в центральной Швеции.



Рис. 19. Графитовый рудник Крингель, Швеция (материалы GSS)

С июля 2014 года использовалась хранившаяся руда от предыдущей добычи, а в течение 2015 года до июля 2015 года добыча осуществ-

лялась в новом карьере. Операции проходили с различной интенсивностью из-за низких цен. В настоящее время канадская компания Leading Edge Materials Corp. является владельцем лицензии, деятельность возобновлена.

В Карело-Кольском регионе известно несколько проявлений графитовых руд [55]. Скопления графитовых проявлений обнаружены в двух структурных зонах – Ладужской подвижной зоне и Северо-Карельской структуре. При этом в первой упомянутой зоне открыто более 30 проявлений различных типов графита, но практически все они имеют небольшие размеры. Выделены два типа промышленных графитовых руд: 1 тип – легкообогатимые руды явнокристаллического крупно-среднечешуйчатого графита; 2 тип – труднообогатимые руды скрытокристаллического (аморфного) графита.

Ихальское месторождение графита в Карелии приурочено к образованиям углеродистой сланцево-карбонат-толеито-базальтовой геологической формации раннего людиковия питкьярантской свиты сортавальской серии. Продуктивной является толща графитсодержащих кварц-биотитовых сланцев питкьярантской свиты, в составе которой в пределах Ихальского рудного поля выявлены сравнительно выдержанные по простиранию рудные залежи. Основная рудная залежь Ихальского месторождения представляет собой крутопадающее пластообразное тело, сложенное, главным образом, графитсодержащими биотитовыми сланцами и мигматитами по ним, вытянутое в субмеридиональном направлении, выклинивающееся на севере и на юге. Длина залежи по простиранию составляет 1700 м, мощность достигает 450 м. По падению залежь прослежена до глубины около 100 м и не имеет признаков разубоживания [40].

На участке Ихальского месторождения на поисково-оценочной стадии оценены запасы C_2 и прогнозны ресурсы P_1 . Запасы определены в трех подсчетных блоках в количестве 81.4 млн т руды до глубины 120 м при среднем содержании углерода 3.01% (бортное содержание графитного углерода 2%). Прогнозные ресурсы категории P оценены в 124 млн т до глубины 170 м при среднем содержании углерода 3.07%. Начатые работы по разведке в 2019 году приостановлены.

На Кольском полуострове представляют интерес месторождения крупночешуйчатого графита «Гора Скалистая» и Пестпакша.

Шунгиты

Шунгитовые породы – древние углеродсодержащие породы Карелии с возрастом порядка 2 млрд лет, не имеющие аналогов в геологической истории нашей Земли по форме проявлений и гигантским промышленным запасам. Они широко распространены в Заонежье. Прогнозные ресурсы более 4 млрд т углерода. Особый приоритет имеет Зажогинское рудное поле площадью 240 км² с двумя действующими карьерами (рис. 20). В чем

заключается уникальность этих пород? Они трактуются как природные углерод-минеральные композиты, содержащие шунгитовое вещество и широкий спектр микро- и наноминералов, образованных в палеопротерозое. Шунгитовое вещество представляет собой неграфитируемый фуллереноподобный углерод со структурой, подобной структуре стеклокристаллических материалов где высокодисперсные кристаллы распределены в некристаллической матрице [39].



Рис. 20. Действующие карьеры Зажогинского рудного поля: а – Зажогинский, б – Максковский

К настоящему времени показано, что шунгитовые породы, как нерудное полезное ископаемое, могут быть использованы в производстве ферросплавов, футеровки алюминиевых электролизеров и в литейных технологиях, а также являются эффективными адсорбентами для процессов водоподготовки, способными поглощать фенолы, гумины и нефтепродукты; материалы на их основе проявляют высокую каталитическую активность в процессах органического синтеза циклических углеводородов, разложения перекиси водорода, что важно для создания экологически чистых химических производств. Большой практический выход связан с их использованием в качестве активного наполнителя широкого класса композиционных материалов для придания им новых качеств: повышенной износостойкости, химической стойкости и электропроводности. Кроме того, были выявлены радиоэкранирующие свойства шунгитовых пород, что инициировало разработку технологии получения конструктивных материалов, обеспечивающих защиту.

Основные перспективы практического использования ценного сырья связаны с решением экологических проблем. Радиоэкранирующие материалы из него находят применение в здравоохранении. В Военно-медицинской академии (Санкт-Петербург), где построены две палаты для шунгитовой терапии, проходили лечение ликви-

даторы аварии на Чернобыльской АЭС, работники атомных станций и нефтеперерабатывающих заводов, больные с сердечно-сосудистой патологией. Адаптационный эффект электромагнитной депривации (изоляции) пациентов в шунгитовой палате проявляется в значительном сокращении сроков реабилитации после отравлений и острых заболеваний. Экранирование от электромагнитного смога активирует систему иммунной защиты. Такие лечебные комнаты построены в санаториях Петрозаводска, Пятигорска, Сочи, Нижнего Новгорода и других городах.

Шунгит, способный глубоко чистить воду от различных органических и некоторых неорганических веществ, активно внедряют в процесс подготовки питьевой воды. В г. Пушкино (Московская область) на этом материале работают фильтры городского водозабора. Широко используют его в бытовых приборах, фильтрах по очистке сточных вод от нефтепродуктов, в сельском хозяйстве как удобрение, повышающее урожайность и стойкость культур к заболеваниям. В последние годы пристальное внимание уделяется проблеме использования шунгитовых пород в качестве кормовых добавок в рационы птицы и животных [49]. В частности, включение шунгита в рацион кур-несушек способствует повышению яичной продуктивности, увеличению массы яиц

и толщины скорлупы, без отрицательного влияния на морфологические и биохимические показатели крови. Более того, выявлена способность шунгита компенсировать влияние некачественных, зараженных микотоксинами кормов за счет сорбции из них ряда токсинов, уменьшения фона плесневых грибов и условно-патогенных микроорганизмов, что в конечном итоге, способствует повышению сохранности животных и птицы, а также улучшению их продуктивных качеств [49].

Опыт широкого практического использования шунгитовых пород показывает деление на промышленные типы явно недостаточно. В частности, установлено, что шунгитовые породы ведут себя по-разному в металлургии, химической промышленности, строительстве, и пр., в зависимости не только от химического состава, но также структуры пород и углерода, что требует их разделения на подтипы или сорта.

В связи с этим возникает задача геолого-поисковых работ на шунгитовые породы – геолого-технологическое разделение шунгитовых пород на промышленные типы, связанная с выявлением характерных геологических критериев образования шунгитовых пород, в том числе, роли магматизма, при всестороннем анализе ядерного материала с применением современных методов исследования. В частности, с определением типа породы (массивная, брекчированная, и пр.), ее минералогического состава и строения (содержание углерода и породообразующих минералов, их размеры и распределение), а также, элементного состава породы и структурно-вещественных особенностей углеродистого вещества (шунгита) [38].

В целом, современный этап изучения шунгитовых пород Карелии и выявление перспектив их индустриального использования предполагается направить не столько на оценку запасов потенциальных месторождений и определение петрографических и структурно-химических особенностей шунгитовых пород, а скорее на выявление критериев и рекомендаций по использованию пород потенциальных месторождений в конкретных инновационных и наукоемких направлениях [18].

Проведенные геолого-поисковые работы на промышленные типы шунгитовых пород позволят создать классификацию геолого-промышленных типов шунгитовых пород, определить наиболее перспективные участки залегания шунгитовых пород под конкретные направления его использования. По сути, осуществление планируемых работ приведет к эффективному вложению затраченных средств в стоимость будущих месторождений и развитию инновационных подходов в использовании уникального углеродсодержащего сырья России.

Выводы

В статье с различной степенью оценки рассматриваются месторождения и крупные проявления промышленных минералов Фенноскандинавского щита. Конечно, нельзя сбрасывать со счетов крупнейшие в мире месторождения флогопита и вермикулита (Ковдорский массив), РЗЭ (Аллуйв, Ковдор, Сахарйок и др.), месторождения гранатовых руд (Большие Кейвы, Высота-181 и др.), каолины (Виртасалми), барита (Салланлатва) и др.

Существует перспектива для многих критических и потенциальных ресурсов промышленных минералов, однако:

- необходимы точнейшие данные по месторождениям, включая информацию о следовых содержаниях;
- доминирование рыночных предпочтений играет против стратегических интересов, особенно, когда одна страна или компания превалирует в мировом производстве;
- технологии и рынки чрезвычайно тесно связаны и изменяются для поиска и использования подходящих месторождений;
- стратегия и планирование в промышленных областях, технологиях обогащения и горном деле должны двигаться вместе;
- полезное ископаемое будет доступно, если решены вопросы геологии, горного дела, технологии передела, экономики и экологии.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahtola T., Gautneb H., Halberg A., Philippov N., Shchiptsov V., Voytekhovskiy Yu. Industrial minerals deposits of the Fennoscandian shield (the FODD project) // Материалы межд. научн. – практич. конференции:

Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений. Казань: ЗАО «Изд.дом «Казанская недвижимость», 2015. С. 3–6.

2. Boström R. Litium: esiintymät, tuotanto ja markkinat // Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet. Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki, 1988. P. 133–143.
3. Cordellier F., Bouldier F., Boullier A. M. Structural study of the peridotite Almklovdalen massif (Southern Norway) // *Tectonophysics*, 1981. 77. P. 257–281.
4. Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V. V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshezero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // *Cent. Eur. J. Geosci.* 3 (3). 2011. P. 302–308.
5. Diota H, Bolleb O., Lambert J. M., Launeau P., Duchesne J. – C. The Tellnes ilmenite deposit (Rogaland, South Norway): magnetic and petrofabric evidence for emplacement of a Ti-enriched noritic crystal mush in a fracture zone // *Journal of Structural Geology*, 2003. V. 25. P. 481–501.
6. Duchesne J. C. Fe-Ti deposits in Rogaland anorthosites (South Norway): geochemical characteristics and problems of interpretation // *Mineralium Deposita*, 1999. 34. P. 182–198.
7. Flook R. Silica & High purity quartz // *Industrial Minerals*, 2013. December. 2013. P. 25.
8. Gautneb H., Ahtola T., Berman T., Gonzales J., Halberg A., Litvinenko V., Shchiptsov V., Voytek-hovsky Y. Industrial minerals deposits map of the Fennoscandian shield // *Proceedings of the 12-th Biennial Meeting «Mineral deposit research for the high-tech world*. Uppsala. Print: Elanders Sverige AB, vol. 4, 2013. P. 1767–1769.
9. Gautneb H., Wanvik J. E., Rodionov A., Ofstad F., Stampolidis A., Tassis G. Graphite deposits in Norway: review // *32nd Nordic Winter Geological Meeting*, Helsinki, 2016.
10. Gavrilenko B. V., Zozulya D. R., Chickirov I. V. Diamond potential of Kola region // *Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia*. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk: IG KarRC RAS, 1999. P. 33–35.
11. Goldschmidt V. M. The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. The Seventh Hugo Müller Lecture delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937 // *Journal of the Chemical Society*, (2) 1937. P. 655–673.
12. Graesberg M. Swedish Kyanite a new source of alumina for refractories and ceramics // *71st Industrial Minerals» International Congress*. Monte Carlo, 1986. P. 77–86
13. Harben P., Bates R. *Industrial Minerals (geology and world deposits)*. – London: Industrial Minerals Division, Metal Bulletin Plc, 1990. 243 p.
14. Karlsen T. A. *Nordic Minerals Review*. Norway // *Industrial Minerals*, 1998. № 374. P. 67–77.
15. Korneliussen A. & Foslie G. Rutile-bearing eclogites in the Sunnfjord region of Western Norway. // *Norges geol. unders. Bull*, 1985. № 402. P. 65–71.
16. Korneliussen A., Amcenroe S., Nilsson L. P., Schiellerup H., Gautneb H., Meyer G., Sstørseth L. An overview of titanium deposits in Norway // *Norges geol. unders. Bull.*, 2000. № 436, 27 p.
17. Korneliussen A. Rutile associated with eclogites in Western Norway and scapolitized gabbros in Southern Norway // *Norges geol. unders. Bull.*, 1995. № 427. P. 12–115.
18. Kovalevsky V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential // S. Glagolev (ed.): *ICAM 2019. SPEES*, 2019. P. 201–204.
19. Kramm U., Kogarko L. N. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero agpaite centers, Kola Alkaline Province, Russia // *Lithos*, 1994. V.32. P. 33–44.
20. Kramm U., Kogarko L. N., Kononova V. A., Vartiainen H. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380–360 age range for all magmatism // *Lithos*, 1991. V. 30. P. 33–44.
21. Kuronen E., Tuokko I. Horsmanaho talc deposit // *Mineral deposits; research and exploration, where do they meet?*. Proc. Fourth Biennial SGA Meeting, Turku, Finland. Excursion guidebook. Geological Survey of Finland. Guide 42, 1997. P. 39–42.
22. Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. V. 81, 2009. P. 79–102.
23. Lindahl, I & Nilsson, L. P. Geology of the soapstone deposits of the Linnajavri area, Hamarøy, Nordland, north Norwegian Caledonides –Norway's largest reserves of soapstone // In Slagstad, T. (ed.) *Geology for Society*, Geological Survey of Norway Special Publication, 2008. V.11. P. 19–35.
24. Lundén E. Wollastoniitti. // *Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet*. / Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki. 1988. P. 61–65.
25. Malvik, T. & Moen, K. Industrial mineral producers in Norway. 33 IGC excursion No. 37, August 01–05, 2008.
26. Mchae M. T. Fluorspar. 2015 *Minerals Yearbook*. US Department of the Interior, USGS. May 2017. 26 p.
27. O'Brien H., Heilimo E., Heimo P. Archean Siilinjärvi Carbonatite Complex // In book: *Mineral deposits in Finland*. Publisher: Elsevier, 2015. P. 327–343.
28. Puustinen K. Geology of the Siilinjärvi carbonatite complex, Eastern Finland // *Bull. Comm. Géol. Finlande*, 1971. № 249. 43 p.
29. Vartiainen H. Soklin karbonaattikompleksin fosforiitti // *Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet* / Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki, 1988. P. 49–55.
30. Vesasalo A. Talc schists and soapstone occurrences of Finland // *Bull. Comm. Geol. Finlande.*, 1965. № 265. 75 p.
31. Арзамасцев А. А., Арзамасцева Л. В., Беляцкий Б. В. Щелочной вулканизм инициального этапа палеозойской тектоно-магматической активизации северо-востока Фенноскандии: геохимические особенности и петрологические следствия // *Петрология*, 1998. Т. 6, № 3. С. 316–336.
32. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.

33. Бойд Р. Потенциал ресурсов критических минералов Европейского Союза // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поиски, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость», 2015. С. 7–9 (на англ.)
34. Борисов П. А. Керамические пегматиты СССР и их заменители. М.: 1954. 270 с.
35. Войтеховский Ю. Л. Кианитовые сланцы Б. Кейв – стратегический ресурс России // Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010.
36. Дудкин О. Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. 134 с.
37. Иванова Т. Н., Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Поляков К. И. Ийолит-уртиты Хибинского массива. Л.: Наука, 1970. 180 с.
38. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы: горизонты научного поиска // Наука в России, 2013. № 6. С. 66–72.
39. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы – 50 лет научно-технологических исследований в Институте геологии // Геология Карелии от архея до наших дней. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 172–179.
40. Леонтьев А. Г., Михайлов В. П., Бискэ Н. С. Графит // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: издательство «Карелия». Книга 2. 2006. С. 40–47.
41. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / отв. ред. В. П. Михайлов, В. Н. Аминов. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. 356 с.
42. Морозова Т. А., Рухленко Е. Д., Ракаев А. И., Николаев А. И. Минералогическое исследование магний-силикатного сырья Хабозерского месторождения Кольского полуострова с целью получения на их основе огнеупорных, строительных и технических материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 141–143.
43. Морфогенетические типы и технология обогащения кианитовых руд / Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В. и др. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. 310 с.
44. Небокситовое алюминиевое сырье России // В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, Ю. Л. Войтеховский и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 229 с.
45. Оливины Кольского полуострова. I. Влияние условий залегания оливинитов на их качество / Н. Н. Гришин, В. Т. Калинин, Ф. Д. Ларичкин, Г. К. Горюнов // Инновационный потенциал кольской науки. Апатиты: 2005.
46. Патент № 2483024. Способ обогащения природного кварцевого сырья. Приоритет от 22 июня 2011 г. Авторы: Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Зарегистрировано в Государственном реестре Российской Федерации 27.05.2013. Заявитель ИГ КарНЦ РАН.
47. Патент № 2525681 Способ оценки качества кварцевого сырья. Приоритет от 11 декабря 2012 г. Авторы: Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Щипцов В. В., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Зарегистрировано в Государственном реестре Российской Федерации 23.06.2014. Заявитель ИГ КарНЦ РАН.
48. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
49. Применение сорбентов для профилактики нарушения обмена веществ и токсикозов животных: монография / Папуниди К. Х., Семёнов Э. И., Кадиков И. Р., Бикташев Р. У., Гагауллин Д. Х. Казань: ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», 2018. 224 с.
50. Устинов В. Н., Загайный А. К., Смит К. Б., Ушков В. В., Лазько Е. Е., Лукьянова Л. И., Лобкова Л. П. Раннепротерозойские алмазоносные кимберлиты Карелии и особенности их формирования // Геология и геофизика, 2009. Т. 50. № 9. С. 963–977.
51. Ушков В. В. Кимозерское проявление кимберлитов в Онежской структуре // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: 2001. С. 94–98.
52. Хазов Р. А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 192 с.
53. Щипцов В. В. Значение индустриальных минералов Карелии в областях промышленного производства // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: РИО КарНЦ РАН, 2001. № 3. С. 126–130.
54. Щипцов В. В. Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Скамницкая Л. С., Щипцова Н. И. Геолого-технологическая и экономическая оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 159–170.
55. Щипцов В. В. Войтеховский Ю. Л., Жиров Д. В., Нерадовский Ю. Н. Оценка месторождений промышленных минералов Карело-Кольского региона на современном этапе // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: мат. Всеросс. научн. конф. с межд. участием. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2017. С. 246–247.
56. Щипцов В. В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. Т. 15. С. 45–61.
57. Щипцов В. В. Промышленные минералы Карелии // Горный журнал, 2019. № 3. С. 16–20.
58. Щипцов В. В., Фролов П. В., Ильина В. П., Кевлич В. И. К технологической минералогии промышленных минералов Аганозерского блока Бураковского массива // Фундаментальные и прикладные аспекты технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 66–76.

ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ – НОВЫЙ ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ, БЛАГОРОДНЫХ, РЕДКИХ И ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ АЛМАЛЫКСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

*Турсебеков А. Х.¹, Шукуров Н. Э.¹, Шарипов Х. Т.²,
Алабергенов Р. Д.³, Зунунов А. Ч.¹, Шукуров Ш. Р.¹*

¹Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева Госкомгеологии РУз;

²ГУП «Фан ва тараккиет» при ТашГТУ;

³Центральная лаборатория Госкомгеологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В Алмалыкском горнорудном районе кроме запасов, выявленных для промышленного освоения и эксплуатируемых месторождений, имеются также и не традиционные ресурсы – отходы обогащения и металлургического передела медно-молибденовых, свинцово-цинковых и золоторудных месторождений.

Техногенные отходы (месторождения) горного, обогатительного и металлургического производства представлены отвальными материнскими первичными забалансовыми сульфидными

рудами и продуктами их окисления (балансовые, и забалансовые смешанные и окисленные руды), хвостами обогащения медно-молибденовых и свинцовых руд: шлаками; коками металлургического производства и др., которые заскладированы на ОАО Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (АГМК) [1–5].

Как видно из приведенных данных, объемы вторичного минерального сырья могут обеспечить производство АГМК на длительный период (табл. 1).

Таблица 1

**Авторский подсчет запасов цветных, благородных и редких металлов
в нетрадиционных техногенных месторождениях АГМК**

Показатель	В отвалах, т	Cu		Mo		Pb		Zn		S		Au		Ag		ЭПГ	
		%	т	г/т	т	%	т	%	т	%	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т
Отходы забалансовых первичных, окисленных, смешанных руд	177418000	0.4	709672	40	7090	0.035	62296	0.04	70967	1.5	2661270	0.7	124	3.0	531	0.12	21
Отвальные хвосты обогащения МОФ (хвостохранилища № 1, 2)	900000000	0.24	2160000	35	22500	0.03	270000	0.036	360000	2.48	22500000	0.3	270	2.7	2700	0.06	36
Отвальные хвосты обогащения СОФ	502400000	0.11	552000	5	2500	0.30	1207200	0.30	1207200	0.96	5024000	0.2	100.4	1.05	5292	0.03	15
Шлаки медеплавильного завода	12380000	2.0	247600	790	9904	0.41	4952	0.53	65614	2.18	294360	1.8	26	73	9037	0.18	2
Медный клинкер цинкового завода	110000	1.9	42000	150	165	1.2	13200	2.2	24200	9.6	110000	3.5	38	250	2700	0.8	1.1
Отвальные клинкеры цинкового завода	39533000	0.26	112985	5	167	0.4	133132	1.26	435930	4.0	1571320	0.4	15	26	1027	–	–
Отвалы забалансовых и балансовых окисленных и первичных свинцово-цинковых руд	49146000	–	–	–	–	0.88	182000	0.82	178000	8.0	3931680	–	–	–	–	–	–
Итого	2779817000		3724257		42326		1690650		2341910		36092630		573		21487		75
Показатель	В отвалах, т	Re		Se		Te		Cd		Bi		As		Sb		Tl	
		г/т	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т	г/т	т
Отходы забалансовых первичных, окисленных, смешанных руд	177418000	0.3	53	3.0	531	1.5	266	22.0	2087	4.0	709	300	53125	12.0	1403	1.5	266
Отвальные хвосты обогащения МОФ (хвостохранилища № 1, 2)	900000000	1.6	1260	4.0	3600	2.0	704	6.2	5400	3.0	2700	40	36000	11.0	9900	2.5	2250
Отвальные хвосты обогащения СОФ	502400000	0.1	50	3.5	1758	4.0	2009	25.0	1256	4.0	2009	40	20096	5.0	2512	1.0	50
Шлаки медеплавильного завода	12380000	0.012	1.4	2.5	29	1.3	16	17.5	206	3.0	37	800	9904	800	9904	1.0	12
Медный клинкер цинкового завода	110000	–	–	80	88	16.0	17	30.0	33	46	50	6500	7700	800	880	1.5	1
Итого	1693298000		1544		6006		3012		9802		5505		125825		24600		2580

Характерной особенностью данного вида сырья является его легкодоступность, все техногенные руды находятся на поверхности и залегают компактно и соответственно не требуют больших затрат на добычу; т. е. отпадает самый трудоемкий и дорогостоящий процесс – дезинтеграция и извлечение пород содержащие руды из монолитного массива (проходка буровзрывных скважин, взрывание и экскавация пород). Наличие в них высоких остаточных содержаний металлов и близость развитой инфраструктуры по добыче и переработке руд является весьма привлекательной.

Поэтому вовлечение в производство техногенных отходов имеет необходимую реальность. Общее количество неостребованных техногенных отходов на АГМК более 1 млрд тонн, которые занимают значительные площади.

В результате минералого-технологического картирования выше перечисленных объектов техногенных отходов, по профилям были отобраны сотни проб для изучения химического состава, распределения цветных, благородных, редких и др., а также токсичных металлов и форм их нахождения.

Для этого были использованы высокоразрешающие, локальные аналитические приборы нового поколения: ICP – масс-спектрометр Elan 6000 (Perkin Elmer, США); рентгено-флуоресцентный анализатор ES-2000R (Oxford Inst., Англия); электронный микроскоп с электронно-зондовым микроанализатором JXA-8800R «Superprobe».

В результате минералогических и аналитических исследований в техногенных отходах установлены значительные концентрации цветных, благородных, редких и токсичных металлов (табл. 2, 3).

Таблица 2

Среднее содержание элементов и их кларки концентраций в техногенных отходах медного и цинкового производства АГМК

Элемент, г/т	Кек цинкового завода	КК	Шлак медного производства	КК	Пыль горно-металлургического производства	КК	Кларк элемента, г/т
Fe	550000	11.1	51000	10.9	120000	2.5	46500
Cr	1000	12	389	4.7	155	2	83
Mn	13600	13.6	1900	1.9	1500	1.5	1000
Ti	30000	6.6	3678	0.8	6000	1.3	4500
V	140	1.7	2560	28.4	120	1.3	90
S	95800	204	21800	46	24000	51	470
Cu	23600	500	20200	430	1200	26	47
Mo	150	136	790	718	22	20	1.1
Zn	23700	273	5284	63.6	700	8.4	83
Pb	13300	831	4110	256	900	60	16
Ni	180	3.1	1050	18	85	1.4	58
Co	120	7.0	747	41	80	4.4	18
As	7000	3813	777	498	900	530	1.7
Sb	800	1600	763	1526	35	70	0.5
Au	3.5	804	4.34	1009	3.1	721	0.0043
Ag	588	841000	4.09	587	9.2	1300	0.007
ΣЭПГ	0.7	700	0.87	870	0.25	250	0.001
Re	0.08	46	0.017	24	0.08	114	0.0017
Se	80	1600	2.41	48	7.0	140	0.05
Te	16	2100	1.29	185	2.5	355	0.007
Cd	12	92	17.3	133	14	1080	0.013
In	2	9	4.9	20	0.40	2	0.25
Hg	17	204	0.59	7	5.0	60.2	0.083
Tl	–	–	0.61	0.6	2.0	2	1.0
Bi	30	4285	40	5714	4.3	477	0.007
Ga	99	5.2	8.16	0.4	13.6	0.7	19
Ge	–	–	1.98	1.4	2.0	1.5	1.4
W	67	32	17	13	61	47	1.3
Sn	180	72	37.3	15	28	11.2	2.5
ΣTR	205	1.2	220	1.4	2.25	1.4	168
Количество проб	250		350		50		

Примечание: КК – кларк концентраций; «–» – элемент не обнаружен; ΣЭПГ – сумма элементов платиновой группы; ΣTR – сумма редкоземельных элементов. Анализы выполнены в ИГиГ и Гохран РУз. Аналитик Е. Н. Игнатиков.

Техногенные отходы являются геохимической системой, где происходит рассеяние одних металлов и концентрация других, которое зависит от геохимических свойств металлов и свойств самой системы. Отсюда следует, что техногенные отходы являются геохимической системой, которая характеризуется определением уровня среднего содержания металла и может быть описана соответствующим кларком.

Местом скопления и концентрации элементов является геохимический концентр (ГК) – продукт механических, химических реакций и концентрацией элементов, образованный отработкой и переработкой первичных руд

и в дальнейшем в местах дислокации подверженные различными процессами выветривания и окисления, за счет атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод. За основу выделения берется расчетный кларк концентраций (КК). Эта величина отражает экономическое понятие и носит объективное научное представление о техногенных отходах.

Анализ расчетных данных (КК) для всех техногенных отходов показал, что они являются ГК, которые по содержанию металлов являются высококомплексными, где кроме основных цветных металлов, присутствуют благородные, редкие и токсичные металлы (табл. 2, 3).

Таблица 3

Среднее содержание элементов, их кларки концентраций в техногенных отходах переработки месторождения Кальмакыр

Элемент, г/т	1	КК	2	КК	3	КК	4	КК	Кларк элемента, г/т
Fe	65000	1.4	40000	8	55900	12	6330	13.9	46500
Cr	–	–	–	–	1600	80	2100	26.5	83
Mn	300	3.6	400	48	1000	1	1200	1.2	1000
Ti	5300	1.2	6700	1.5	4000	0.8	6000	1.1	4500
V	–	–	–	–	95	1.05	102	1.1	90
S	10000	21.3	15000	31.9	35800	78	47000	100	470
Cu	8000	170	4000	85	1600	34	2100	45	47
Mo	20	18	30	27	30	28	20	19	1.1
Zn	480	5..	500	6.2	7240	87	450	5.4	83
Pb	480	30	300	19	230	14	300	19	16
Ni	50	0.1	31	0.05	81	1.5	72	1.3	58
Co	61	3.1	40	2.2	101	6	81	4.5	18
As	50	30	400	235	68	40	60	35	1.7
Sb	23	46	54	108	634	1270	300	600	0.5
Au	1.2	280	0.5	117	0.21	50	0.5	121	0.0043
Ag	4.1	585	1.9	270	2.2	314	1.6	210	0.007
ΣЭПГ	0.12	120	0.14	140	0.118	118	0.18	180	0.001
Re	4	5287	4.5	143	0.3	428	0.1	143	0.0007
Se	3.3	60	3.5	70	3.1	62	7.5	150	0.05
Te	1	143	2	286	2.1	300	2.8	400	0.007
Cd	10	770	8	615	2.5	115	16	1246	0.013
In	4	16	4.3	17	2.0	8	5.0	20	0.25
Hg	–	–	–	–	1.0	12	1.9	23	0.083
Tl	–	–	–	–	1.0	1	1.9	1.9	1.0
Bi	–	–	–	–	8.5	1214	4.5	643	0.007
Ga	9	0.5	2.9	0.16	25	1.5	15	0.9	19
Ge	3	2	3	2	1.0	0.7	4.5	3	1.4
W	–	–	–	–	31	24	26	20	1.3
Sn	–	–	–	–	4.8	2	12.5	5	2.5
ΣTR	–	–	–	–	105	0.5	167	1	168
Количество проб	40		50		80		350		

Примечание: Руда окисленная: 1 – балансовая, 2 – забалансовая; 3 – руда первичная (забалансовая); 4 – хвосты обогащения; КК – кларк концентраций; «–» – элемент не обнаружен; ΣЭПГ – сумма элементов платиновой группы; ΣTR – сумма редкоземельных элементов. Анализы выполнены в ИГиГ и Гохран РУз. Аналитик Е. Н. Игнатиков.

Данный показатель указывает, какие металлы наиболее концентрированы в отдельно взятом ГК,

и какие являются экономически важными металлами для разработки технологии их извлечения.

В техногенных отходах (отвалах) содержится значительное количество забалансовых медно-молибденовых руд. Среди них выделяются первичные сульфидные (50–60%) и смешанные и окисленные руды (около 40%).

В первичных забалансовых рудах в среднем содержание меди (0.16%), золота (0.21 г/т), серебра (2.24 г/т), сумма платиноидов ΣЭПГ (0.3 г/т), рения (0.3 г/т), молибдена (30 г/т), в значительных количествах присутствуют Te, Se (табл. 2).

Среднее содержание меди в окисленных балансовых и забалансовых рудах составляет соответственно (0.8% и 0.4%), молибдена (20, 30 г/т), золота (1.2, 0.5 г/т), серебра (4.1, 1.9 г/т), рения (4, 4.5 г/т), ΣЭПГ (0.12, 0.14 г/т), присутствуют также в значительных количествах Se, Te, Cd (табл. 2).

Среднее содержание меди в хвостах обогащения медной обогатительной фабрике составляет (0.21%), молибдена (20 г/т), золота (0.5 г/т), серебра (1.6 г/т), ΣЭПГ (0.18 г/т), рения (0.1 г/т), в завышенных количествах присутствуют Se, Te, Cd, Bi, Jn (табл. 2).

Более перспективными по содержанию металлов являются отходы металлургического производства, особенно клинкеры (кеки) цинково завода и шлаки медного производства.

В клинкерах отмечается значительные концентрации меди в среднем (2.3%), молибдена (150 г/т), цинка (2.4%), свинца (1.3%), золота (3.5 г/т), серебра (588 г/т), ΣЭПГ (0.7 г/т), селена (80 г/т), теллура (16 г/т), кадмия (12 г/т), Bi (30 г/т) (табл. 3)

Кроме этих основных компонентов, в медных клинкерах установлены значительные концентрации железа, в среднем (55%). Форма нахождения – легко извлекаемые минералы (магнетит, гематит) (табл. 3).

В шлаках медного производства установлены значительные концентрации металлов, кото-

рые в среднем составляют меди (2.0%), молибдена (790 г/т), Fe (51%), цинка (0.52%), свинца (0.4%), Ni (0.10%), золота (4.3 г/т), серебра (4.1 г/т), ΣЭПГ (0.87 г/т), кадмий (17.3 г/т), Jn (4.9 г/т), Bi (40 г/т) (табл. 3).

В пылях металлургического производства присутствуют в значительных концентрациях железа (12%), сера (2.4%), меди (0.12%), золота (3.1 г/т), серебра (9.2 г/т), ΣЭПГ (0.25 г/т), Se (7 г/т), Cd (14 г/т), Bi (4.5 г/т) (табл. 2, 3).

Для вышеперечисленных металлов находящиеся в техногенных отходах АГМК вычислены (КК) которые указывают, что металлы в данных отходах концентрируются в сотни и тысяча раз (табл. 2, 3).

Для всех перечисленных металлов техногенных отходов АГМК установлены формы их нахождения: для меди халькопирит, борнит, халькозин, ковелин, куприт, азурит, Cu-пирит и др.; для молибдена – молибденат, молибдит, повелит и др.; для золота – самородное золото, теллуриды и селениды золота и др.; для серебра – самородное серебро, аргентит, селениды и теллуриды серебра, сульфосоли серебра; для платиноидов – меренскит; для рения – ReS₂, джезказганит, ReMoS₂; для свинца – галенит, церусит и др.; для цинка – сфалерит, слейтсонит и др.; для кадмия – гриконит; для висмута – висмутин, теллуриды и селениды висмута.

В таблице 1 приводятся материалы авторского подсчета запасов лидирующих промышленно ценных металлов Cu, Mo, Pb, Zn, S, Au, Ag, ΣЭПГ, Re, Se, Te, Cd, Bi, As, Sb, Tl.

В таблице 4 представлены материалы извлекаемые, перспективные для извлечения, установленные, но неизвлекаемые ассоциации ценных цветных, благородных, редких, радиоактивных и токсичных элементов в техногенных месторождениях АГМК.

Таблица 4

Извлекаемые, перспективные для извлечения, установленные, но не извлекаемые ассоциации цветных, благородных, редких и радиоактивных элементов из техногенных месторождений АГМК

Месторождение	Рудный компонент		
	извлекаемый	перспективный для извлечения	установленный, но не извлекаемый
Отвалы балансовых и забалансовых окисленных и первичных руд	–	<u>Cu</u> , Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ru, Os–187, Mo, <u>S</u> , <u>As</u> , <u>Sb</u> , Bi	Ni, Co, <u>Th</u> , U, TR, <u>Tl</u> , Ge, Ga, In, <u>Hg</u> , P, Zn, Fe
Хвосты обогащения СОФ и МОФ	–	Ag, Cu, <u>Bi</u> , <u>As</u> , <u>Sb</u> , Au, <u>Se</u> , <u>Te</u>	Ni, Co, <u>Tl</u> , Ga, In, TR, Fe
Кеки цинкового завода	–	<u>Cu</u> , Au, Ag, Mo, Re, <u>Cd</u> , <u>Se</u> , <u>Te</u> , <u>Zn</u> , <u>Pb</u> , Fe	In, <u>Ni</u> , <u>Co</u> , <u>Th</u> , <u>U</u> , Ga, Ge, TR, <u>Tl</u> , <u>In</u> , <u>Hg</u> , Bi, ΣЭПГ, ΣTR
Шлаки медного завода	частично Cu, Ag, Au	Fe, Mo, <u>Zn</u> , <u>Pb</u> , Se, Pt, Pd, Ru, Rh, <u>As</u> , <u>Sb</u> , Re, Cd, <u>Te</u> , <u>Bi</u>	TR, <u>Tl</u> , In, Ba, <u>U</u> , <u>Th</u> , <u>Co</u> , <u>Ni</u>
Пыли горно–металлургического производства	–	Au, Pd, Pt, Rh, Ru, <u>Cu</u> , <u>Hg</u> , <u>Bi</u> , <u>Se</u> , <u>Te</u>	<u>Zn</u> , <u>Pb</u> , <u>As</u> , <u>Sb</u> , Re, Mo, <u>Co</u> , <u>Ni</u> , Ga, Ge, <u>Cd</u> , <u>U</u> , <u>Th</u> , TR

Примечание: Подчеркиванием выделены токсичные элементы.

Полученные результаты исследований указывают на то, что техногенные отходы АГМК являются высококомплексными рудами и их можно

использовать как источник получения дополнительного количества металлов на АГМК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каширский С. А., Туресебеков А. Х. Сырьевая база Алмалыкского горнометаллургического комбината // Горный журнал, 1999. № 4. С. 1–5.

2. Туресебеков А. Х. Суперкрупные техногенные месторождения меди, благородных и редких металлов Алмалыкского рудного района (Узбекистан) // Геология и минеральные ресурсы, 2008. № 4. С. 30–35.

3. Туресебеков А. Х., Шарипов Х. Т. и др. Минералогия и геохимия высококомплексных техногенных отходов Узбекистана // Материалы всеросс. конф. «Минералы и минералообразование в природ-

ных и техногенных процессах». Уфа: Башкирская МО, 2009.

4. Туресебеков А. Х. и др. Технологическая минералогия месторождения Большой Кальмакыр. Т.: ГП «НИИМР», 2012. 107 с.

5. Туресебеков А. Х., Алабергенов Р. Д., Шарипов Х. Т. Клинкеры и шлаки цветной металлургии Узбекистана: минералогия и геохимия // Материалы междунар. конф. «Ресурсосбережения и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья». СПб., 2016. С. 441–443.

DOI: 10.17076/tm13_5

ПОЛУЧЕНИЕ КОНЕЧНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ПИРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ТРАДИЦИОННОМУ ОБОГАЩЕНИЮ

Мелентьев Г. Б.

ОИВТ РАН, Москва

Изыскания инновационных способов переработки минерального сырья, как природного, так и техногенного, в настоящее время приобретают особую актуальность в связи с назревшей необходимостью технического обновления в России базового сырьевого сектора экономики, который во всем мире и особенно в нашей стране представляет собой главный источник обеспечения материальных потребностей населения.

В нашей стране, с одной стороны, произошло естественное истощение запасов многих эксплуатируемых месторождений и значительное сокращение возможностей обнаружения новых, промышленно значимых, на дневной поверхности. С другой стороны, сформировался обширный резерв разведанных в СССР крупных рудных месторождений, остающихся десятилетиями (более 50 лет) невостребованными государством и бизнесом, в том числе – в связи со сложившейся технологической отсталостью в традиционных способах добычи, обогащения и переделов минерального сырья, не обеспечи-

вающих необходимую экономическую эффективность и экологичность производств.

За рубежом, в отличие от России, разрабатываются и внедряются *прямые способы глубокой переработки сырья*, включая такое объемное как железорудное, широко практикуется комплексное извлечение полезных компонентов как ручной рудоразборкой, так и высокотехнологичными способами с применением комбинированных и каскадных технологических схем, наконец, осуществляется экологизация рассматриваемых производств, в результате которой повышается их конкурентоспособность, а «отходы» в законодательном порядке оцениваются и используются как возобновляемое техногенное сырье.

С этих позиций наиболее перспективными представляются *термохимические инновации* в переработке рудного и нерудного, а также органоминерального сырья с извлечением особо ценных – редких, благородных и ряда цветных металлов, среди которых многие являются токсичными и даже – суперэкоотоксикантами (Be, Cd, Tl и др.). Необходимость устранения последних

как сопутствующих микрокомпонентов из традиционных процессов переработки сырья, обусловленная требованиями экологической безопасности производств, представляет собой сложную, нередко практически не решаемую задачу.

Выполненный нами ранее сравнительный анализ специфики гидрохимических и термодимических методов глубокой переработки различного минерального сырья, включая редкометалльные руды, концентраты и отходы обогащения, свидетельствует о целом ряде преимуществ термохимии – компактное оборудование, короткие схемы, отсутствие жидких сбросов, требующих нейтрализации, и т. д. [1]. В настоящей публикации рассматриваются и оцениваются с инновационных позиций перспективные направления в использовании термодимических методов применительно к задачам прямой переработки различных видов природного и техногенного сырья, содержащего особо ценные, прежде всего, редкие металлы и токсичные элементы-примеси.

Возрождение и развитие редкометалльных производств – стратегические задачи импортозамещения

В России в условиях почти 30-летнего «переходного периода» сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, невостребованность промышленностью разведанных месторождений редкометалльного сырья и накопленных техногенных образований, содержащих практически интересные содержания редких металлов. С другой стороны, очевидная обеспеченность запасами и ресурсами редкометалльного сырья, сопоставимыми по масштабам и, в меньшей степени, доступности и качеству с зарубежными эталонами. Как результат – сложившаяся в той или иной степени зависимость российских производств конечных редкометалльных продуктов (минеральных, химических, металлургических) от импорта. Исключением являются ванадий и германий, частично – тантал, ниобий, РЗМ цериевой группы. Наша страна в сравнении с ведущими промышленно-развитыми странами мира и, прежде всего, США и Японией, не обеспеченными многими видами собственного редкометалльного сырья, также превратилась в их импортера, несмотря на наличие необходимых запасов и ресурсов. В начале XXI века и IV мировой промышленной революции Россия потребляет в 5–10 раз

меньше, чем эти страны, Li, TR, Zr, в 10–15 раз меньше Ta и Sr, в сотни раз – Re, In, Hf, Sc и т. д. При мировом лидерстве в протяженности нефтегазопроводов потребление нашей страной феррониобия – главного легирующего компонента ТБД и других стальных конструкций, в десятки раз уступает в объемах его производства Бразилией, которая в течении 2-х десятилетий монополизировала его производство и экспорт. В настоящее время единственным эксплуатируемым месторождением Ta, Nb, TR, Ti в России остается Ловозеро, а их производителем – Соликамский металлургический завод (СМЗ), производства которых сравнительно с советским периодом сократились более чем в 2 раза и нуждаются в технической модернизации [2, 3].

Применительно к переработке минерального сырья промышленно-развитые зарубежные страны с начала 80-х годов прошлого столетия ориентируются на *прямые физико-химические способы*: пиро- и электрометаллургические, различные гидро- и электрохимические, биохимические. При этом практикуется их оптимальное *комбинирование* друг с другом и с предварительным обогащением природного сырья традиционными физико-механическими способами, которые достигли предела своих возможностей или оказались непригодными для труднообогатимых и бедных видов сырья. За рубежом налажено серийное производство необходимого обогачительно-передельного оборудования, как правило, в *модульном* и, в случае необходимости, *мобильном* исполнении, что позволило создать *сеть мини-заводов*, преобладающих не только в цветной, но и черной металлургии.

Соответственно, в дальнем и ближнем зарубежье созданы и развиваются крупнотоннажные производства редкометалльной продукции *полного технологического цикла* (добыча, обогащение, переделы) непосредственно в районах добычи исходного сырья: литиевой – из сподуменовых пегматитов в Канаде, США, Зимбабве, Австралии, Китае и из рапы – в Чили, Боливии, Аргентине; редкоземельной – в Китае; феррониобиевой – в Бразилии, Китае, Канаде и т. д. Широко практикуется получение сопутствующей особо ценной редкометалльной продукции: цезия и рубидия из литиевого сырья (минеральные и химические концентраты), тантала из шлаков оловоплавильных заводов, рения – из меднорудного сырья и т. д.

Приоритеты термо- и пирохимических инноваций в получении конечной редкометалльной продукции из «упорного» и нетрадиционного сырья

Многолетние авторские минералого-геохимические и экспериментальные физико-химические исследования свидетельствуют о преимуществах технологических способов и схем получения из различных видов редкометалльно специализированного сырья в качестве *конечных продуктов* не минеральной, а *химической* и металлургической продукции. Эта концепция и результаты поисковых технологических изысканий позволяет ориентироваться при переработке минерального сырья, не поддающегося обогащению традиционными методами, и особенно техногенных образований, как правило, тонкодисперсных и обогащенных особо ценными и токсичными микрокомпонентами, на применение физико-химических методов. Среди последних предпочтительными представляются термо- и пирохимические, обладающие относительно гидрохимических целым рядом преимуществ глубокой переработки «упорного» сырья: компактностью оборудования и технологических схем, отсутствием объемных жидких сбросов, требующих нейтрализации, и т. д.

Как известно, для пирометаллургических производств характерно селективное накопление и распределение рассеянных редких металлов (Re, In, Ge, Bi и др.) и экологически лимитируемых компонентов (As, Cd, Hg, Pb, Tl и др.) в различных промпродуктах и отходах передельных производств в количествах, достаточных для их извлечения на предприятиях цветной металлургии: *рения* – до 15–300 мг/м³ в растворах газоочистки при обжиге медных концентратов и 500 г/т – в пылях свинцового производства, *германия* – до 1–5 кг/т в пылях медеплавильных и кеках цинковых производств, *индия* – до 90–500 г/м³ в растворах и 1–2 кг/т в осадках при гидрометаллургической переработке пылей и возгонов цинка и свинца; *кадмия* – до 20–50 кг/т в пылях свинцового и медного производств; *таллия* – до 100–600 г/м³ в растворах выщелачивания пылей агломерации, плавки и фьюмингования свинцового производства и до 50–70 кг/т в дроссах рафинирования черного кадмия и т. д.

В настоящем докладе рассматриваются и оцениваются с инновационных позиций 3 перспективных направления в использовании термо- и пирохимических методов применительно

к задачам прямой переработки различных видов природного и техногенного сырья, содержащего особо ценные, прежде всего, редкие металлы и токсичные элементы-примеси.

1. *Ликвационная плавка* рудной шихты, флюсованной избыточными компонентами, обеспечивающая избирательное концентрирование в несмешивающихся жидких фазах (слоях) расплавов наиболее ценных профилирующих и сопутствующих компонентов с одновременным устранением лимитируемых. С 80-х годов прошлого столетия в ИМГРЭ, ГИГХСе и ОИВТ РАН экспериментально доказана эффективность применения ликвационной плавки в решении следующих технологических задач: 1) разделения на фосфатные и силикатные несмешивающиеся фазы (слои) плава апатито-нефелиновых руд с соответствующим избирательным распределением и концентрированием в них редких земель, стронция и естественных радионуклидов; 2) извлечения титана и ванадия из коллективных эгириново-сфено-титаномагнетитовых концентратов тех же руд; 3) доизвлечения вольфрама из отходов обогащения вольфрамитовых руд с попутным извлечением в сосуществующие жидкие фазы (слои) Ta и Nb, Bi и Ag; 4) избирательного извлечения в несмешивающиеся жидкие фазы (слои) ниобия и фосфора из коры выветривания карбонатитов; 5) то же – ниобия и редких земель с фосфором и радионуклидами из кор выветривания карбонатитов (рис. 1) [4–8].

В последнем случае полученные результаты рекомендуется использовать в процессе создания промышленной технологии глубокой переработки разведанных на СЗ Республики Саха-Якутия высококомплексных и богатых руд Томтора. Эти руды, согласно результатам проведенных различными институтами многочисленных лабораторно-технологических исследований, не обогащаются традиционными методами, но в то же время характеризуются аномально высокими содержаниями средне-тяжелых РЗМ, ниобия и скандия, что позволяет оценивать их как особо ценные *природные концентраты* редких металлов. Гидрометаллургическая схема глубокой переработки руды, принятая за базовую на стадии подсчета запасов, вызывает много вопросов относительно перспектив ее промышленного использования, т. к. предполагает сушку коровой руды на месте ее добычи в условиях сезонной обводненности месторождения, сложную и затратную схему ее транспортировки

на перерабатывающее предприятие (ХМЗ), которое еще предстоит построить на юге Сибири, и, наконец, необходимость создания систем обращения с промстоками на руднике и ХМЗ, включающих технологии их обезвреживания и использования. С использованием технологической схемы, включающей ликвационную плавку и разрабатываемой в ОИВТ РАН, могут быть решены следующие актуальные

задачи: 1) переработка добываемого сырья на месте с получением плавящихся концентратов; 2) исключение необходимости обращения с промстоками, неизбежными при гидрометаллургической переработке руды; 3) использование воздушного транспорта для доставки компактных редкометалльных промпродуктов на предприятие-производитель конечной химико-металлургической продукции.



Рис. 1. Продукты расслоения расплава редкометалльно-редкоземельной охристой руды Томтора на несмешивающиеся жидкие фазы: а – макро-расслоение в тигле: верхний – железисто-силикатный слой с ниобием, нижний – солевой с редкими землями; б – сфероиды солевого расплава (светлые) в железисто-силикатном; в-сфероиды железисто-силикатные (темные) в раскристаллизованном солевом расплаве; г – кристаллы фторидо-фосфатов в закаленном расплаве [8]

Механизм ликвационной плавки в перспективе рассматривается автором как ключевой в создании геотехнологических систем дистанционно-подземной добычи рудного сырья и имитационно-металлургических при выводе продуктивных магм на дневную поверхность.

Брикетирование природного топливно-энергетического (торфа, угля, нефтекокса), «бедного» металлорудного сырья, а также соответствующих техногенных образований при их глубокой переработке оценивается с современных позиций полного технологического цикла как механо-термохимический метод предварительного обогащения. Кроме бедного и дисперсного сырья черной металлургии (Fe, Cr, Mn), включая шламы, пыль, окалину, пиритные огарки и другие отходы производства, брикетирование может использоваться и в цветной металлургии не только в целях обогащения особо ценными профилирующими металлами, но и для удаления из шихты технологически и экологически лимитируемых компонентов. Приготовление брикетируемой в восстановительных условиях шихты-агломерата включает

приготовление смеси рудных концентратов, флюсов и твердого топлива (например, коксовой мелочи – до 6–7% масс.).

В качестве примера может рассматриваться детально изученный механизм брикетирования титаномагнетитового сырья в целях выделения расплавленных обособлений (корольков) и слитков железа в титановом шлаке в процессе твердожидкофазного восстановления рудугольных брикетов [9]. Необходимость разделения железа и титана обусловлена лимитируемым при доменной плавке содержанием в железорудной шихте оксидов титана до 1–2%. При более высоких содержаниях оксиды титана восстанавливаются с образованием *карбидов*, которые образуют с металлом и шлаком «гренали» – неплавкие массы, нарушающие доменный процесс.

Восстановление титаново-железорудных брикетов осуществляется на непроницаемом углеродистом поде газоплазменной печи с использованием в качестве восстановителя некоксуемых углей. Целевые продукты брикетирования представлены гранулами чугуна (от 60% общего

железа в титаномагнетите), в то время как шлаки формируются пустой породой, флюсами (известняком) и связующими. При температурах 1200–1450 °С на 10–12 минуте восстановления брикетов последовательно образуются корольки металла, вплоть до слияния в монометалльную каплю (слиток) в центре шлакового кольца с содержанием 18% TiO_2 (рис. 2). При извлечении железа в целевой продукт 96–98% и титана до 0,04–0,06% в металле происходит накопление сопутствующего ванадия до 0,28% при извлечении 80% [9]. Таким образом, изученный концентрат титаномагнетита и рафинированный от титана плав железа представляют собой товарные продукты, причем последний – легируемый ванадием.



Рис. 2. Продукты восстановления рудоугольных титаномагнетитовых брикетов (2,2% TiO_2): в центре – плав железа, обособленный в титановом шлаке. Видеокادر тепловизора Pyrovision M900 фирмы Micron, США [10]

Брикетирование рудного сырья и отходов его переработки является эффективным и даже единственно верным решением проблемы расширения ассортимента вовлекаемых в металлургическую переработку ресурсов, повышения качества конечной металлопродукции и внедрения техноэкологических инноваций. Процессы агломерации и производства окатышей в свое время вытеснили первоначально принятые в черной металлургии способы окускования и брикетирования железорудной мелочи. Однако, в последние годы процесс брикетирования реабилитируется и получает развитие как в черной, так и цветной металлургии благодаря расширению фронта физико-химических поисковых НИР и НИОКР, а также совершенствованию высоко-

производительного прессового оборудования. Эффективность брикетирования обусловлена безобжиговым способом окускования рудного материала, возможностями получения брикетов любого состава с заданными технологическими свойствами, невысокими температурами процесса и отсутствием отходов, т. е. большей экологичностью сравнительно с традиционными металлургическими способами подготовки шихты и переработки рудного сырья. Большое технологико-экономическое значение имеет также существенное расширение сырьевой базы металлургии за счет вовлечения в процессы брикетирования неиспользуемого природного сырья и техногенных ресурсов: 1) сидеритовых руд Бакальского (с запасами 1 млрд т) и других месторождений, при переработке которых обжигово-магнитным способом получают высококачественный концентрат (50% железа), полностью разрушаемый при транспортировке с образованием пылевидной фракции; исследованиями фирмы «Феррокс» (Екатеринбург) и ЧелябинНИИМ'а доказана возможность устранения этого недостатка брикетированием исходного сырья; 2) охристых бурых железняков Халиловского, Алапаевского, Зигазино-Комаровского месторождений на Урале и Тульского, Липецкого в ЦФО, которые практически не используются в связи с затруднениями их рудоподготовки агломерацией и окатыванием; их запасы в спецотвалах достигают 20 млн т, а возможности промышленного использования также связаны с брикетированием; 3) за счет ввода в состав брикетов углеродсодержащих материалов, согласно исследованиям ИГМ (Украина), обеспечивается экономия кокса до 300–350 кг/т выплаваемого чугуна и повышение производительности на 25–30%; такие брикеты могут эффективно использоваться при выплавке стали в электродуговых печах вместо чугуна и металлолома; 4) железосодержащих отходов металлургических производств – пылей и шламов газоочисток доменных и сталеплавильных цехов, железной окалины передельных заводов и т. д.

Разработки Магнитогорского ТГУ свидетельствуют о возможностях и перспективах «холодного» (низкотемпературного) прессования брикетов с использованием в качестве связующих извести и отходов коксофтехимии. Эта технология с использованием штемпельных и вальцевых прессов позволяет брикетировать некондиционную рудную мелочь и концентраты, порошки, пыли и шламы газоочистки,

угольную и коксовую мелочь при получении шихтовых брикетов для производства чугуна, стали и ферросплавов. Брикеты отличаются повышенной открытой пористостью порядка 30% вместо 17% у агломерата, 20% – железной руды и 25% – у окатышей. Они влаго- и термостойки как в окислительной, так и восстановительной среде, не разрушаются при $T=500-600$ °С. Вальцевые прессы отечественного производства изготавливаются на уральских заводах.

Очевидно, что процессы брикетирования не ограничиваются механо- и термообработкой исходного сырья и могут получить развитие в сфере более глубокого физико-химического (пиролизного, плазменного и др.) воздействия на шихту. Это открывает новые возможности получения композитных материалов с заранее заданными свойствами и, соответственно, новые перспективы развития техноэкологии, технологической минералогии и материаловедения.

2. *Плазмохимические методы* прямого восстановления железа из железорудного сырья с получением традиционной металлопродукции – чугуна и стали, ферросплавов и соединений тугоплавких редких металлов, активирования рудных растворов, обеспечивающего извлечение из них благородных и цветных металлов, термодготовки традиционного твердого топлива для повышения эффективности углесжигания и переработки альтернативного энергохимического сырья с извлечением редких металлов.

Плазмохимические методы в переработке сырья получили развитие в конце 50-х – начале 60-х годов в связи с разработками в СССР, США, Японии, Германии плазменных генераторов – дуговых и индукционных плазмотронов. Преимущества этого направления в технологии переработки вторичных металлов и порошковой металлургии оказались перспективными и для глубокой переработки ручного сырья благодаря высоким температурам, обеспечивающим термическую диссоциацию в низкотемпературной (менее 10000 °С) плазме тугоплавких оксидов и других соединений рудных компонентов, их ионизацию и испарение в соответствии с индивидуальными физическими и физико-химическими параметрами [11].

В ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова создана лабораторная установка для получения из железорудного сырья чугуна и стали с использованием технологии плазменного энергометаллургического комплекса [12]. Установка обеспечивает

получение синтез-газа ($H_2 + CO$), который направляется в металлургический блок в качестве восстановителя и в энергетический – для выработки электрической и тепловой энергии.

Согласно расчетам авторов проекта, количество синтез-газа (50% H_2 и 50% CO), подаваемого в металлургический блок, должно составить 1,2 т для выплавки 1 т стали, а угля в газификатор – около 2 т на тонну стали. По всем схемам ее себестоимость (100–250 долл/т) будет значительно ниже достигнутых мировых уровней. Известно, что железорудное сырье содержит значительное количество различных минеральных примесей, среди которых преобладают сульфидная и фосфатная фракции, концентрирующие, соответственно, серу и фосфор как основные лимитируемые компоненты производств чугуна и стали.

Как правило, при обогащении руд сульфидная фракция сбрасывается в хвосты, хотя в ряде случаев она обогащена золотом (Костомукша) и платиноидами (КМА), а также особо ценными цветными и редкими металлами. Очевидно, что их совокупность может представлять интерес для сопутствующего извлечения. В то же время повышенные содержания в железорудном сырье Ti, Nb, Ta, TR, Zr, Sr и других редких металлов позволяют оценивать его соответствующие разновидности в качестве природнолегированных и получать за счет их прямых переделов микролегированные чугуны и стали.

Специфика модификаций плазмотронов и плазменно-дуговых электропечей позволяет прогнозировать в перспективе возможности избирательного получения из железорудного сырья как профилирующих чугуна и стали, так и сопутствующих особо ценных компонентов с устранением из технологического процесса и конечной продукции лимитируемых элементов-примесей. При этом лимитируемые компоненты (S, P, C и др.) полностью устраняются из целевой металлопродукции, а различия в температурах плавления, упругости пара, поверхностного натяжения, плотности и других параметров полезных компонентов исходного сырья обеспечивают принципиальную возможность их разделения и селективной концентрации. Возможности регулирования плазмохимического процесса, включая полную автоматизацию, обеспечиваются и конструктивными особенностями плазмотронов, в т. ч. подключением к печам установок вакуумной дистилляции. Они позволяют осуществлять процесс оптимальной ионизации компонентов

шихты в заданных интервалах температур, скорости подачи исходной шихты и ионизированной газовой струи в магнитных полях с добавками компонентов-катализаторов [13].

Все это позволяет получать в плазменных реакторах различной емкости (до 10–30 т для высококачественной стали) не только рафинированные металлы, но и легированные редкими элементами стали, ферросплавы и другие материалы специального назначения, например карбиды Zr, Hf, Ta и др. В ОИВТ РАН совместно с НПО «Композит» и ООО «ЦЭТ» в 90-х годах создана универсальная плазменно-металлургическая установка (ПМУ) и усовершенствована система непрерывной подачи в ЭДП высокодисперсных порошков металлов и оксидов различного фракционного и физико-химического состава в область плазменного потока при сохранении стабильности работы установки. Разработана конструкция технологической ЭДП мощностью 30 кВт для плазменно-металлургических процессов, включая сфероидизацию и напыление композиционных порошковых материалов – тугоплавких металлов, оксидов, карбидов, силицидов и боридов. Испарением исходного материала в плазме с последующей конденсацией можно получать ультрадисперсные порошки с размерами частиц ≥ 10 нм.

За рубежом, по данным ОКБ ОИВТ РАН (1974 г.), для плавления или термовозгонки таких тугоплавких оксидов как ZrO_2 , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 и некоторых двойных оксидов типа шпинелей разработаны конструкционные модификации вращающихся плазменно-дуговых печей. Плав формируется в глазурированном тигле, помещенном в полости центральной оси печи, где концентрируется плазменный пучок, играющий роль газового резистора. Исходный рыхлый и спекшийся материал размещается между тиглем и оболочкой из нержавеющей стали. Емкость таких печей варьирует в пределах 16–50 л жидкофазной массы, что позволяет оценивать их как пилотные и полупромышленные [13].

Для извлечения *благородных и цветных металлов* из упорных и бедных руд в ЗАО «Техносистема-ЭКО» (гг. Москва – Днепропетровск) разработана экспериментальная технология их выщелачивания с использованием активированной плазмы воды и нетоксичных химических реагентов. Активирование воды или водного раствора плазмой (АПВ) заключается в направленном изменении их структуры в направлениях уменьшения

размеров кластеров, модифицирования ряда физических и химических характеристик до требуемых параметров и изменения энергетического состояния системы. Испытания технологии извлечения золота с применением АПВ и аминокомплекса вместо традиционной и высокотоксичной технологии цианирования проведены на 3-х золоторудных месторождениях США и Австралии с содержаниями 1,83–82 г/т Au, включая мышьяковистые формы концентраций золота с содержаниями арсенопирита и скородита в руде до 20%: при этом размеры частиц руды не превышали 2 мм. В России и Узбекистане испытания проведены на рудах с содержаниями 34,66–44,6 г/т Au и 79,2–24,5 г/т Ag при степени дисперсности руд 0,3 мм. Для российского техногенного сырья – фэйнштейна и отходов медеплавильного производств получены положительные результаты с применением технологии АПВ по извлечению палладия и доизвлечению меди. Извлечение Au, Ag, Pd, Cu во всех случаях составило порядка 99%. Таким образом, плазмохимическое активирование воды и водных растворов с применением экологически безопасных реагентов, по мнению авторов этой технологии, может заменить или использоваться в нем, причем с увеличением скорости выщелачивания золота в 50 раз и повышением эффективности его извлечения. Эта технология в модульном исполнении может быть использована в качестве «врезки» в действующих схемах золотодобычи, а также для нейтрализации циановых растворов [13].

В качестве примера получения РЗМ приводится использование плазмохимического способа при переработке красноуфимского монацита. Подготовка процесса включает операции вскрытия монацита в щелочно-карбонатной среде и выделение РЗМ в азотнокислом растворе. Конечный продукт получают в виде порошка SeO_2 высокотемпературным разложением водного раствора нитрата церия $Se(NO_3)_6 \cdot 6H_2O$ в плазмотроне при мощности разряда 45 кВт и производительности 20 кг/час [14]. На кафедре технологии редких элементов и наноматериалов РХТУ им. Д. И. Менделеева создана установка для извлечения рения из горючих сланцев, состоящая из плазмотрона (2800 °С), циклона для улавливания пыли и адсорбера с насадкой. Достигнута концентрация рения в твердом продукте адсорбера до 94,2% с распределением в пыли циклона 8,89, нижнем слое (г/т) 3,16 и верхнем 0,50 [15].

3. *Пиролизные технологии* переработки традиционного органоминерального и альтернативного органолептического сырья с получением синтез-газа для тепло- и электроэнергетики, широкого ассортимента сопутствующих строительных и технических материалов, металло- и химической продукции, включая редкие металлы, и т. д. Варианты разработок этих технологий с использованием шахтных печей для переработки несортированных твердых коммунальных отходов (ТКО), низкосортных бурых углей и отходов переработки нефти и древесины, а также природных битумов нефтяного ряда, обогащенных редкими металлами, приведены в работах научных специалистов различных институтов РАН и РХТУ им. Д. И. Менделеева [16, 17].

В ОИВТ РАН в последнее десятилетие разработана и рекомендуется для внедрения технология высокоскоростного электропиролиза угля и несортированных твердых коммунальных и промышленных отходов. Согласно этой технологии скоростного электропиролиза ОИВТ РАН, процесс переработки указанных видов местного сырья, крайне актуальный для крупнейших в России урбанизированных агломераций – Московского региона, территории ЦФО, Поволжья и Ю. Урала, должен осуществляться в высокотемпературной шахтной печи (ВШП) доменного типа, снабженной стандартным комплексом обслуживающего оборудования (воздухонагреватели, воздуходувки, газоочистка и т. п.). Стабилизация температурного и газодинамического режимов процесса переработки обеспечивается послышной загрузкой в отходы природного органохимического сырья в виде низкосортного угля, не находящего спроса в других отраслях промышленности. Для предотвращения возможности получения в печи «коротких» шлаков, резко изменяющих вязкость при небольших колебаниях температур в печи, в шихту вводятся добавки известняка; при этом часть дутья, подаваемого в печь, может вводиться непосредственно в ванну жидкого металла в горне печи с применением в качестве топлива не кокса, а углей любых марок, в том числе, низкосортных. Этим достигается, при прочих равных условиях, повышение температуры жидких продуктов плавки на 300–500 °С и выравнивание температур по радиусу горна ВШП. Необходимо отметить, что в предложенной схеме при переработке ТКО в отходах, помимо угля, достаточно своих горючих компонентов. Используемый

в данном процессе уголь газифицируется как в обычных газогенераторах для получения газобразных видов топлива [18].

Разработанная в ОИВТ РАН технология обеспечивает переработку *несортированных* ТКО в процессе высокоскоростного пиролиза низкосортных углей с добавками (до 30%) других органоминеральных и органохимических веществ (известняка, торфа и др.). Пиролиз осуществляется в высокотемпературных шахтных печах ВШП при $T = 1400\text{--}1700$ °С и более, разрушающих высокотоксичные диоксины и другие органотоксиканты. Производительность типового модуля порядка 10 т/час исходного сырья при длительности пиролиза 5–7 мин., в результате которого образуется горючий синтез-газ ($H_2 + CO$), обогащенный водородом до 60–65% и зольный остаток (кокс). С газом из сырья удаляется до 40–50% серы, а в зольном коксе концентрируются железо, алюминий, другие цветные и рассеянные редкие металлы, включая часть элементов-токсикантов.

Энерготехноэкологические проекты ОИВТ РАН предусматривают возможности эффективного производства, помимо горючего газа и кокса как энергоносителей, широкого ассортимента сопутствующей и побочной продукции за счет переработки в шахтных печах как остаточного кокса, так и ТКО с известью, включая получение клинкера и цемента, каменного литья, чугуна, строительных и технических материалов и изделий. Дополнительным сырьем для этих процессов служат местные природные и техногенные ресурсы: известняки, торф, отходы угледобычи и обогащения (терриконы), шлаки и нефтешламы, золы ТЭС и т. д.

Обогащение зольного кокса как одного из продуктов пиролизной переработки традиционного твердотопливного сырья тем или иным комплексом промышленно-ценных металлов – Fe, Mn, Ti, Al, другими цветными, благородными и редкими рассеянными элементами, определяемыми геохимической специализацией исходного сырья, позволяет оценивать его в качестве перспективного техногенного источника этих полезных компонентов. Извлечение металлов может осуществляться с применением ликвационной плавки шихты из металлизированного кокса и добавок-флюсов как агентов снижения температуры плавления и расслоения расплавов на несмешивающиеся жидкие фазы, т. е. плавленные концентраты тех или иных особо ценных и токсичных

компонентов. Специфика формирования их устойчивых ассоциаций в жидком состоянии, прежде всего, определяется изоморфизмом: с железом – титана, ванадия, ниобия, германия, скандия и других примесей, с алюминием – галлия, бериллия, с медью, свинцом и цинком – рения, золота, серебра, платины, кадмия, индия, таллия, селена, теллура, с кальцием – стронция, бария, радиоактивных элементов.

Повышенные концентрации цветных, благородных и редких металлов в *альтернативных видах* энергохимического сырья – горючих сланцах и тяжелых высоковязких нефтях (ТВН), нередко превышающие их содержания в традиционном рудном сырье, могут извлекаться в процессе пиролиза и фракционирования исходного сырья. Согласно исследованиям специалистов РХТУ им. Д. И. Менделеева, с применением этих технологий возможно извлечение в остаточные продукты (кокс, полукокс, бертинаты и др.) не только широко распространенных и извлекаемых из ТВН в Канаде и США ванадия и никеля, но и наиболее ценного рассеянного рения.

ТВН Венесуэлы содержат 1,5–22 кг/т пентоксида ванадия, с которым ассоциирует никель при содержаниях до 0,55–1,4 кг/т. Наиболее богаты этими металлами сернистые ТВН (мальты) Канады и стран Карибского бассейна. В Перу нефть месторождения Минас – Рагра содержит до 6% ванадия, образующего собственный минерал – патронит (VS_2). В США до 75% производства ванадия осуществляется извлечением его из нефти при содержаниях от 0,2 до 130,0 г/т, а в Канаде производят до 1660 т/год ванадия из кокса в процессе термокрекинга ТВН с исходным содержанием 2–3 кг/т (провинция Атабаска); оцениваются возможности извлечения из нефтяных песчаников галлия в комплексе с V, Sc, Mo, Ni. Компания США «Stractor» внедряет новую технологию получения ванадия до 9 тыс. т/год из отходов нефтепереработки [19].

В России наиболее богата ванадием и никелем ТВН Волго-Уральского бассейна (соответственно 800 и 300 г/т), в меньшей степени – Тимано-Печорского (150 и 310 г/т) и минимально – Западно-Печорского (60 и 40 г/т). В качестве минимально промышленного содержания для попутного извлечения ванадия принято считать 30 г/т, что сопоставимо по рентабельности с извлечением его из традиционного рудного сырья. Кокс из нефтяных битумов Республики Татарстан обогащен V, Ni, Fe, Cr, Mo, Re, Au, что заслужи-

вает специального изучения и оценки. Однако, наиболее обогащенными редкими, цветными, и, возможно, благородными металлами представляются гигантские ресурсы ТВН Баженовской свиты и других, в том числе – не разведанных пока месторождений прибрежной Арктической зоны на севере Республики Саха-Якутия.

Для извлечения редких металлов в РХТУ им. Д. И. Менделеева разработана и рекомендуется наиболее эффективная технологическая схема, которая включает деасфальтизацию исходного битумного сырья с получением асфальто-смолистого концентрата (АСК), его термообработку в присутствии окислителя при $T = 600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ и выщелачивание, сорбционное извлечение из раствора.

С этих позиций очевидна целесообразность организации программной геохимической ревизии на редкие и другие ценные металлы, а также экологически лимитируемые микрокомпоненты эксплуатируемых и разведываемых нефтяных и газогидратных месторождений, а также продуктов их переработки (нефтешламов, термококса, водных сбросов и др.). Применительно к решению проблемы комплексного освоения давно разведанного Ярегского месторождения ТВН в Республике Коми, обогащенного Ti, V, Nb, TR, представляется целесообразным экспериментальное изучение эффективности использования пирохимических методов и, прежде всего, ликвационной плавки для разделения титана и кремния в лейкоксеновой шихте с флюсами. Как известно, процессы традиционного обогащения, и термохимия не позволили решить эту технологическую задачу в течение десятилетий, хотя нефть и титан в нашей стране оцениваются как сопоставимые по промышленной значимости полезные ископаемые и продукты.

Развитие сопутствующих производств рассеянных редких металлов на базе действующих и новых предприятий ГПК как фактор повышения эффективности и экологизации горно-химико-металлургических производств

Принятое за рубежом и рекомендуемое нами для технической модернизации и инновационного развития промышленных производств в России интегрирование процессов добычи, обогащения и переделов сырья соответствует концепции кластерной организации производств на базе местных ресурсов, включая вовлечение

в промышленное использование накапливаемого и не используемого техногенного сырья. За рубежом использование последнего в качестве возобновляемого ресурса достигает 70–90%, в то время как в нашей стране эта проблема, за исключением единичных примеров, не решается десятилетиями.

Примерами получения из отходов обогащения товарных минеральных концентратов бадделеита и апатита является организация их сопутствующего производства ОАО «Ковдорский ГОК» Еврехима, специализированного на выпуск магнетитового продукта, а на АО «Уралэлектромедь» УГМК – эффективного извлечения из шламовых отходов передельного электролизного производства Cu, Au, Ag, In, Cd, содержащихся в исходных концентратах. Необходимо заметить, что бадделеитовые концентраты обогащены Hf, Ta, Sc и другими ценными микрокомпонентами, которые, в свою очередь, ждут промышленного извлечения, подобно TR, Sr, V и другим из хибинских минеральных концентратов, выпускаемых ОАО «Апатит» ФосАгро и СЗФК «Акрон» (табл. 1). Такая ситуация для этих предприятий и их владельцев представляется упущенной выгодой, а для государства – невозполнимыми потерями с экспортом и в отходах обогащения и переделов.

Детальные минералого-геохимические исследования, выполненные на ведущих предприятиях Кольского и Уральского ГПК применительно к повышению эффективности основных производств или организации сопутствующих, свидетельствуют о значительном, пока не востребованном редкометалльном потенциале накопленных техногенных ресурсов и текущих отходов производства, превосходящем учтенные запасы. Крупными, пока недооцененными источниками критически важных рассеянных редких металлов (Re, Os, In, Ge, Bi, Se, Te и др.), используемых ОПК и другими высокотехнологичными отраслями промышленных производств, являются медно-никелевые руды, эксплуатируемые предприятиями «ГМК Норникель» в Кольском и Норильском горнорудных регионах, и медно-цинковые руды Уральского региона, где высококомплексным отходом их переработки является пирит, а также накопленные ранее пиритные огарки [18, 20, 21]. В целом, содержания и ресурсы рассеянных редких металлов в отходах обогащения и особенно химико-металлургических переделов, а также в бурых углях и отходах

углесжигания достаточны для системной организации их извлечения с применением известных пирометаллургических и вышеуказанных инновационных технологий (табл. 2).

В целом, системное решение рассматриваемой проблемы воссоздания и развития в нашей стране производств рассматриваемой конечной продукции соответствует стратегической задаче редкометального импортозамещения.

При производстве 1 т меди из уральского сырья образуется от 30 до 100 т отходов обогащения (хвостов) и 1–8 т металлургических шлаков. Поликомпонентные анализы хвостов флотационного обогащения медно-цинковых руд, отобранных с нескольких уральских месторождений, свидетельствуют о существенно различных содержаниях в них как главных полезных компонентов – меди и цинка, так и сопутствующих микрокомпонентов (табл. 3). Обращают на себя внимание максимальные содержания меди и цинка в отобранных пробах хвостов обогащения руд с Сибайского и Юбилейного месторождений и более низкие – с Александринского и Майского месторождений. В то же время первые из них заметно обогащены Co, Mn, Ti, P, Zn, Y, а вторые – Pb, As, Ag, Bi, Sb, Tl. Содержания In, Ga, Ge, т. е. наиболее ценных рассеянных редких металлов среди выявленных 30 элементов в хвостах обеих групп месторождений сопоставимы друг с другом и невелики, т. к. в основном извлекаются из руд в составе сфалерита (Cd, In, Ga), халькопирита и минералов блеклых руд (Cd, Ge), а также пирита (Cd, Te). Приведенные данные заставляют обратить особое внимание на соответствие экологическим требованиям высоких содержаний мышьяка в товарной продукции во избежание рекламаций со стороны металлургов в случаях аномальных концентраций. Для этого элемента-суперэкоотоксиканта необходимо оперативное составление поминерального баланса распределения, что наиболее актуально для сырья новых месторождений и их горизонтов. Очевидно, что организация опережающего минералого-геохимического картирования рудных горизонтов на все особо ценные и токсичные микрокомпоненты до их отработки позволит осуществлять многоцелевое прогнозирование специфики поликомпонентного состава руд геологам, обогатителям и экономистам.

Тем самым появится возможность предупреждения потерь потенциально ценных «попутчиков» (Re, In, Bi и др.) и одновременно-негативных

экологических «сюрпризов», обусловленных, например, недопустимо высокими содержаниями элементов-суперэкоотоксикантов (As, Cd, Hg, Pb, Tl и др.) в сырье, поступающем на обогащение и переделы, и, соответственно, в выпускаемых товарных концентратах.

Согласно нашим исследованиям твердых и жидких промпродуктов ОАО «ГМК Североникель» на пробах ОТК предприятия (г. Мончегорск), выполненным в середине 90-х годов совместно с Л. М. Делицыным, были обнаружены повышенные концентрации в некоторых из них как недоизвлеченных Cu, Ni, Co (в шлаках электропечей, конвертерных пылях, промстоках и шламах), так и особо ценных и токсичных «спутников» – Cd (420–500 г/т), Bi (300–400 г/т), Sb (280–300 г/т), Ge (50–100 г/т), Tl (50–100 г/т), In (10–100 г/т), а также As (8–11 г/т), Pb (1–10 г/т), Sn (180–1000 г/т), Mo (>300 г/т), W (>1 кг/т) – в конвертерных пылях и шламах серноокислотной промывки, кроме того, оказались характерными высокие содержания Se, Te, Au, Ag (10–100 г/т) и платины (10 г/т). Более того, специалистами ИХТРЭМС КНЦ РАН (г. Апатиты) на том же предприятии разработана инновационная технология совместного извлечения рения, осмия и селена из промывной серной кислоты, содержащей 2–15 мг/л Re и 3–10 мг/л Os, и из сливов газоотходов (1–10 мг/л Re и 15–20 мг/л Os и 0.5–1.0 г/л Se). Однако, до сих пор этот заводской «Клондайк» рассеянных редких и благородных металлов не освоен предприятиями Кольской ГМК, входящей в корпорацию «Интеррос» – «Норникель».

С этих позиций специального внимания заслуживает проблема оценки извлекаемой ценности и экологичности рудообразующего складированного пирита, который не только является минералом-концентратором Fe, Cd, Au, но и других полезных и токсичных компонентов. Пришло время организовать изучение инновационных технологических возможностей и экономической целесообразности реализации складированных на Урале его запасов (50 млн т) в новых направлениях промышленного использования (вместо традиционного в СССР производства серной кислоты). В пиритных концентратах уральских медно-цинковых ГОКов, помимо золота и серебра, мышьяка и кадмия, установлены повышенные содержания In (9,5 г/т), Ga (8 г/т), Se (до 210 г/т), Te (43–63 г/т) и Tl (до 28–36 г/т), что превышает содержания

этих редких металлов в исходных рудах, медных и цинковых концентратах. Подобно обогащенным хвостам, поликомпонентный состав пирита, прежде всего, требует сравнительного минералого-геохимического изучения как в пределах отдельных месторождений, так и на пиритных складах и в хвостохранилищах, где он подвержен интенсивному воздействию агентов промстоков и гипергенеза.

В этих условиях окорудные зоны окисления выработанных рудников, как правило, обогащенных пиритом, представляются эпицентрами концентрации и распространения в пространстве экологически опасных очагов самовозгорания, образования серноокислотных сбросов и нарушений устойчивости бортов горных выработок, включая формирование техногенных кор выветривания и обрушений. Примерами такой экологически неблагоприятной ситуации в последнее время служат выработанный Сибайский карьер сульфидных руд и Коркинский – угольного сырья, оба глубиной до 0,5 км. Проблема их экологически безопасной рекультивации является технически сложной и безотлагательной, а затопление как наиболее оперативное и простое решение представляется усугубляющим и временно консервирующим геологические риски, что подтверждают примеры ранее затопленных рудников (Дегтярского и др.). Эта проблема, к сожалению, пока остается за пределами внимания техноэкологической минералогии и геохимии [19, 22].

Системное возрождение и развитие в России редкометалльных производств должно быть ориентировано в соответствии с современными тенденциями и концепцией IV промышленной революции на создание в горнопромышленных регионах кластерных горно-химико-металлургических производств полного технологического цикла (добыча – обогащение – переделы), включающих автономные малые-средние горно-технологические предприятия (МГТП) как наиболее эффективные научно-производственные центры внедрения результатов завершенных поисково-технологических исследований. Особое значение в оценке на редкие металлы разведанных и разведываемых минеральных ресурсов, также включаемых в сферу промышленных интересов техногенных образований, должно принадлежать прикладной науке – в первую очередь технологической геохимии и минералогии.

Таблица 1

**Потенциальная продуктивность на сопутствующие редкие металлы и другие сопутствующие микрокомпоненты техногенных образований
Кольских горнопромышленных комплексов**

Типы сырья и регионы	Техногенные образования				Сопутствующая продукция: освоенная рекомендуемая	Применение и разработки новейших доступных технологий (НДТ)
	Профилирующая продукция		Перспективные ресурсы			
	Обогатительная	Передельная	Минеральные концентраты	Особо ценные и димитируемые компоненты		
Ловозерский ГОК	Лопаритовый концентрат	Ta, Nb, TR, Ti	Калишпатово-нефелиновые Пироксеновые (эгириновые и др.)	K, Na, Ga, Cs, Rb; Ti, V, Fe; флюс Th, U	Нефелин (с Ga, Cs, Rb) к.п.ш., эгирин; АККФ – АСР (флококоагулянт)	Переработка лопаритового концентрата на месте (НДТ ВНИИХТ); получение к.п.ш. – нефелинового концентрата; вовлечение в промышленное использование эвдиалитового сырья как источника РЗМ иттриевой группы, Zr, Ta и др. РМ; получение и применение АККФ – АСР
ОАО «Апатит» ФосАгро	Апатитовые концентраты (с TR, Sr, F, Th) Калишпатово-нефелиновые (с K, Ga, Cs, Rb)	Фосфатные минеральные удобрения Глинозем – алюминий, поташ, цемент, галлий	Калишпатово-нефелиновые Титаномангнетитовые (с ильменитом) Сфеновые Пироксеновые (эгирин и др.)	K, Na, Ga, Cs, Rb Ti, V Ti, Ta, Nb, TR, Sr, Th V, Ti, Fe; флюс	Глинозем – алюминий, поташ, сода, галлий, цемент АККФ – АСР (флококоагулянт) Реализуемая спорадически Ti-V-я химико-металлургическая продукция То же; обмазка электродов, ЛЖМ	Переработка колл. эгириново-титановых концентратов на Ti, V и др. РМ – (НДТ ОИВТ РАН)
ОАО «СЗФК» АКРОН	Апатитовый концентрат с TR, Sr, F, Th	Фосфатные минеральные удобрения	– « –	– « –	– « –	Получение сопутствующих минеральных концентратов и извлечение из них РМ
Ковдорский ГОК Еврохим	Минеральные концентраты: магнетита апатита бадделита (с Hf, Ta, Sc)	Чугун – сталь Фосфатные минеральные удобрения; цирконий	Апатитовые Бадделитовые	Hf, Ta, Nb, Sc, TR, Th, U	цирконий Ta, Hf, Sc –	Извлечение из бадделитовых концентратов сопутствующих РМ

Таблица 2

**Потенциальная продуктивность на рассеянные редкие металлы и другие ценные микрокомпоненты медно-сульфидного сырья
Норильских, Колыских и Уральских горнопромышленных комплексов**

Типы сырья и регионы	Профилирующая продукция		Техногенные образования				Применение и разработки новейших доступных технологий (НДТ)
	Обогатительная	Передельная	Перспективные ресурсы		Сопутствующая продукция освоенная рекомендуемая		
			Минеральные концентраты	Особо ценные и лимитируемые компоненты			
Медно-никелевое сырье ОАО «ГМК Норникель» Норильский и Колыский регионы	Сульфидные концентраты Cu и Ni	Медь Никель	Пирротиновые ?	Re, Os, Ge, In, Cd, Bi, Te, Sb, Tl; Pb, Sn, Mo, W; As; драгметаллы	Co, Se, Te; драгметаллы	Re, Os, In, Ge, Bi, Cd, Tl, As	Традиционные пиро- и гидрометаллургические; НДТ ИХТРЕМС КНЦ РАН для извлечения РМ из промывной кислоты; возможно использование ликвационной плавки и флокоагулянта (ОИВТ РАН)
Медно-цинковое сырье ОАО «Уральская ГМК» Южный Урал	Сульфидные концентраты Cu и Zn	Медь Цинк	Пиритовые Пиритные отарки	In, Cd, Re, Ge, Bi; Au, Ag, Tl, As, Hg; Fe	Cu, Zn, Au, Ag, Fe, Re, Cd, Bi, Tl, As		Традиционные пиро- и гидрометаллургические; возможно использование плазмохимии, ликвационной плавки и флокоагулянта для извлечения РМ и обезвреживания промстоков (ОИВТ РАН)

Таблица 3

Поликомпонентный состав хвостов обогащения уральских медно-сульфидных руд (г/т) [21]

Месторождение	№ пробы	Zn	Cu	Pb	As	Hg	Ag	Bi	Sb	Mo	Mn	Ti	V	Zr	Y	Sc	Ga	Ge	Tl	In	Be	Sn	W	Cr	Co	Ni	P	B	Ba	Li
Юбилейное	ХКФ-Ю хвосты коллективной флотации	>10000	4000	470	480	1.77	6.8	<1	6	19	350	2200	34	230	180	7	14	<1	2	<1	6	<1	<1	7.2	170	12	540	16	<100	23
	ХОФ-Ю хвосты основной флотации	>10000	8000	620	<10	4.07	<10	20	11	36	1900	1800	27	260	160	<3	13	4	3	<1	<1	<1	4	8	3.2	200	27	640	13	<100
Сибайское	ХКФ-С хвосты коллективной флотации	890	2100	160	400	0.55	5.3	<1	8	6.4	3800	2900	15	260	230	<3	13	<1	<1	<1	<1	4	10	2.3	320	11	670	17	<100	<20
	ХОФ-С хвосты основной флотации	>10000	>10000	160	<10	2.34	<10	5	21	6.3	1300	2300	7	280	>300	7	17	<1	<1	<1	3	11	15	1.9	490	14	1000	18	<100	35
Майское	ХФ-М хвосты флотации	4200	800	900	290	0.068	<10	5	10	21	430	950	46	110	33	<3	16	2	8	<1	<1	2	1	2.7	15	11	230	25	<100	<20
	ХОФ-М хвосты основной флотации	>10000	1600	950	990	0.3	<10	12	62	36	1100	1100	32	120	49	<3	21	3	13	<1	<1	12	2	7.1	69	22	250	19	<100	<20
Александринское	ХА хвосты флотации	6800	2200	470	700	0.13	7.5	16	6	9.1	680	1400	28	100	38	4	11	2	3	<1	<1	3	2	1.6	35	6.9	230	22	<100	<20

В современной России в условиях сложившегося сокращения государственного финансирования ГРР и научных организаций решение проблемы обеспечения высокотехнологичных отраслей промышленного производства редкими металлами осуществляется инициативными группами научных специалистов. При этом целевые инновационно-техноэкологические разработки сотрудников РАН, сделанные на лабораторном уровне, не находят внедренческого продолжения созданием пилотных и, тем более, опытно-промышленных установок из-за отсутствия необходимых средств. Более того, в условиях «переходного периода» во многих академических институтах были закрыты лаборатории экспериментальной минералогии и петрографии, которые «питали» новыми идеями химиков-технологов, а отраслевая наука, ответственная за внедрение технологических «ноу-хау» практически перестала этим заниматься или была ликвидирована [23].

Приведенные выше единичные примеры решения крупным частным горнопромышленным бизнесом задач извлечения особо ценных редкометалльных концентратов или рассеянных и экологически лимитируемых микрокомпонентов свидетельствуют о наличии пока неиспользуемого потенциала повышения как экономической эффективности, так и экологизации обогатительных и перерабатывающих производств ГПК. Однако, со стороны крупного бизнеса трудно ожидать развития инициатив и реализации креативных технических решений, рекомендуемых наукой, и, тем более, создания им внедренческих МГТП: предпочтение отдается крупнотоннажному товарному профилю, прос-

тым решениям и «коротким» деньгам с ориентацией на экспорт производимой продукции.

В сложившейся ситуации представляется необходимым проявление государственной политической воли и поддержки корпоративного взаимодействия науки и бизнеса, прежде всего, в составлении и выполнении соответствующей многоцелевой Программы, включая выделение необходимых финансовых средств и контроль за их реализацией в установленные сроки. Стартовое госбюджетное финансирование НИР и НИОКР, предусмотренных Программой, должно быть расширено за счет создания специального «Фонда развития» привлекаемыми действующими и новыми частными предприятиями с организацией частно-государственного партнерства. В этих целях представляется целесообразным и необходимым воссоздание Госкомитета по науке и технике (ГКНТ) при Президенте РФ и соподчиненного ему Координационного Совета (КС) по редким металлам из научных специалистов РАН, Министерств науки, высшего образования и природных ресурсов, госкорпорации «Ростех». Системная организация программно-целевых НИР и НИОКР, ориентированных на возрождение и развитие редкометалльных промышленных производств в нашей стране требует создания межведомственных и даже межрегиональных Проблемных лабораторий, деятельность которых должна быть скоординирована на государственном уровне и с ведущими предприятиями крупного бизнеса в соответствии со специализацией природного сырья и техногенных образований, ожидающих необходимой ресурсно-технологической оценки и ускоренного вовлечения в промышленное использование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелентьев Г. Б. Термохимические инновации в техноэкологии // Экология промышленного производства. М: ВИМИ, 2013. Вып. 2. Ч. 1. С. 81–89. Вып. 3. Ч. 2. С. 84–94.
2. Мелентьев Г. Б. Редкометалльное импортозамещение – стратегическая задача России // Сб. материалов международной научно-практической конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ – 2017». Москва, 21–22 июня 2017 г. М: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ». 2017. С. 19–35.
3. Мелентьев Г. Б. Перспективы обеспечения собственным редкометалльным сырьем и развития производств феррониобия в России // Материалы научно-практической конференции «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: ФЕРРОСПЛАВЫ», 29 октября – 02 ноября 2018 г., ОХМН РАН – Институт металлургии УрО РАН. Екатеринбург: ИМЕТ УрО РАН, 2018. С. 104–110.
4. Мелентьев Б. Н., Делицын Л. М., Мелентьев Г. Б. Ликвация и ее значение в петрологии. Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации. Под ред. В. С. Коптева-Дворникова. М: Недра, 1972. С. 253–285.
5. Мелентьев Г. Б., Давыдов Н. Ф. Перспективы развития пирохимической технологии и связанных с ней минералого-геохимических исследований. Проблемы направленного изменения технологических и технических свойств минералов. Под ред. В. И. Ревнивцева. Л: Механообр, 1985. С. 17–34.

6. Мелентьев Г. Б., Делицын Л. М., Лебедева Г. Г. и др. Перспективы пирохимической переработки комплексного фосфатно-редкометалльного сырья // Редкие элементы в нетрадиционном сырье и перспективы их попутного производства. М: ИМГРЭ, 1987. С. 41–57.
7. Мелентьев Г. Б., Делицын Л. М. Расслоение (ликвация) редкометалльно специализированных расплавов природного сырья, продуктов и отходов его обогащения как инновационный способ избирательного концентрирования особо ценных и лимитируемых компонентов // Материалы Международной научно-практической конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ-2015», 25 июня 2015 г., Москва. М: ОАО «Институт Гинцветмет», 2015. С. 60–67.
8. Делицын Л. М., Мелентьев Г. Б., Толстов А. В., Магазина Л. А., Самонов А. Е. Технологические проблемы Томтора и их решение // Редкие Земли, 2016. № 2 (5). С. 164–179.
9. Мелентьев Г. Б., Короткий В. М. Брикетирование промышленных отходов как инновационный техноэкологический ресурс // Материалы V Всеросс. научн. конф. с международн. участием «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов», 12–15 ноября 2013 г., Апатиты, КНЦ РАН. Апатиты, ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2013. С. 180–183.
10. Павлов А. В., Бут Е. А., Мустафин Р. М., Никитин А. В., Бабич И. Н. Повышение глубины переработки бедного железорудного сырья с использованием внедоменных бескоксовых технологий // Рациональное освоение недр, 2015. № № 5–6. С. 83–92.
11. Низкотемпературная плазма. Плазменная металлургия. Новосибирск: Наука СО РАН, 1992. Т. 8. С. 265.
12. Цветков Ю. В., Николаев А. В., Николаев А. А., Кирпичев Д. Е. Производство стали по технологии плазменного энергометаллургического комплекса // Материалы конференции «Результаты фундаментальных исследований в области энергетики и их практическое значение», 24–26 марта 2008 г. М: ОИВТ РАН. С. 264–268.
13. Короткий В. М., Мелентьев Г. Б. Перспективы плазмохимии в энергетике и переработке минерального сырья // Доклады IV Международн. научн. конф. «Геоэкологические проблемы современности», 20–22 сентября 2012 г., Владимир, ВГУ. Владимир: ВГУ, 2012. С. 322–329.
14. Сосновский С. А., Скачков В. И., Обходская Е. В. Исследование плазмохимического способа обработки жидких сред при переработке техногенных образований // Труды Конгресса «Техноген – 2017: Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований», 5–9 июня 2017 г., Екатеринбург: УроРАН, 2017. С. 353–355.
15. Трошкина И. Д., Шиляев А. В., Абдрахманов Т. Г., Майборода А. Б. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможности извлечения // Разведка и охрана недр, 2011. № 6. С. 87–90.
16. Леонтьев Л. И., Чесноков Ю. А. Экологически безопасная технология переработки бытовых и техногенных отходов с использованием пирометаллургических процессов // Труды Конгресса «Техноген – 2017: «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований», 5–9 июня 2017 г., Екатеринбург: Уро РАН, 2017. С. 21–25.
17. Палант А. А., Трошкина И. Д., Чекмарев А. М., Костылев А. И. Технология рения. М: РХТУ, ИМЕТ, ОА «Радиевый ин-т» – М: ООО «Галлея-Принт, 2015. С. 329.
18. Техногенные ресурсы и инновации в техноэкологии // Сб. статей по материалам межрегиональных и межотраслевых симпозиумов 2005–2006 гг., ОИВТ РАН. Под ред. Е. М. Шелкова, Г. Б. Мелентьева. М: ОИВТ РАН, 2008. С. 352.
19. Мелентьев Г. Б. Инновационный энергохимический и горнопромышленный потенциал традиционных и альтернативных топливно-энергетических ресурсов Российского Севера // Сб. материалов VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2018». 19–21 сентября 2018 г., Сыктывкар, ИСЭ и ЭП Севера Коми НЦ УрО РАН. Ч. 1. Сыктывкар, 2018. С. 35–49.
20. Мелентьев Г. Б. Инновационный потенциал техногенных ресурсов России и роль технологической геохимии в их изучении и оценке перспектив комплексного промышленного использования // Сб. статей IX Российского семинара по технологической минералогии «Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений», 22–24 апреля 2014 г., Магнитогорск. Петрозаводск: Институт геологии Кар НЦ, 2015. С. 8–30.
21. Горбатова Е. А., Мелентьев Г. Б., Овчарова Е. С., Вдовина О. К., Емельяненко Е. А. Особо ценные и экологически лимитируемые компоненты в хвостах обогащения уральского меднорудного сырья // Сб. материалов межрегиональной юбилейной конференции ЮУр ГУ, ОИВТ РАН «Комплексное освоение и переработка техногенных образований с использованием инновационных технологий», 13–15 ноября 2013 г., г. Челябинск. С. 44–56.
22. Мелентьев Г. Б. Инновационная техноэкология и новые задачи технологической минералогии // Экология промышленного производства. М: ФГУП ВИМИ, вып. 2. С. 40–51; вып. 3. 2009. С. 13–29.
23. Мелентьев Г. Б. Проблемы поисковой и технологической минералогии редкометалльного сырья и их решения // Материалы Юбилейного съезда «200 лет РМО», 10–13 сентября 2017 г., С-Пб., 2017. Т. 2. С. 109–114.

ТАЛЬКОВОЕ СЫРЬЕ КАРЕЛИИ, НАПРАВЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОЗИЦИЯ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЕ РОССИИ

Фролов П. В., Ильина В. П., Завёрткин А. С., Климовская Е. Е., Савицкий А. И.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Благодаря своим физико-химическим свойствам и относительно невысокой цене тальк в измельченном виде используется во многих отраслях промышленности в качестве наполнителя и в некоторых других производственных процессах. Основными свойствами талька, обуславливающими его промышленное применение, являются его чешуйчатая структура, мягкость, белизна, гидрофобность, атмосферостойкость, химическая инертность, высокая температура плавления, диэлектрические и абсорбционные свойства. Степень измельчения талька (микроталька) имеет существенное значение в большинстве областей его применения. Полезным ископаемым являются тальковый «мыльный» камень благодаря его ценным для практического применения свойствам, – легкой механической обработки, оригинальных декоративных свойств и др.

На Фенноскандинавском щите сформированы собственные месторождения талькового сырья. Основные потенциальные ресурсы и запасы этого вида сырья находятся в пределах Карельского кратона, являющегося составной частью щита. Территориально Карельский кратон включает площадь от Ладожского озера до Белого моря, захватывая значительную часть Карелии, западную часть Архангельской области и восточную часть Финляндии. Добыча талька и талькового камня составляет существенную долю экономики Финляндии. Республика Карелия располагает собственной минерально-сырьевой базой талькового сырья, которую необходимо развивать, что должно внести существенный вклад в экономическое развитие Северо-Западного региона России. В настоящее время тальковая промышленность России представлена главным образом месторождениями Урала (Шабровское, Сыростанское) и Восточной Сибири (Онотское, Алгуйское, Светлоключевское).

Краткая история изучения тальконосных комплексов

Талькособержащие породы известны с глубокой древности. Их нередко называли и называют «мыльный камень». Тальковые породы использовались для изготовления посуды и других цельноточеных изделий, поэтому получили название «горшечный камень». Кроме того, породы использовались для строительных целей в качестве стенового камня и изготовления поделок. Известно, что арабы еще в VIII веке употребляли тальк для изготовления бумаги, а древние египтяне – при изготовлении папирусов.

Расширенную характеристику минерально-сырьевой базы талькового сырья бывшего СССР дал в своих трудах И. Ф. Романович [5]. Это касается, главным образом, месторождений Урала и Сибири, а также Европейской части бывшего СССР, Закавказья, Средней Азии, Дальнего Востока. И. Ф. Романович одним из первых высказывал предположение о возможности наличия тальковых месторождений в пределах Каменноозерской структуры Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса Восточной Карелии и обращал внимание на вероятные перспективы подобных структур. Обобщающие работы по генезису талькособержащих образований, выделению типов тальковых руд, классификации месторождений талькового сырья были проведены во второй половине XX столетия также И. Ф. Романовичем. Ниже приведены *главные положения данных исследований*.

Типы руд. Тальковые руды с содержанием талька свыше 75% называются талькитами. По химическому составу среди талькитов выделяются железистые (содержание Fe_2O_3 свыше 2,75%) и маложелезистые разновидности. Тальковые руды с содержанием талька менее 75% называются по их минеральному составу (магнезит-(брейнерит)-тальковые, хлорит-тальковые, тальк-доломитовые и т. д.). Массивные разновидности тальковых пород, содержащих менее 75% талька, которые можно подвергнуть распиловке, называют тальковым кам-

нем (талек-магнезитовый (талек-брейнеритовый) и талек-хлоритовый (горшечный) камни).

Генетические типы промышленных месторождений. Эндеогенные месторождения. I. Связанные с ультрамафитами (апоультрамафитовые руды железистого талекка, содержание Fe_2O_3 в рудах свыше 2.75%): 1) с габбро-дунит-пироксенитовой формацией; 2) с перидотитовой формацией. II. Связанные с кальций-магний-карбонатными породами (апокарбонатные руды маложелезистого талекка, содержание Fe_2O_3 в рудах до 2.75%): 1) с магнезитами; 2) с доломитами. В апоультрамафитовых месторождениях талекковые породы наследуют от исходных ультрамафитов содержание железа, хрома, кобальта, никеля, алюминия. Талек-хлоритовые породы образуются главным образом за счет богатых алюминием ультрамафитов, относящихся, как правило, к габбро-дунит-клинопироксенитовой формации, а, кроме того, частично и на контактах с вмещающими алюмосиликатными породами. Для апокарбонатных руд маложелезистого талекка, связанных с доломитами, характерно повышенное содержание СаО. Апомagneзиальные талеккиты являются малокальциевыми.

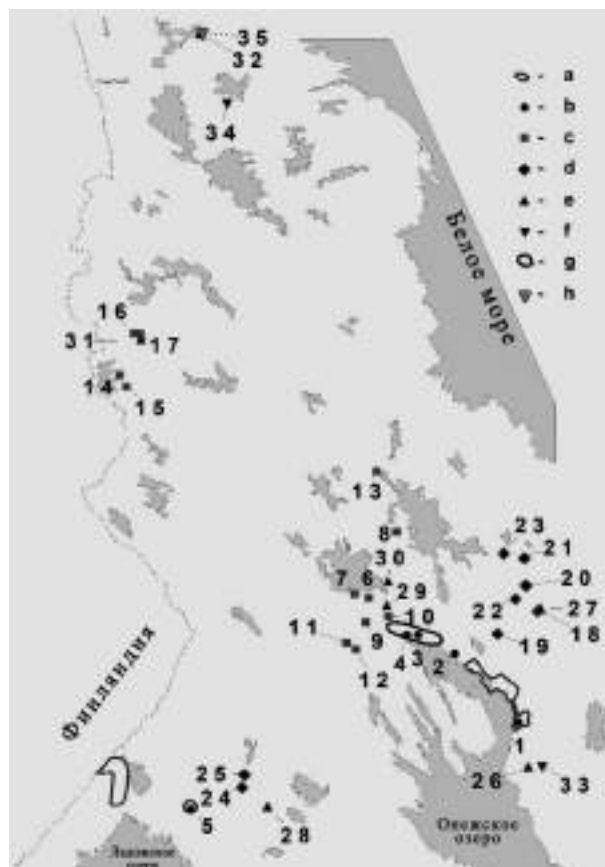
В результате работ Карельской геологической экспедиции и ИГ КарНЦ РАН выделены три фор-

мационных типа месторождений и проявлений талекка [7, 8]: *апоультрамафитовый тип* – формация железистых карбонат-талекковых руд, приуроченных к породам дунит-перидотитового ряда; *апоультрамафитовый тип* – формация талек-хлоритового (горшечного) камня, связанного в основном с породами перидотит-пикритового ряда; *апокарбонатный тип* – формация маложелезистых талекковых руд, связанных с магнезиальными карбонатными породами. Названные формационные типы месторождений и проявлений характеризуются различными обстановками нахождения и направлением использования полезного ископаемого.

Карельский кратон представляет собой отдельную самостоятельную талекконосной провинцию. На финской территории кратона известны проявления и эксплуатируются месторождения талекка в пределах сланцевого пояса Кайнуу и талеккового камня зеленокаменного пояса Суомуссалми-Кухмо. Более перспективной на талеккосодежащие образования представляется Карельская часть кратона, так как здесь более широко развиты благоприятные породные комплексы зеленокаменных поясов [3]. Талекковое сырье относится к разряду высокомагнезиальных пород (рис. 1).

Рис. 1. Основные области и точки высокомагнезиальных месторождений и проявлений Карелии (схема составлена В. В. Щипцовым)

(а) – площади, перспективные для поисков маложелезистого талекка; (б) – проявления маложелезистого талекка апокарбонатного типа: 1 – Пудожгорское, 2 – Габсельгское, 3 – Пиндушское, 4 – Фенькина Лампи, 5 – Саригора; (с) – месторождения и проявления талеккового камня апоультрабазитового типа: 6 – Каллиеве-Муреннанваара, 7 – Турган-Койван-Аллуста, 8 – Уросозерское, 9 – Вожемское, 10 – Остерозеро (Нижний Петтель), 11 – Черный Наволок (Совдозеро), 12 – Карзикозеро 13 – Парандовское, 14 – Няльма Губа, 15 – Каменная Река, 16 – Озерки, 17 – Костомукшское); (д) – месторождения и проявления талек-карбонатных руд железистого талекка апоультрабазитового типа: 18 – Светлоозерское, 19 – Повенчанка, 20 – Кумбуксинское, 21 – Южно-Вожимское, 22 – Золотопорожское, 23 – Вожмозерское, 24 – Хюрсюля, 25 – Игнойла); (е) – серпентиниты: 26 – Аганозерское, 27 – Светлоозерское, 28 – Хаутаваара, 29 – Вожемское, 30 – Кропотнаволок, 31 – Таловейс, 32 – Ханкус); (ф) – оливиниты: 33 – Бураковский, 34 – Тикшеозерский; (г) – Повенецкий рудный узел с проявлениями рибекит-асбеста: Краснополянное, Сапенцеко, Повенецкое; (h) – антофиллит-асбест: 35 – Ханкус



Тальковые руды

Маложелезистый тальк апокарбонатного типа в пределах Карельской части кратона связан с горизонтами магнезиально-карбонатных пород в терригенно-карбонатно-глинистых отложениях туломозерской свиты верхнего ятулия (онежская серия нижнего протерозоя). Эти породные комплексы распространены преимущественно на Прионежской, Приладожской площадях Южной Карелии (проявления талька Пудожгорское, Габсельгское, Пиндушское, Центрально-Салминское), в южном крыле Кумсинской синклинали Центральной Карелии (проявление Фенькина Лампи). Здесь, очевидно, происходило оталькование доломитов за счет привноса кремнезема, связанного с постятулийским магматизмом. Известные проявления представлены пологопадающими залежами глинисто-тальковых сланцев, доломит-тальковых брекчиевидных пород мощностью первые десятки метров, протяженностью до нескольких сот метров, содержащими 25–65 % талька. Залежам нередко сопутствуют жилы стеатита мощностью 0,1–0,5 м с содержанием талька до 95 % [1]. Для установления достоверных перспектив данного вида сырья в Карелии требуются дополнительные специальные геологические изыскания, связанные, в первую очередь, с колонковым бурением.

Апоультрамафитовые карбонат-тальковые руды железистого талька Карельской части кратона локализованы в реликтовых структурах верхнеархейских зеленокаменных поясов. Установлены промышленные залежи в Каменноозерской структуре Сумозерско-Кенозерского, Рыбозерской Южно-Выгозерского, Хаутаваарской Ведлозерско-Сегозерского поясов. Среднее содержание талька в карбонат-тальковых рудах 45–55 %, магнезиального карбоната (брейнерит + магнезит) 40–50 %, остальную часть составляет хлорит, в небольших количествах (до первых процентов) могут содержаться магнетит и сульфиды. Руды железистого талька по составу, структуре и текстуре подразделяются на природные типы. Типы руд, содержащие незначительное количество хлорита, являются сырьем для получения талькового концентрата. При этом все типы можно рассматривать в качестве горшечного камня. Первичными для тальк-карбонатных образований являлись породы дунит-перидотитового ряда, преобразованные в результате регионального метаморфизма, а также автотемпературного метаморфизма

при магматизме, в серпентиниты. Последние, в свою очередь, при метасоматозе, сопровождавшем контактовый метаморфизм и региональный от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций, в тектонически ослабленных либо приконтактных зонах были превращены в тальковые руды. На примере Каменноозерской структуры можно предположить, что образование тальковых руд связано главным образом с эффузивной фацией ультраосновного магматизма.

Тальковый камень

Залежи *талькового камня* в пределах Карельского кратона локализованы в несколько отличающихся друг от друга геологических обстановках и имеют существенные вариации минерального состава. В границах Карельского кратона выделяются три главных обстановки нахождения талькового камня зеленокаменных поясов. В *первой обстановке* тальковый камень представлен тальк-карбонатными *породами* и карбонат-тальковыми *рудами*, связанными с эффузивной фацией ультраосновного вулканизма (коматиитами). Здесь залежам талькового камня нередко сопутствует никелевое оруденение. Примерами данной обстановки являются объекты тальковых руд: Светлоозерское месторождение, Золотопорожское и другие проявления Каменноозерской структуры, месторождение Повенчанка Рыбозерской структуры, а также финские месторождения Нуннанлахти, Кивикангас, Верикаллио верхнеархейского зеленокаменного пояса Суомуссалми-Кухмо [12, 13]. *Вторую обстановку* характеризуют залежи тальк-хлоритового камня месторождений и проявлений Сегозерской группы (месторождения Каллиево-Муреннанвара, Турган-Койван-Аллуста, некоторые проявления), связанные с ультрамафитами перидотит-пикритового состава Сегозерской блоковой структуры, обрамленной с запада и востока осадочно-вулканогенными образованиями Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Данная обстановка отвечает также развитию пород гимольской серии Костомукшской зеленокаменной структуры, характеризующейся не только наличием железорудных горизонтов, но и разномасштабных пластообразных тел ультрамафитов; последние представлены тальк-хлоритовыми породами, в различной степени обогащенными карбонатами. Массивные их разности по составу близки горшечному камню месторождений Сегозерской

группы. Горшечный камень имеет следующие вариации минерального состава: талька – 10–45 %, хлорита – 10–45 %, карбонатов – 0–20 %, серпентина – 0–45 %, амфибола – 0–50 %, рудных минералов (магнетит + сульфиды) – 2–9%. *Третья обстановка* связана с развитием пород контоксской серии нижней части разреза Костомукшской зеленокаменной структуры (по геологическим условиям близкой к Каменноозерской). Среди базальтов залегают горизонты ультраосновных вулканитов. Имеют место крупные выходы оталькованных серпентинитов, (район гранитоидного массива «Факторный»). По данным бурения, проводившегося Северной геологической экспедицией, и по результатам работ КарНЦ РАН, известно о широком развитии тальк-хлорит-тремолитовых пород (в частности, уч. Озерки-1), образовавшихся за счет ультраосновных вулканитов контоксской серии. *Тальк-хлорит-тремолитовые породы* представляют собой отдельную разновидность горшечного камня. Подобная разновидность пород встречается, в частности, и в разрезе месторождения Каллиево-Муреннанваара. Здесь в приконтактных с вмещающими гранитоидами участках развиты зоны *тальк-хлорит-тремолит-актинолитовых пород* мощностью от первых до 10 м. По простиранию залежи тальк-хлоритовые пород сменяются оталькованными серпентинитами, в которых эпизодически наблюдается подушечная отдельность, указывающая на лавовую природу материнских пород. *Особую обстановку* занимают месторождения талька, связанные с формациями нижнепротерозойского сланцевого пояса Кайнуу финской части Карельского кратона. В Финляндии тальк добывается на месторождениях Лахнаслампи, Хорсманано, Пехмюткиви фирмой Mondo Minerals Oy [12]. Приконтактные зоны залежей тальковых руд с вмещающими чёрными сланцами на месторождении Лахнаслампи представлены амфиболовыми скарнами, что свидетельствует о метасоматозе метаморфизованных терригенно-осадочных толщ, связанном с магматизмом.

Тальковое сырьё

Таким образом, в пределах Карельского кратона залежи талькового сырья локализованы: 1) в реликтовых структурах верхнеархейских зеленокаменных поясов (апоультрамафитовые руды железистого талька и тальковый камень Каменноозерской, Рыбозерской, Хаутаваарской, горшечный ка-

мень Сегозерской и Костомукшской структур Карелии, тальковый камень финских месторождений зеленокаменного пояса Суомуссалми-Кухмо), 2) в нижнепротерозойских формациях, где они ассоциируют с ультрамафитами сланцевого пояса Кайнуу (месторождения тальковых руд Финляндии) и терригенно-карбонатно-глинистыми отложениями верхнего ятулия (проявления апокарбонатных руд маложелезистого талька Южной и Центральной Карелии).

Наиболее перспективным тальковым сырьём для Карелии является апоультрамафитовый тип железистых карбонат-тальковых руд. Все известные проявления и месторождения локализованы в архейских зеленокаменных поясах. Минерально-сырьевая база республики с установленной рудоносностью промышленного уровня представлена в настоящее время месторождениями Светлоозерское (Сегежский район), Повенчанка (Медвежьегорский р-он), проявлением Игнойла (Суоярвский р-он).

Светлоозерское месторождение (рис. 2) расположено в Каменноозерской структуре Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса, где локализовано в Западно-Светлоозерском массиве, являющимся частью сложно построенной Светлоозерской субвулканической интрузии ультрамафитов. Этот массив относится к Возминской группе никеленосных интрузий, вмещающих никелевые проявления и тальк-карбонатные образования [7].

По химическому составу светлоозерские руды близки к сырью разрабатываемых месторождений Урала, заметно превосходя его по белизне. В частности, этот показатель у тальковых руд Шабровского месторождения 42–45%, а у светлоозерских 55–68% и выше. Светлоозерский тальк обладает уникальными природными свойствами, главными из которых являются пластинчатая форма частиц и высокая дисперсность, что определяет показатели, наиболее ценные потребителями тальковой продукции: высокую белизну, маслосъемность, большую удельную поверхность, низкую абразивность. Анализ физико-механических свойств светлоозерского талька, проведенный в 1989 г. в ЦНИИ бумаги, показал, что он находится на уровне «Финталька МТ-05», соответствуя лучшим сортам этой продукции на мировом рынке. Кроме того, по ряду показателей (белизне, степени желтизны, абразивности и др.) светлоозерский тальк превосходит каолин Глуховецкого месторождения Украины.

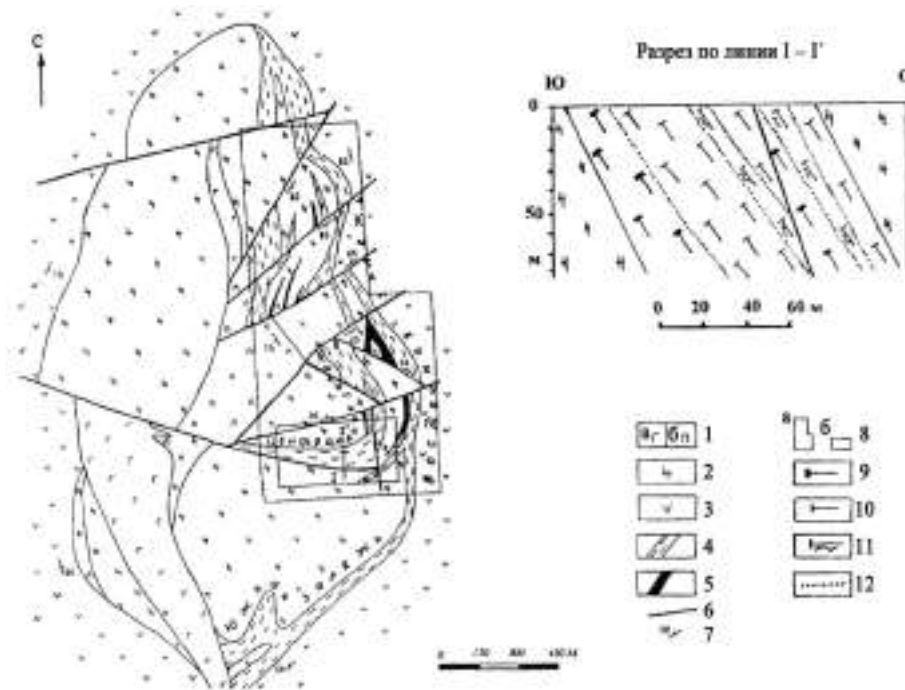


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Западно-Светлоозерского массива [7]

1 – дайки габбро (а) и пироксенитов (б); 2 – серпентиниты; 3 – вожминская серия, кумбуксинская свита: metabазальты, метатуфы и метатуффиты основного и средне-кислого состава; 4 – залежи тальковых руд; 5 – залежи медно-никелевых руд; 6 – разломы; 7 – элементы залегания; 8 – участки работ: а – поисковых, б – поисково-оценочных; природные типы тальковых руд: 9 – карбонат-тальковые крупнозернистые (тип I), 10 – карбонат-тальковые мелкозернистые (тип II), 11 – хлорит- (серпентин) -карбонат-тальковые (тип III); 12 – фациальные границы природных типов тальковых руд

Месторождение Повенчанка расположено в северной части Рыбозерской структуры (рис. 3) Южно-Выгозерского зеленокаменного пояса. Оно находится в пределах зоны сочленения северной и восточной ветвей структуры, локали-

зовано в ультрамафитах. Тектонический фактор, контролирующий месторождение, выражен крупным узлом пересечения субширотных и субмеридианальных разломов, обусловивших повышенную проницаемость этой части структуры.

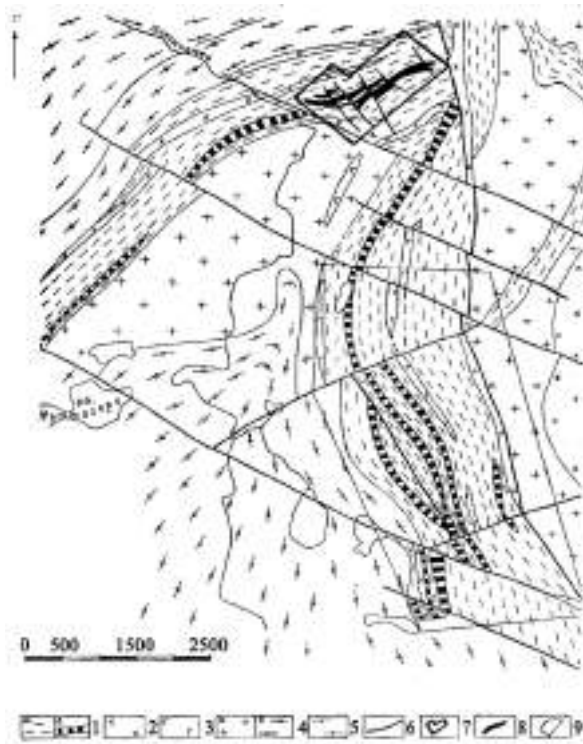


Рис. 3. Обзорная геологическая карта Рыбозерской структуры [8]

1 – лопийские осадочно-вулканогенные образования вожминской серии: а – нерасчлененные, б – горизонты ультрамафитов; 2 – диориты; 3 – габбро; 4 – верхнеархейские: а – плагиограниты, б – гнейсовидные граниты и полимиктиты; 5 – раннеархейские плагиогранитогнейсы; 6 – разломы; 7 – участок поисковых работ на тальковые руды; 8 – месторождение тальковых руд Повенчанка; 9 – Восточно-Рыбозерское рудное поле (Fe, Ti, Cr, Ni, Co, Au)

Определенный вклад в тектоническое строение месторождения внесла, вероятно, интрузия плагиогранитов, внедрившаяся в центральную часть Рыбозерской структуры, к экзоконтакту которой приурочено месторождение. Установлено, что ультрамафиты месторождения в результате метаморфо-метасоматических процессов практически нацело изменены и на современном уровне денудационного среза более, чем на 80% своего объема

сложены тальковыми рудами, а в остальной части представлены реликтовыми телами серпентинитов.

Проявление Игнойла расположено в северной части Хаутаваарской структуры Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Оно приурочено к висячему боку небольшого субвулканического тела ультраосновных пород, залегающего среди дацитовых и риолитовых порфиритов (рис. 4).

Рис. 4. Схематическое геологическое строение участка проявления тальковых руд Игнойла [8]

1 – вулканогенные образования каляярвинской свиты (AR₂kl): дацитовые метапорфириты, метадациты, риолитовые порфириты, кварцевые порфиры, сланцы по кислым эффузивам; 2 – габбро; 3 – метапироксениты; 4 – сланцы: хлорит-тремолитовые (а), тальк-хлорит-амфиболовые (б); 5 – серпентиниты апоперидотитовые: антигоритовые, оталькованные и карбонатизированные (а), антигорит-лизардитовые (б); 6 – залежи тальковых руд (в контуре оценки ресурсов Р₁); 7 – разломы; 8 – направление падения ультраосновного массива



В результате проведенных Карельской геологической экспедицией ревизионных работ к 1995 г. дополнительно получены данные о перспективности на тальковые руды еще нескольких участков Каменноозерской зеленокаменной структуры, включающих проявления *Вожмозерское, Золотопорожское, Южно-Вожминское, Кумбуксинское.*

По минеральному составу и структурным особенностям тальковые руд выявленных месторождений и проявлений зеленокаменных структур делятся на четыре главных природных типа (по В. Н. Фурману, С. Н. Бобылевой [7, 8]): тип I – **карбонат-тальковые крупнозернистые порфиробластовые**; тип II – **карбонат-тальковые мелкозернистые**; тип III – **хлорит- (серпентин) -карбонат-тальковые разнозернистые**;

тип IV – **карбонат-хлорит-тальковые разнозернистые (мелкозернистые)**. Главный компонент руд – тальк, во всех их выделенных типах представлен примерно одинаково. Он образует тонко-чешуйчатые (пластинчатые, листоватые) агрегаты белого цвета, реже отдельные более крупные (до 1 мм) листоватые зерна; обычно находится в сростках с другими минералами. Среднее содержание талька во всех типах руд – 45–55%. Карбонат находится с тальком примерно в равном соотношении, но его, как правило, несколько меньше (в среднем 40–50% во всех типах руд). Для I типа руд наиболее характерны унаследованные порфиробластовые структуры. Порфиробласты карбоната имеют размеры от 3–5 до 10–15 мм и представлены чаще всего темно-серым магнезитом. II тип отличается наложенной

порфиробластовой и гранолепидобластовой мелкозернистой (реже среднезернистой) структурой. Зерна карбонатов здесь мельче – до 1–2 мм, представлены, в основном, кристаллическим магнезитом (брейнеритом). Из петрографических исследований следует, что II тип руд представляется, в целом, метасоматически измененным типом I, где карбонаты становятся более железистыми. III и IV типам руд свойственна еще большая железистость карбоната; среди карбонатов преобладает доломит. Карбонат не является вредной примесью. Он легко отделяется при флотации и, кроме того, может рассматриваться как потенциальный полезный компонент для применения в промышленности, использующей карбонатное магнезиальное сырье. К вредным технологическим примесям относятся темноцветные минералы: хлорит, серпентин, магнетит и сульфиды. Содержание хлорита и серпентина в I и II типах

руд – до 10 %, в остальных – до 25 %. Магнетита во всех типах руд содержится 1–5 %, сульфидов – до 1 % (эпизодически до 3 %). Наиболее трудноотделимы при обогащении хлорит (образует, как и тальк, листовато-чешуйчатые агрегаты) и магнетит (часто находится в сростках с тальком). Между рудами I и II типов переходы постепенные. Руды IV типа отличаются от руд III типа большим содержанием хлорита и сильнее катаклазированы. Руды I типа по минеральному составу близки рудам II типа, но постоянная примесь магнетита в них вдвое больше, чем в последних. Учитывая технологические факторы, к наиболее качественным рудам относятся руды II типа, где доля темноцветных минералов минимальная. Наиболее распространены на изучаемых месторождениях и проявлениях руды I и II типов, составляющие 2/3 объема залежей. Их химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав тальковых руд I и II природных типов, мас. %

Месторождения (проявления)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	ппп	Нераств. остат.	Кислоторастворимые		
									MgO	Fe ₂ O ₃	CaO
Светлоозерское	33.7	1.4	30.9	0.23	9.7	3.5	20.6	55.2	13.0	6.5	3.5
Повенчанка	32.2	1.54	30.3	0.16	10.1	3.2	22.5	52.7	15.2	5.0	2.9
Игнойла	33.2	2.6	30.5	0.12	10.5	3.4	19.0	58.0	13.5	4.2	3.1

Данные Карельской геологической экспедиции.

Перспективными на тальк-хлоритовый (горшечный) камень в Карелии следует считать зеленокаменные структуры с развитыми в них ультрамафитами перидотит-пикритового состава, в особенности локальные структуры архейского возраста, заключенные в блоках гранитоидов, причем наибольший интерес могут представлять приконтактные зоны, где проявлены оталькование, хлоритизация, карбонатизация, амфиболизация. Наиболее изученными на настоящий момент являются месторождения и проявления Сегозерской группы. Перспективная площадь охватывает узел пересечения Суккозерско-Кожозерской широтной зоны разломов этапа протоактивизации с Хаутоваарско-Выгозерской мобильно проницаемой зоной (МПЗ). Залежи горшечного камня ассоциируются здесь с ультрамафитами (пикриты, перидотиты) реликтов толщ зеленокаменных пород Сегозерской блоковой структуры, обрамленной с запада и востока осадочно-вулканогенными образованиями Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.

Под термином «горшечный камень» понимается не только биминеральная (тальк-хлоритовая) массивная разновидность пород, но и другие выделяемые типы со следующими вариациями состава: талька 10–45 %, хлорита 10–45 %, карбонатов 0–20 %, серпентина 0–45 %, амфибола 0–50 %, рудных минералов (магнетит+сульфиды) 2–9 % [8].

Условия локализации залежей тальк-хлоритовых пород можно проиллюстрировать на примере месторождения *Каллиево-Муреннанваара* [6, 8], детально разведанного в 1930–1933 г. и эксплуатировавшегося до 1941 г. Сырье применялось в следующих отраслях промышленности: радио- и электротехнической (реостаты, электрораспределительные щиты и пр.); целлюлозно-бумажной (щелочноупорные кирпичи для печей Вагнера на Сегежском ЦБК); пищевой (плиты для пода конвейерных печей в хлебопекарнях); в качестве облицовочного материала фасадов зданий и их декоративных деталей (дома в С.-Петербурге начала XX века в стиле

«модерн», Дронтгеймский собор в Хельсинки). Кроме того, была доказана возможность применения тальк-хлоритового порошка в качестве наполнителя для силикатных красок и при изготовлении сургуча и инсектофунгисидов.

Месторождение Турган-Койван-Аллуста детально разведано в 1957 г. как сырье для производства дуста из карбонат-тальк-хлоритовых сланцев. В настоящее время не эксплуатируется.

В ИГ Кар НЦ РАН, под руководством В. И. Соколова, проводилось сравнительное изучение свойств образцов тальковых руд месторождений Финляндии и карельского талькового камня месторождений Сегозерской группы. В отличие от карельских образцов (тальк-хлоритовые сланцы), для талькового камня Финляндии характерно очень низкое содержание хлорита, и повышенное – карбонатов и рудных минералов (тальк-карбонатный камень) (табл. 2).

Таблица 2

Минеральный состав образцов талькового камня, %

Месторождение	Тальк	Хлорит	Карбонат	Рудные	Флогопит
Kivia oy Verikallio	49.0	–	36.3	14.7	–
Kianta Stone	49.9	–	38.9	10.9	1.4
Nunnan Lahti	55.0	–	30.6	14.0	0.4
Каллиев-Муреннанваара	52.0	18.0	25.5	4.5	–
Турган-Койван-Аллуста	59.6	14.5	18.3	7.6	–

Карельский тальковый камень месторождений Сегозерской группы (Каллиев-Муреннанваара и Турган-Койван-Аллуста)

содержит заметное количество хлорита, а, следовательно, повышенное содержание Al_2O_3 (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав образцов талькового камня, мас. %

Месторождение	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	п.п.п.	Σ
Nunnan-Lahti	31.8	0.13	0.96	4.71	0.079	33.60	0.21	0.02	0.01	0.12	22.18	99.74
Каллиев-Муреннанваара	34.5	0.19	3.56	10.69	0.143	26.86	6.44	0.02	–	0.09	17.17	99.68
Турган-Койван-Аллуста	38.2	0.18	4.63	10.48	0.22	26.60	5.19	0.04	0.02	0.16	13.68	99.40

Были проведены сравнения физико-механических свойств природного талькового камня ряда объектов (табл. 4) и прочностных свойств термообработанного талькового камня (табл. 5). Отмечено, что во всем интервале температур обжига прочность образцов месторождения **Nunnan Lahti** **значительно ниже** этого показателя для карельских пород. Это связано, очевидно, с очень малым содержанием в них хлорита, а, следовательно, и недостатком связующего, обеспечивающего спекание материала. Поэтому, как показали результаты исследования термостойкости пород при попеременном нагревании их до 600 °С и охлаждении в воде, термостойкость, например, для тальк-хлоритовых пород месторождения Каллиев-Муреннанваара значительно выше, чем для пород месторождения **Nunnan Lahti** и составляет более 130 и 35 циклов испытаний до разрушения образцов соответственно. Коэффициент

теплопроводности природного талькового камня, по сравнению с другими породами, имеет довольно высокое значение. Это обусловлено наличием в них минералов с относительно высокой тепловой проводимостью. Коэффициенты теплопроводности талька, хлорита и карбонатов составляют 2.9–4.0, 4.2 и 3.9–5.5 Вт/(м·К) соответственно. Увеличению теплопроводности тальксодержащих пород способствует наличие в них значительного количества рудных минералов, имеющих еще более высокие коэффициенты теплопроводности. Таким образом, результаты исследований свойств природного и термообработанного талькового камня обоих типов показали, что по плотностным и теплофизическим характеристикам они несколько отличны, а породы, не содержащие хлорита, имеют пониженное значение показателя прочности и термостойкости во всем интервале температур обжига.

Таблица 4

Физико-механические свойства и теплопроводность природного талькового камня

Показатель	Kivia oy Verikallio	Kianta Stone	Nunnan-Lahti	Каллиево-Муреннанваара	Турган-Койван-Аллуста
Объемная масса, г/см ³	3.00	2.96	3.01	2.89	2.86
Истинная плотность, г/см ³	3.02	2.99	3.02	–	2.92
Пористость эфф. %	0.41	0.89	0.40	0.29	1.00
Пористость общ. %	0.70	1.00	0.60	–	2.16
Водопоглощение, %	0.14	0.30	0.13	0.09	0.35
Прочность в сухом состоянии, МПа	55.0	40	24.5	55.0	39.0
Кэф-т тепл-сти, Вт/(м·К)	4.93	6.40	4.73	4.70	3.46

Примечание: коэффициент вариации при определении коэффициента теплопроводности достигает 30 %.

Таблица 5

Зависимость прочности пород от температуры их обжига

№ п. п.	Температура обжига, °С	Предел прочности при сжатии, МПа		
		Nunnan Lahti	Каллиево-Муреннанваара	Турган-Койван-Аллуста
1	100	24.5	55.3	39.2
2	450	19.2	60.4	49.5
3	600	19.8	52.2	63.3
4	700	16.2	54.5	58.5
5	800	9.6	59.2	67.7
6	900	18.2	132.7	98.3
7	1000	38.9	157.0	128.0
8	1050	40.8	130.0	98.3
9	1100	36.8	92.3	82.0
10	1200	33.6	107.5	84.8
11	1250	38.5	120.8	115.0

Направления практического применения талькового сырья

Маложелезистый тальк используют в качестве порошка и применяют в медицине (как связующий наполнитель таблеток, в косметической продукции, в качестве присыпок для лечения пролежней и кожных заболеваний, «детские присыпки»), в парфюмерии (наполнители мазей, кремов, пудр, теней, дезодорантов, «жидкий тальк» и пр.), при уходе за игрушками – присыпка детских игрушек, воздушных шаров и пр., в спортивной индустрии (тальковая пудра), в быту (тальком пересыпаются различные резиновые изделия – перчатки, обувь и пр. – для предотвращения слипания и сохранения формы), в пищевой промышленности (тальком обсыпают конфеты, его используют при изготовлении специальных форм для пищевых продуктов, тальк могут добавлять в пищевые добавки – БАД). Маложелезистый тальк является наполнителем бумажной массы (благодаря своей высокой бе-

лизне), красок, лаков, керамики (именно маложелезистый – для радиоизоляционной), может использоваться в химической промышленности. Использование талька в медицине и пищевой промышленности обусловлено его инертностью по отношению к активным реагентам пищеварительного тракта. Маложелезистый тальк можно использовать и в других областях, где подойдет железистый.

Железистый тальк карельских объектов имеет несомненные перспективы. Как было показано выше, микротальк светлоозерского типа (месторождения тальковых руд Светлоозерское, Повенчанка, Игнойла, проявления Каменноозерской структуры) находится на уровне некоторых сортов «Финталька» по белизне и его можно применять в качестве наполнителя бумажной массы. Тальковый концентрат апоультрамафитовых объектов можно применять в технике и быту – им пересыпаются различные резинотехнические изделия для пре-

дотвращения слипания, в технике его можно использовать как твердую смазку и в качестве присадок в моторные и агрегатные масла.

Тальковый камень Карелии имеет несколько разновидностей. Тальковые руды объектов железистого талька апоультрамафитового генезиса являются одновременно и тальковым камнем преимущественно тальк-карбонатного (магензит-брейнерит) состава, аналогичного сырью финских месторождений талькового камня зеленокаменного пояса Суомуссалми-Кухмо. В пределах площади Сегозерской группы имеются месторождения тальк-хлоритовых сланцев и ряд проявлений. В некоторых случаях на одном объекте можно встретить тальковый камень разного минерального состава – от тальк-хлоритового до тальк-карбонатного, тальк-тремолитового и др. (пример – участок Вожемский в районе оз. Сегозеро, Медвежьегорский район). В зависимости от состава могут варьировать свойства и меняться направления применения материала, как природного так и термообработанного.

Талькосодержащие породы могут применяться в качестве штучного камня (для изготовления цельнопильных изделий) и в дробленном виде.

Тальковый камень обладает ценными для ряда производств свойствами: щелоче- и кислотоупорность, высокая огнеупорность, теплоемкость, легкая обрабатываемость. Природный камень можно использовать в электротехнической (реостаты, электрораспределительные щиты и пр.), целлюлозно-бумажной (щелочеупорные кирпичи для печей Вагнера), пищевой (плиты для пода конвейерных печей в хлебопекарнях) отраслях промышленности, в качестве строительного и облицовочного материала, для изготовления каминов, бытовой посуды и др. В мировой практике (Финляндия и др.) тальковый камень наиболее широко используется как декоративный (облицовочная плитка, декоративная посуда и пр.), в строительстве печей и каминов, как банный камень.

При термообработке тальковый камень приобретает новые свойства, – высокую пористость и прочность, более значительную морозостойкость и стойкость к воздействию агрессивных сред, которые позволяют использовать его в футеровке, для изготовления обожженных пресованных изделий и в других направлениях.

Измельченную породу можно использовать в качестве наполнителя для силикатных кра-

сок, битума при изготовлении мягкой кровли, основы для сургуча и инсектофунгисидов, при создании композиционных материалов, керамики, бетона. Добавки в шихту улучшают практически все свойства керамических изделий, и главное, значительно повышают их морозостойкость, что позволяет эффективно использовать изделия из керамики в условиях знакопеременных и больших перепадов температур.

Сотрудниками ИГ КарНЦ РАН дополнительно разработаны, расширены и апробированы пути применения талькового камня в технике, металлургии, в области строительных материалов. Это – получение материалов-наполнителей для особо прочных, жаростойких, морозостойких бетонов, разработаны технологии приготовления футеровки теплоаккумуляторов, изготовлены опытные образцы самой разнообразной по качеству и, соответственно, областям применения керамики, и др. [2, 4, 6, 9, 10, 11]. Талькосодержащие породы с определенными специфическими свойствами могут найти применение в триботехнике.

Оценка радиационно-гигиенической обстановки объектов талькового сырья

Сотрудниками ИГ КарНЦ РАН выборочно производились радиационно-гигиенические исследования объектов талькового сырья, образцов полезного ископаемого и вмещающих пород. Типичную радиационно-гигиеническую обстановку можно проиллюстрировать на примере месторождения талькового камня «Озерки-1» (район административного подчинения г. Костомукша). Определение удельной активности естественных радионуклидов (радия – 226, тория – 232 и калия – 40) выполнено гамма-спектрометрическим методом на аттестованном гамма-спектрометре со сцинтилляционным детектором БДЭГ2СП-1 № 2–286 и программным обеспечением «СПЕКТР-1С». Измерение и расчет аналитических параметров выполнены в соответствии с ГОСТ 30108–94. Определение удельных активностей естественных радионуклидов проведено по навескам из представительных проб горных пород. Исследования показали, что горные породы месторождения «Озерки-1» по радиационно-гигиенической обстановке относятся к 1 классу (удельная эффективная активность $A_{эфф} \leq 370$ Бк/кг, мощность экспозиционной дозы $\leq 0,20$ мк³/час) и могут применяться во всех видах строительства.

Выводы

Республика Карелия располагает существенной минерально-сырьевой базой талькового сырья. Воссоздавая в Карелии экономическую, научную, производственно-техническую базу

для изучения, поисков, разведки, оценки и эксплуатации объектов талькового сырья, можно поднять целый пласт российской индустрии и вывести экономику Карелии и России на совершенно новый, более высокий уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганин В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Отчет о результатах ГГС масштаба 1:50000 и общих поисков никеля в пределах Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1989.
2. Завёрткин А. С., Фролов П. В., Ильина В. П. Разработка технологии приготовления футеровки теплоаккумуляторов из талькосоудержающего сырья // В сб. «Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья. Сборник статей X Российского семинара по технологической минералогии, 2016. С. 94–98.
3. Металлогения Карелии. Отв. ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 340 с.
4. Попова Т. В., Ильина В. П., Климовская Е. Е., Фролов П. В., Инина И. С. Оценка минералого-технологических свойств тремолит-актинолитовых пород Карелии для получения керамики // Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 154–160.
5. Романович И. Ф. и др. Месторождения талька СССР. М.: Недра, 1973. 224 с.
6. Соколов В. И. Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск: 1995. 128 с.
7. Фурман В. Н. и др. Отчет о результатах поисковых и поисково-оценочных работ на карбонат-тальковые руды в пределах Светлоозерского массива ультрамафитов в 1990–1994 г. Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1995.
8. Фурман В. Н., Афонина Е. Н. Отчет о результатах поисков тальковых руд и тальк-хлоритового камня в Республике Карелия в 1990–1994 г. Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1995.
9. Шеков В. А. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на месторождении талькового камня «Озерки» (Облицовочный камень), проведенных на территории административного подчинения города Костомукша Республики Карелия в 2005–2008 гг. 2010, Фонды Кар ТФГИ.
10. Щипцов В. В., Ильина В. П., Попова Т. В., Фролов П. В. Высокомагнезиальные промышленные минеральные породы Карелии в потенциальном производстве огнеупоров и керамических материалов различного назначения. // Огнеупоры и техническая керамика. Издательство: ООО «Меттекс» (Истра), 2013. Стр. 40–46.
11. Ilyina V. P., Frolov P. V., Klimovskaya E. E., Tkacheva S. G., Shekov V. A. Karelia's talc-bearing rocks, their properties and possible application (exemplified by the Kallievo-Murennanvaara deposit) // Proceedings of 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM2017, June 29 – July 5, 2017, Albena. V. 17. Issue 13. P. 479–486.
12. Niemela M. Talk-magnesite deposits in Finland / Mineralia Slovaca, 2001. P. 561–566.
13. Tuni M., Michailov V. & Furman V. Geology and commercial assessment, and utilization of talc deposits. Comprehensive assessments of nonmetalliferous deposits // Proceedings of the Finnish-Soviet Symposium / Ed. H. Niini. Otaniemi. 1991. P. 25–38.

DOI: 10.17076/tm13_7

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ)

Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Бондарчук И. Б., Сычева Н. А., Шувалова Ю. Н., Якушина О. А.

ФГБУ «ВИМС» им. Н. М. Федоровского, Москва

Общая тенденция к осложнению поисков минерального сырья высокого качества, низкой вероятности открытия новых крупных месторождений, вовлечения в переработку горно-промышленных отходов требуют разработки

принципиально новых технологий добычи и переработки полезных ископаемых – экономически доступных и комплексных, обеспечивающих извлечение всех полезных компонентов с минимальными потерями в рамках рационального

природопользования. В связи с этим в последние десятилетия отмечается интенсивное развитие прикладной минералогии и, в частности, одного из ее современных направлений – минералогического материаловедения. В рамках этого направления разрабатываются принципы выбора и создания материалов из минерального сырья, включая отходы его добычи и переработки.

Основы минералогического материаловедения были заложены в начале прошлого века ведущими учеными России – В. И. Вернадским, А. Е. Ферсманом, Н. М. Федоровским, И. П. Бардиным, в своих трудах четко обозначившими проблему – комплексное использование минерального сырья, которое в дальнейшем послужило основой рационального недропользования, определяющего устойчивое развитие цивилизации.

Сегодня минералогическое материаловедение решает широкий круг задач, нередко пересекающихся или взаимно дополняющих задачи технологической минералогии. Главные стратегические направления современного минералогического материаловедения сформулировал в 2005 году А. Д. Верхотуров [1]. В настоящее время к ним относятся:

- комплексное использование минерального сырья за счет безотходных технологий его добычи и переработки;
- использование экологически дружественных технологий получения материалов различного назначения из минерального сырья природного и техногенного происхождения;
- создание материалов, обладающих благоприятным сочетанием эксплуатационных свойств и себестоимостью изготовления;
- близость сырьевых объектов к предприятиям, изготавливающим материалы с заданными составом, строением, свойствами.

Стратегия и тактика определяют изучение полезных ископаемых и их дальнейшее использование в различных отраслях отечественной промышленности. Очевидно, что основная роль в исследовании минерального сырья сегодня принадлежит минералогическим методам. В зависимости от особенностей объекта исследования и решаемых задач используется определенный комплекс методов минералогического анализа [2].

В последнее время Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (ВИМС) активно

работает в области минералогического материаловедения. Значительный объем исследований связан с изучением исходного минерального сырья для изготовления керамических изделий, контролем качества на разных стадиях технологического процесса и готовой продукции. Объектами исследования являются сырье различных месторождений, отвалы хвостов обогащения горных пород, шихта, необходимые добавки, используемые при изготовлении конкретных изделий, а также сами изделия (кирпичи, плиты, плитки и пластины разного назначения, огнеупоры и др.).

Для получения качественного керамического кирпича важно профессиональное прогнозирование состава исходной массы и режимов ее обжига. Достоверная информация о минеральном составе исходного сырья и добавок позволяют априорно определять фазовый состав кирпича, а, следовательно, присутствие тех или иных минеральных фаз, отвечающих за физико-механические показатели (цвет, водопоглощение, морозостойкость, кислотостойкость, огнеупорность и т. д.). Сведения о минеральном и химическом составе исходной глины могут способствовать управлению процессами фазообразования при обжиге, определять необходимые добавки в шихту. Известно, что при обжиге в одинаковых условиях каолинит-гидрослюдистых и каолинитовых глин содержание вновь образованного муллита в каолинит-гидрослюдистых глинах ниже [3]. На количество муллита также влияет степень совершенства структуры исходного каолинита.

Для примера рассмотрим некоторые аспекты изготовления керамического кирпича на одном из российских заводов. В качестве сырья используются местные песчано-глинистые интенсивно карбонатизированные породы, сформированные кварцем, полевым шпатом, кальцитом, доломитом. Глинистый материал, на долю которого приходится порядка 30%, отличается полиминеральным составом: монтмориллонит, каолинит и частично гидратированный мусковит присутствуют практически в равных количествах, содержания смешанослойного иллит-монтмориллонита и хлорита значительно меньше.

В процессе изготовления кирпича происходит изменение минерального состава под воздействием температуры обжига, формируется морфоструктурный облик изделия и в целом

кирпич рассматривается как обломочная порода. По мере повышения температуры глинистое вещество аморфизуется и происходит разложение кальцита и доломита. Минеральный состав цемента зависит от состава исходной шихты. Так, в зависимости от особенностей монтмориллонита, могут образоваться как энстатит (в данном случае), так кордиерит и периклаз. Тонкодисперсное строение новообразованных минералов в составе цемента, вероятно, объясняется повышением скорости нагрева при обжиге.

Готовые кирпичи имеют практически одинаковый фазовый (минеральный) состав, отличаются количественным соотношением обломочного и цементирующего материала. В целом

для них типичны близко одинаковые структурные особенности: одновременное присутствие обломков кварца и полевого шпата разного гранулярного состава и морфологии, количественное преобладание полиминерального цемента базального типа скрытокристаллического строения, гетерогенность кварца, главного минерала обломочной части, которая обусловлена разными причинами (перекристаллизация, замещение, деформация и пр.), наличие полостей (пор), неравномерно распределенных в кирпичах (рис. 1). Вероятно, именно структурные признаки для кирпичей, генезис которых определяется природными особенностями сырья, оказывают значительное влияние на образование трещин в готовых изделиях.

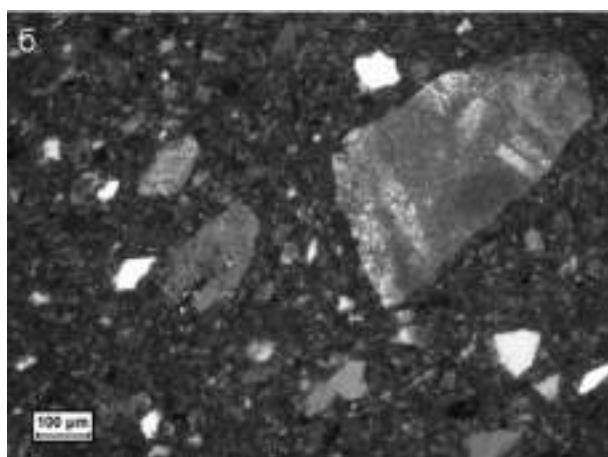
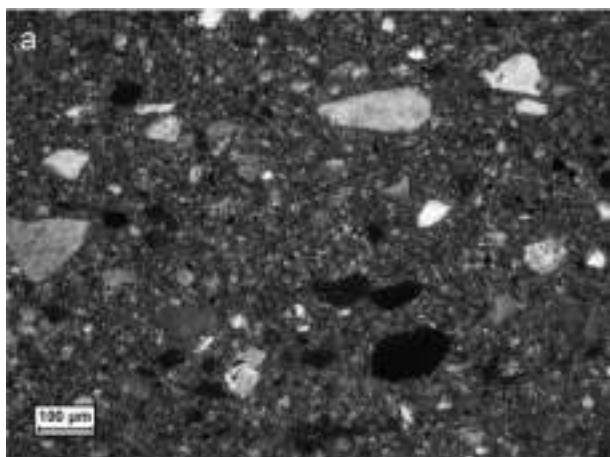


Рис. 1. Фото шлифов керамических кирпичей: а – пятнистая текстура кирпича, обусловленная неравномерным распределением обломочных зерен; б – чешуйчатое и афанитовое строение основной (цементирующей) массы. Проходящий свет, николи скрещены

Особое внимание следует обратить на образование отдельных фаз, которые влияют на качество кирпичей. Например, муллита, который обычно не определяется оптико-петрографическим методом в шлифах, но надежно идентифицируется рентгенографическим анализом.

Цемент в кирпичах, как правило, имеет полиминеральный состав: мелилит, энстатит, волластонит, муллит, диопсид. Все минералы имеют искусственное происхождение, нередко представлены тонкодисперсными фазами (что, вероятно, связано с увеличением скорости нагрева при обжиге), поэтому для их изучения привлекаются методы растровой электронной микроскопии (рис. 2).

Кварц, полевой шпат и другие минералы обломочной части претерпевают ряд изменений по мере увеличения температуры обжига. Полевые

шпаты трещиноватые, часто с расплавленной сердцевинкой; кварц изменен, носит следы перекристаллизации, его содержание уменьшается за счет образования тридимита и кристобалита. Эти превращения определяют формирование структуры керамических изделий, влияющей на прочность и другие характеристики керамических изделий.

На основании результатов комплексных исследований можно сделать вывод о сложных физико-химических процессах, протекающих при обжиге керамических изделий. Минералогическая информация позволяет говорить о качестве исходного сырья, прогнозировать влияние состава шихты за счет различных добавок на конечную продукцию и контролировать технологические процессы изготовления керамических изделий на всех стадиях.

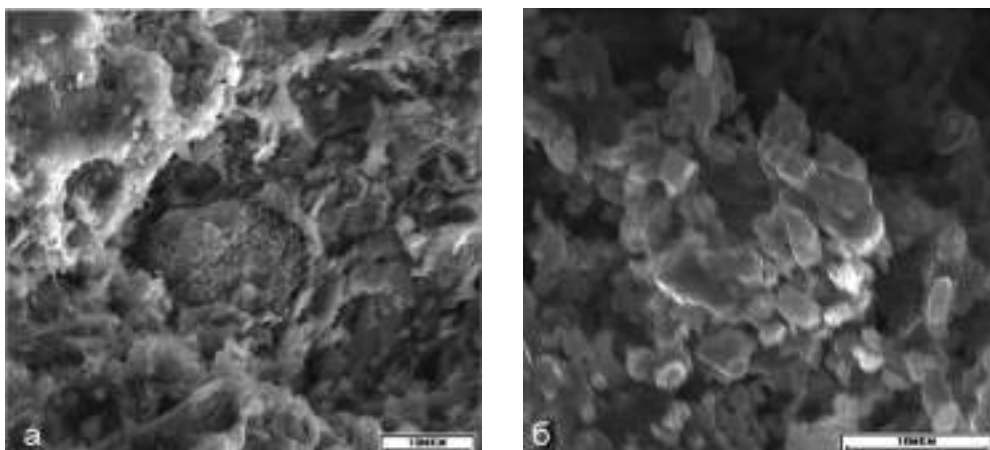


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения: а – мелкое корродированное выделение, вероятно, диопсида среди тонкого зернисто-чешуйчатого агрегата меллилита; б – мелкие удлиненные таблитчатые выделения диопсида

ЛИТЕРАТУРА

1. Верхотуров А. Д., Ершова Т. Б. Минералогическое материаловедение новый раздел науки о материалах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2005. С. 205–213.

2. Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Прогнозная оценка качества минерального сырья методами прикладной минералогии // Сборник статей по материалам докладов

VII Российского семинара по технологической минералогии «Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 46–49.

3. Павлов В. Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики М.: Стройиздат, 1976. 240 с.

DOI: 10.17076/tm13_8

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО ГРАНАТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ МУСКОВИТ-ГРАНАТОВЫХ СЛАНЦЕВ ЗАПАДНЫХ КЕЙВ

Потокин А. С.¹, Степенищikov Д. Г.², Войтеховский Ю. Л.³

¹Горный институт КНЦ РАН;

²Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты;

³Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

В России имеются большие запасы граната. К примеру, в Карелии обнаружены 13 месторождений, из которых можно отметить Тербеостровское с потенциальным ресурсом более 1 млн т руды, проявление Западно-Плотинское с прогнозными ресурсами 50 млн т руды, а также проявление Высота-181, ресурсы которого оцениваются в 12 млн т руды [1]. Крупные месторождения граната также известны на Западных Кейвах – Макзапахк, Ровозеро, Тахлинтуайв и др. Наибольшее количество граната концентрируется в мусковит-гранатовых сланцах и гранатитах, образуя пласты

шириной десятки и длиной сотни метров с содержанием граната около 10%, в отдельных случаях – до 50%. Гранат альмандин выделяется в форме крупных кристаллов размером от 1 до 25 см [2].

Геологическое строение и промышленный потенциал известных месторождений граната в Западных Кейвах сходны. Так, месторождение г. Тахлинтуайв расположено на вершине пологого холма, сложенного гранатслюдяными сланцами. Среди других месторождений региона оно характеризуется наиболее чистыми и хорошо ограненными гранатами размером

3–6 см, до 10 см. Зона, максимально обогащенная гранатом, протягивается на 500 м при ширине 20 м. Содержание граната в породе составляет не менее 10 об. %. В. И. Влодавец оценил запасы месторождения по категории С в 150 тыс. т. Позднее Л. Я. Харитонов переоценил запасы в 80 тыс. т при глубине отработки до 20 м и извлечении граната из породы 10%. Месторождение г. Макзапахк расположено на вершине меридионального хребта Восточный Макзапахк. Здесь к сланцевой толще близко подходят щелочные граниты. Повышенная концентрация граната приурочена к замковым частям поперечных складок. Вблизи гранитов наблюдается замещение гранатов мусковитом, биотитом, кварц-полевошпатовым материалом и хлоритоидом. Наиболее богатая гранатом зона имеет длину 500–600 м при ширине 10–15 м. Гранат размером более 3 см составляет 7–10 об. % породы. Реже встречаются кристаллы до 30 см. В. И. Влодавец оценил запасы по категории С в 300 тыс. т, Л. Я. Харитонов переоценил их в 48 тыс. т при глубине отработки до 20 м и извлечении граната из породы 10%. Месторождение в 3 км к западу и юго-западу от оз. Ровозеро расположено на субмеридионально вытянутых холмах, сложенных гранат-слюдяными сланцами. Две зоны обогащения гранатом приурочены к замковым частям поперечных складок. Их ширина 10–20 м при длине 500–600 м. Качество граната невысокое – он окислен и содержит много включений кварца. Размеры кристаллов 2–5 см, до 8 см. Запасы по категории С определены М. Д. Вагаповой в 120 тыс. т. Месторождение г. Берёзовая-II расположено в 4 км к юго-западу от оз. Ровозеро на обрывистом юго-западном склоне широкого холма, имеет ширину 10 м и длину 200 м. Высокие концентрации граната приурочены к замковой части крупной поперечной складки. Вкрест простирания его количество уменьшается, в сланцах появляется микроклин. Наиболее богатая гранатом зона имеет ширину 5–6 м и длину 100 м. Гранат крупный, в среднем 3–5 см, нередко кристаллы до 15 см. Крупные гранаты образуют гнездовые скопления. Среднее содержание граната в породе 25 об. %, но может достигать 50 об. % и более. Запасы по категории С определены М. Д. Вагаповой в 330 тыс. т, Л. Я. Харитонов переоценил их в 10200 т при отработке самого богатого тела размером 5×15×100 м и извлечении граната из породы 10%. Месторождение

г. Берёзовая-I располагается в 1,5 км к югу и аналогично по геологическому строению и запасам.

Кейвский рудный район экономически не освоен, удален от промышленных центров и транспортных коммуникаций. Расстояние до ближайшего крупнонаселенного города Мурманской области (Апатиты) составляет 150–250 км, до села Ловозеро 100–200 км, до морского порта Гремиха 80–100 км. Строительство железнодорожной ветки в сторону кейвских месторождений остановлено в 1953 г. На крайнем западе проходят железная дорога и параллельная ей грунтовая дорога от г. Кировск до г. Ревда, а на юго-западе – грунтовая дорога вдоль Панских тундр до оз. Чурозеро. Имеются два аэродрома местных авиалиний в селах Краснощелье, Каневка и площадка для легкой авиации около горы Шуурурта.

В виду отсутствия в настоящее время выстроенной логистики абразивные гранаты Западных Кейв не столь ликвидны как руды платиновых металлов, запасы которых подсчитаны в расположенных южнее Федорово-Панских тундрах. Однако, если освоение последних окажется рентабельным, что потребует строительства дороги от пос. Октябрьский через Марьокские болота, то одновременно в значительной мере будет решена проблема вывоза гранатового концентрата и понижена его себестоимость [3].

При анализе местности Западных Кейв с использованием поисково-информационной картографической службы Яндекса «Яндекс-карты» был выявлен неразрывный водный путь, по которому теоретически возможна транспортировка гранатовой руды для ее дальнейшего обогащения от месторождения г. Ровгора (Зап. Кейвы, Кольский п-ов, Россия) до ЗАТО г. Островной по водному маршруту: оз. Ровозеро – р. Рова – оз. Кальмозеро – р. Иоканга – губа Иоканга (общая протяженность 224 км). Также был выявлен второй, более короткий маршрут (94 км) от г. Ровгора до с. Ловозера однако, между реками Рова и Ленъявр водный путь разрывается участком суши, протяженностью около 830 м.

При заинтересованности малого и среднего бизнеса на условиях предпринимательского риска, наличия на рынке технико-технологической основы для создания технологических комплексов выделения гранатов из руд Западных Кейв и их измельчения для получения гранатового концентрата в г. Островной может быть создано малое промышленное предприятие по добыче

абразивных гранатов Западных Кейв. Далее полученный гранатовый концентрат может быть отправлен из порта Гремеха водным сообщением в любой морской порт РФ.

Применение гранатового продукта в промышленности

Поскольку гранат относится к перспективным индустриальным минералам, области его использования постоянно расширяются. Потребление гранатового продукта по отраслям распределяется примерно следующим образом: 40% – очистка поверхностей, 24% – очистка воды, 12% – гидроабразивная резка, 12% – изготовление абразивов, 6% – изготовление мягких абразивов, 4% – нефтяная промышленность, 2% – прочие отрасли. Конкретная область применения гранатового песка зависит от фракции. Самые высокие требования по фракционности к абразивам предъявляются для применения обработки поверхностей, гидроабразивной резки и очистки питьевой воды. Для этих целей содержание чистого граната в продукте должно быть не ниже 95%. Для очистки технической воды содержание чистого граната в смесовых гранат-кварцевых песках может составлять от 55 до 65%.

Электроимпульсный метод дезинтеграции для получения чистого гранатового концентрата

Методы обогащения граната зависят от свойств минералов, слагающих руду и уровня развития техники. За рубежом на небольших предприятиях, добывающих гранат из верхних выветрелых горизонтов и россыпей, обогащение ведется путем промывки и просеивания. В России для обогащения руд предложена гравитационно-магнитная схема, характеризующаяся более высокой эффективностью процесса извлечения граната [1]. Для оценки перспективности переработки гранатосодержащей руды крайне необходимы ее технологические испытания как потенциального абразивного сырья в соответствии с современными требованиями промышленности.

В 2017 г. Геологическим институтом (ГИ КНЦ РАН) и Центром физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН (ЦЭС КНЦ РАН) впервые были проведены исследования с целью выявления возможности получения чистого гранатового концентрата из гранат-сланцевых сланцев Западных Кейв (месторождение Макзапахк) с применением метода электроимпульсной дезинтеграции (ЭИД),

отличающегося повышенной селективностью разрушения по сравнению с механическими способами. В основе метода лежит разрушение материала под действием силовых полей, генерируемых каналом электрического пробоя твердого тела при импульсном выделении в нем энергии накопителя [4, 5].

В методе ЭИД используются импульсные напряжения с амплитудой свыше 250 кВ, крутизной фронта импульса напряжения не ниже 300–500 кВ/мкс (в диэлектрической среде) и 2000–3000 кВ/мкс (в воде), с энергией от сотен джоулей до нескольких килоджоулей. Метод отличается высокой энергетической эффективностью и уникальными технологическими особенностями, позволяющими универсально использовать его для бурения скважин различного диаметра и назначения, дробления и измельчения руд и технических материалов, резки, поверхностной обработки массива и блочного камня и др. [6]. Метод ЭИД с высокой технологической эффективностью апробирован на рудах с крупнокристаллическими включениями (слюда, асбест, драгоценные камни). Электроимпульсная технология вскрытия кристаллосырья отличается минимальным нарушением целостности освобождаемых кристаллов, выход кондиционного продукта в несколько раз выше, чем при других способах извлечения. Столь высокий технологический эффект на продуктах очень высокой стоимости создает предпосылки для обеспечения экономической эффективности технологии при существующем уровне ресурса работы электротехнического оборудования. В определенной мере это справедливо и для гранатов технического назначения (Западнокейвские, Карельские гранаты), так как благодаря относительно крупным размерам и высокому их содержанию в породе вскрытие электроимпульсным способом будет способствовать извлечению кристаллосырья с высокой производительностью при относительно низких энергетических затратах.

Испытания по получению мономинерального гранатового продукта с использованием ЭИД проводились в три этапа (рис. 1):

1. Выделение кристаллов граната из штуфов слюдяного сланца (1, 2);
2. Электроимпульсная дезинтеграция выделенных кристаллов граната (3, 4);
3. Разделение продукта по фракциям и отмывка гранатового продукта от слюдяных включений (5, 6).

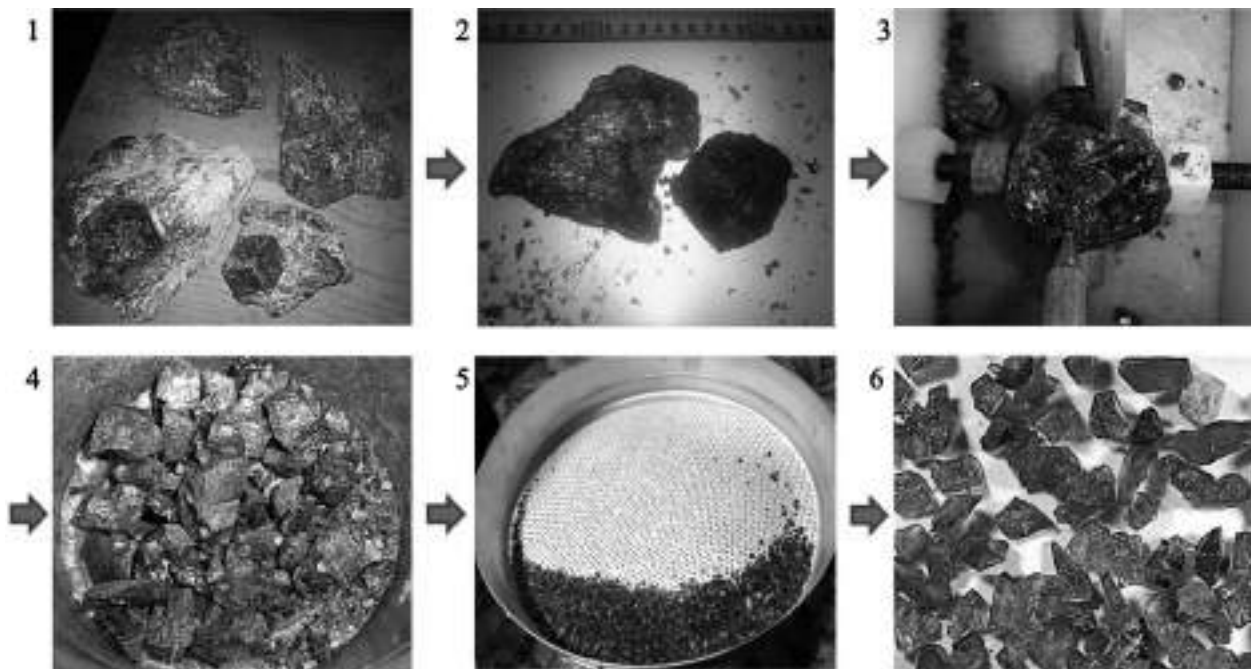


Рис. 1. Этапы получения мономинерального гранатового продукта с использованием ЭИД

Исходным материалом для исследования являлись несколько штучков слюдяного сланца месторождения г. Макзапахк, Зап. Кейвы, содержащие кристаллы граната альмандина ромбододекаэдрического габитуса размером до 5 см. Первый этап выделения кристаллов гранатов с применением ЭИД проводился в двухэлектродном устройстве (пробойнике) с разрядным промежутком 20–30 мм, при импульсном напряжении до 300 кВ, гарантирующем режим электроимпульсного пробоя с внедрением разряда в породу. Процесс дробления длился до полного высвобождения кристаллов граната. Опыты показали, что крупные и мелкие кристаллы граната хорошо выделяются из породы с минимальными примазками слюдита.

Второй этап заключался в дроблении непосредственно самих кристаллов граната с применением ЭИД до получения наиболее мелкой фракции гранатового продукта. Для разрушения крупных кристаллов граната процесс производился последовательно с применением двух различных камер – пробойника с подводной электродной системой «острие-острие» и порционной камеры закрытого типа с электродной системой «острие-полусфера». В ходе проводимых исследований была разработана и запатентована многостадийная камера для электроимпульсного вскрытия и последующей дезинтеграции кристаллов граната из гранатослюдяных сланцев [7].

После электроимпульсного дробления кристаллов граната, проводилось разделение продукта по фракциям (мм): +10; –10+3; –3+1; –1+0.5; –0.5+0.25; –0.25+0 с использованием сит-классификаторов. После разделения продукта по классам крупности, проводился визуальный анализ каждой фракции под бинокляром. Подсчитывалось общее число осколков (зерен), и число зерен чистого граната. Самой чистой оказалась фракция –1+0.5 мм. В ней было проанализировано 970 зерен, из которых 867 составлял чистый гранат. Таким образом, доля чистого граната составила 89%. Примесями, кроме слюды, являлись гранат в сростках и посторонние минералы (рис. 2).



Рис. 2. Продукт электроимпульсной дезинтеграции граната, фракция –1+0.5 мм

Для выявления возможности получения более чистого гранатового продукта была произведена отмывка всех полученных фракций гранатового продукта восходящим потоком воды. После отмывки также был проведен анализ отмытых фракций под бинокляром. Во всех фракци-

ях, кроме $-0.25+0$ мм бралось около 500 зерен. Подсчитывалось общее число зерен и число зерен чистого граната, под которым подразумевались прозрачные осколки граната с незначительными включениями посторонних минералов. Разницу между общим числом зерен и зерен чистого граната представляли мутный гранат, гранат с включениями, слюда и посторонние минералы. Результаты подсчета представлены в Таблице. Относительная доля чистого граната указана в скобках в процентах с округлением до единиц. Доля чистого граната фракции $-0.5+0.25$ мм после отмывки от слюдяных включений составила 94%. Данный продукт уже в таком виде может быть использован для водоочистки и абразива, а при обогащении продукта с доизмельчением материала электрогидроимпульсным способом [8] и выделением слюды и других примесных минералов в раскрытом виде, содержание чистого граната может быть дополнительно повышено, что позволит получать гранатовый концентрат самых высших марок.

Из таблицы видно, что для всех фракций доля чистого граната в случае «гранат» выше, чем в соответствующей фракции «отмывка». С уменьшением размера зерен в обоих случаях содержание чистого граната растет, причем в случае «гранат» с уменьшением размера зерен рост идет по убывающей, а в случае «отмывка» – по возрастающей.

Таблица

Доля чистого граната в различных фракциях гранатового продукта

Фракция, мм	гранат		отмывка	
	чистый гранат	всего	чистый гранат	всего
$-0.25+0$	–	–	–	–
$-0.5+0,25$	490 (94%)	522	500 (85%)	586
$-1+0.5$	502 (92%)	548	428 (78%)	547
$-3+1$	458 (85%)	536	333 (73%)	457

Заключение

Выполненное исследование является первым опытом для оценки возможности получения чистого гранатового материала из гранат-слюдяных сланцев Западных Кейв с применением метода электроимпульсной дезинтеграции. Имеются хорошие перспективы технической реализации предлагаемой технологии. У КНЦ РАН достаточно богатый практический опыт создания демонстрационных (опытно-промышленных) установок как для вскрытия и выделения крупнокристаллических минералов, так и измельчения. Для вскрытия кристаллов граната могут быть использованы камеры крупного измельчения, разработанные для выделения драгоценных камней и слюды с производительностью до 5–10 т/ч по руде крупностью 200–250 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Каменева Е. Е., Савицкий А. И. Гранатовые руды северной Карелии, технологические подходы к их освоению и возможные области использования // Геология и полезные ископаемые Карелии. № 5. 2002. С. 82–91.
2. Войтеховский Ю. Л. Гранаты Западных Кейв как потенциальное сырье для абразивных материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2013. С 42–43.
3. Войтеховский Ю. Л. Кольский альмандин – отличный абразивный материал // СЕВЕР промышленный, 2006. № 4. С. 35–36.
4. Воробьев А. А., Воробьев Г. А., Завадовская Е. К. и др. Импульсный пробой и разрушение ди-

- электриков и горных пород // Томск: Изд-во Томского ун-та, 1971. 225 с.
5. Usov A. F., Potokin A. S. Electric pulse disaggregation of materials – Russian experience // XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC) 2012. New Delhi, India. Conference Proceedings. P. 05618–05626.
6. Усов А. Ф., Потокин А. С. Концептуальные решения для создания компактных мобильных технологических комплексов на основе электроимпульсного способа разрушения материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) ГИАБ, 2013. № 2. С. 260–269.
7. Потокин А. С., Усов А. Ф. Устройство для электроимпульсной дезинтеграции материалов // Патент на полезную модель RUS № 178039 от 05.06.2017.
8. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности, «Машиностроение». СПб, 1986. 252 с.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА ГЛАУКОНИТА В ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ И ЛИКВИДАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Щербакова Н. Н.¹, Ханцев З. Ю.², Захаревич А. М.¹, Вениг С. Б.¹, Сержантов В. Г.³

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского;

²Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова;

³ООО «ЭкоСорбент», Саратов

Проблема восстановления плодородия земель является насущной как для сельскохозяйственных и промышленных предприятий и крупных городов, так и для горнодобывающих предприятий. Размеры земельных отводов крупнейших горнодобывающих предприятий измеряются тысячами гектаров отчуждаемых и нарушаемых земель. Конституция Российской Федерации закрепила право человека на благоприятную окружающую среду в Федеральных законах «Об охране окружающей среды», «О недрах», «Об Экологической экспертизе», «Об отходах производства и потребления», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Об охране атмосферного воздуха» и др.

Чтобы превратить в почвы бесплодные породы, необходимо сформировать плодородие, т. е. способность растений производить урожай. Почвообразовательный процесс происходит на поверхности минеральной матрицы при непрерывном участии живых организмов, под влиянием органических соединений, выделяемых простейшими организмами при жизни, и остающихся после их отмирания и перегнивания. Часть органических соединений вступает в реакцию с минеральными веществами с образованием органо-минеральных комплексов, бактерии влияют и на физико-химические свойства почвы. Известны микробные препараты, способные улучшать минеральное питание растений, повышать рост, урожайность и устойчивость к неблагоприятным факторам [1, 3]. Для ускорения почвообразования необходимо инициировать этот процесс в верхней корочке плотной горной породы, улучшая при этом условия минерального питания живых организмов и обеспечение водой. Приступая к разработке биотехнологических основ использования природных минералов в почвообразовательных процессах, авторы ос-

новывались на свойствах природных минералов и концепции матричной организации почвы. Минеральная матрица определяет особенности органоминеральной матрицы, ее физические свойства, активные центры минеральной матрицы участвуют в каталитических реакциях [2].

Таким образом, чтобы создать условия для развития растительного покрова, и поселения более требовательных к условиям жизни организмов, независимо от минералогического состава почвы, необходимо разработать органоминеральный комплекс, затравку из жизнеспособных штаммов и решить следующие задачи:

1. Выбрать природный минерал для минеральной матрицы и способы его обработки для придания необходимой формы.

2. Подобрать жизнеспособные и очень продуктивные бактерии для организации процесса почвообразования.

3. Разработать технологию получения жизнеспособных бактериальных форм, наименее подверженных температурным колебаниям, воздействию света, давления, рН среды и т. д., обладающих наиболее длительными сроками хранения.

Формирование биоценозов в грунтах следует рассматривать, как процесс, в котором микроорганизмы вступают в постоянные взаимодействия и преобладают наиболее приспособленные к данным условиям, способные быстро адаптироваться и перестраиваться. По сравнению со свободными микроорганизмами, иммобилизованные обладают большей активностью, адсорбированные, они способны осуществлять гидролиз полимеров с образованием доступных мономеров – сахаров, аминокислот, органических кислот, спиртов и т. д., что ведет к лучшему обеспечению питания прочие организмы. В биоценозы почвы постоянно извне вносятся дополнительные компоненты питания и посторонние микроорганизмы,

поэтому иммобилизованные на частичках минеральной матрицы (субстрата) микроорганизмы будут более конкурентоспособными по сравнению с внесенными свободными. В иммобилизованном состоянии микроорганизмы имеют преимущества: более продолжительное активное функционирование клеток; расширение рН и температурных пределов функционирования; большую устойчивость к негативным воздействиям окружающей среды. Иммобилизованные микроорганизмы создают предгумусовые компоненты в ходе физико-химических процессов, нормируемых минеральной матрицей почвы, которая характеризуется размерами активной поверхности, химическим и минералогическим составом, адсорбционной емкостью и др. Минеральная основа органоминерального комплекса определяет каталитические, обменные и адсорбционные процессы, поглощение и движение воды, снабжение растений питательными элементами.

Природные алюмосиликаты являются минеральным катализатором в почве, их высокая эффективность обусловлена структурой и катионообменной емкостью: в их присутствии и на поверхности, происходят процессы, приводящие к укрупнению органических молекул. Глауконит наиболее ценен как матрица, его отрицательная структурная решетка состоит из листовых форм, и способные к обмену катионы располагаются в межплоскостных положениях или примыкают к поверхностям частиц. При помещении глауконита в водный раствор, часть межслоевых и поверхностных катионов может быть быстро замещена катионами раствора [4,5]. Кроме того, глауконит, благодаря дешевизне и простоте использования, высокой термостабильности и обменной емкости, устойчивости к органическим растворителям и микробному разложению является хорошим носителем для иммобилизации различных микроорганизмов. Являясь одним из компонентов почвы, он способен оказывать положительное влияние на активность и динамику развития почвенных микробных популяций, образования гумуса и агрегацию почвы. Глауконит-мелиорант, аккумулируя влагу из атмосферы, снижает жесткость почвенной влаги, способствует сдвигу рН в щелочную сторону, что благоприятно сказывается на развитии ризосферных микроорганизмов, которые впадают в состояние анабиоза при кислых значениях.

Основу разработанной авторами биотехнологии составляет создание активного глаукони-

тового сорбента, который блокируя распространение вредных веществ, является одновременно носителем биоматериала. Технологический процесс получения глауконитового сорбента включает механохимическую активацию сырья с получением наноразмерных частиц и воздушной классификацией, что позволяет получать необходимый фракционный состав глауконитового порошка с предупреждением агрегации частиц [6–7]. Проведены исследования по определению адсорбционной емкости глауконита, обработанного различными способами: глауконит-концентрат исходный и после обработки СВЧ, глауконит порошок с размерами частиц 60 мкм так же исходный и после обработки СВЧ, и бентонита (порошок). Измерение адсорбционной емкости носителей производили при помощи ионов меди. Через 5 часов наибольшей адсорбционной способностью обладал порошок глауконита, при этом обработка СВЧ повышала адсорбционную способность примерно на 16.5%. [7].

Проведены исследования обогащенного мелкодисперсного глауконита Белозерского месторождения как сорбента тяжелых металлов, т. к. присутствие тяжелых металлов снижает уровень общего микробного числа (ОМЧ) в почве. В качестве загрязнителей почвы использовали ацетат свинца (II) ($Pb(CH_3COO)_2$) (ЧДА) и сульфат цинка ($ZnSO_4$) (Ч). Микробиологические исследования показали, что использование глауконита способствовало постепенному восстановлению численности микроорганизмов: через 30 суток экспозиции загрязненной почвы показали увеличение количества микроорганизмов почти в 2 раза, в том числе количество микромицетов, актиномицетов и азотфиксирующих бактерий приблизилось к исходному их числу в незагрязненной почве [8]. Таким образом, обладая хорошими сорбционными свойствами, глауконит, сорбируя ионы цинка и свинца, нивелирует их действие на микроорганизмы.

К основным механизмам полезного действия микроорганизмов на растения относится фиксация атмосферного азота (улучшение азотного питания), повышение коэффициента использования питательных элементов из удобрений и почвы, оптимизация и стимуляция роста и развития растений, подавление развития фитопатогенов, повышение продуктивности растений на фоне водного дефицита и неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы. Микробные

препараты позволяют направленно регулировать состав и численность микробного комплекса на корнях растений в соответствии с потребностями и возможностями растений. С целью получения сухих препаративных форм в виде порошка и гранул, проведены эксперименты по созданию комплексных биопрепаратов, содержащих в качестве активного компонента иммобилизованных на частицах глауконита производственных штаммов *Agrobacterium radiobacter* 204 *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Flaviobacterium fulvum* L 30, *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393 [9]. *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Flaviobacterium fulvum* L 30 применяются в качестве бактериальных удобрений по коммерческими названиями «Агробактерин», «Ризоторфин», «Флавобактерин» соответствен-

но, а *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393 является действующим началом в биофунгициде «Псевдобактерин 2». Данные биопрепараты выпускаются биофабрикой Саратовского филиала ФГБУ «Россельхозцентр». Микроорганизмы культивировали на соответствующих жидких питательных средах с дальнейшей иммобилизацией на глауконите и высушиванием. На рисунке 1 а представлена культура производственного штамма *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393 (рост на среде Кинга В) – грамтрицательные, прямые или слегка изогнутые палочки, размером 0.6×2–3.0 мкм. Производственный штамм *Flaviobacterium fulvum* L-30 представлен на рисунке 1 б – тонкие, неподвижные неспорообразующие палочки размером 0.5×1.2–1.3 мкм, на среде Кинга В образуют блестящие желто-коричневые колонии.

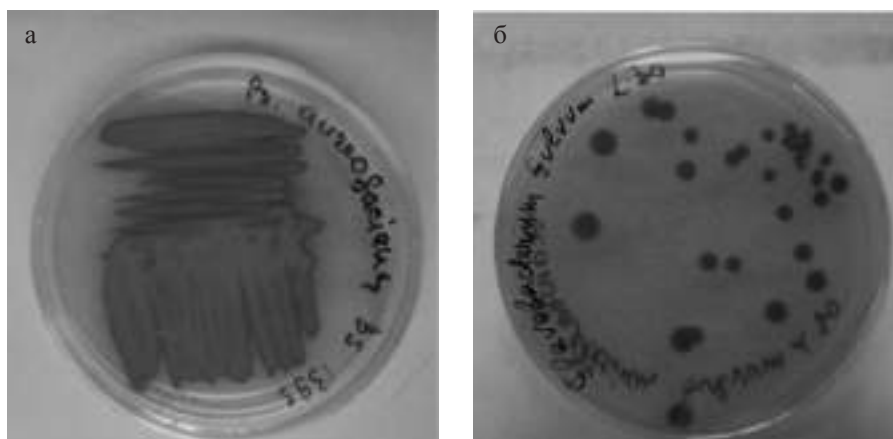


Рис. 1. Микроорганизмы, культивированные на жидких питательных средах: а – производственный штамм *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, б – производственный штамм *Flaviobacterium fulvum* L-30

Весовое соотношение биомассы и глауконита составляло от 1:1 до 1:4. Высушивание, проводили в естественных условиях и при помощи роторно-вакуумного испарителя. На ри-

сунке 2 представлен производственный штамм *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii* культивированный в жидкой среде, и иммобилизованного на глауконите, его сухая порошковая форма.

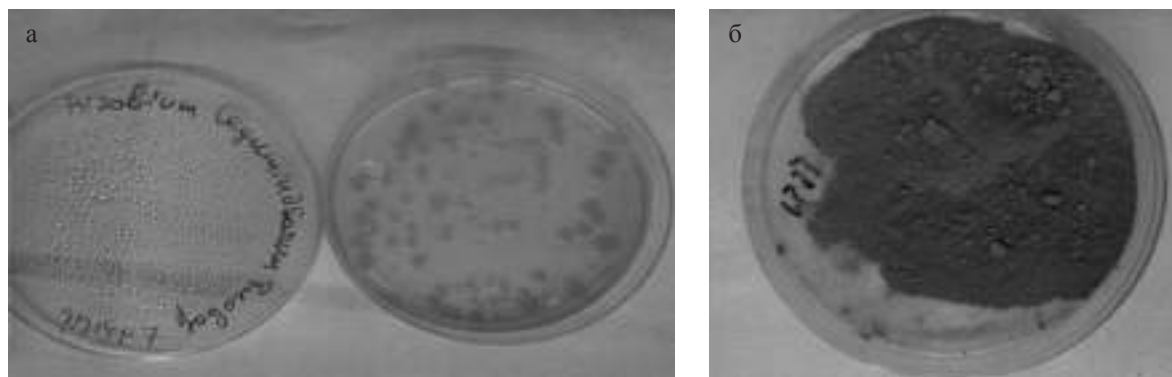


Рис. 2. Производственный штамм *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*: а – культивировано в жидкой среде; б – сухая порошковая форма (иммобилизация на глауконите)

На рисунке 3 представлены электронно-микроскопические изображения минеральной матрицы для иммобилизации бактерий – мелкодис-

перного порошка глауконитового концентрата и пленки бактерий ризобий на поверхности минерала.

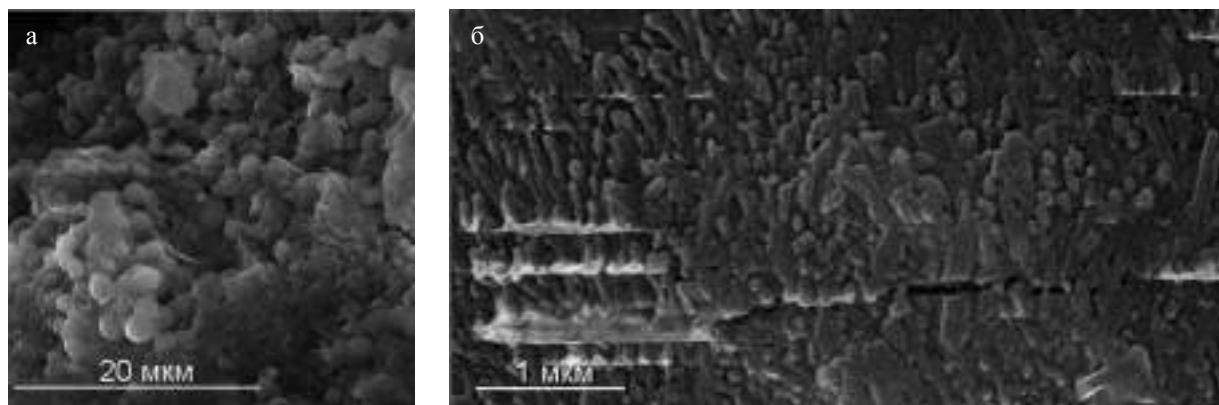


Рис. 3. Мелкодисперсная фракция обогащенного глауконита (а) и пленка ризобии (б) на поверхности минерала

Полученные образцы хранили при температуре 22–24 °С. В таблице 1 приведены результа-

ты определения жизнеспособности иммобилизованных бактерий в течение 4 месяцев.

Таблица 1

Изменение титра при хранении *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Flaviobacterium fulvum* L 30 на глауконите (порошковая форма) (КОЕ/г глауконита) (Р₀, 95)

Биомасса: глауконит	Порошковая форма биопрепарата, полученная высушиванием при 22–24 °С		Порошковая форма биопрепарата, полученная выпариванием на роторно-вакуумном испарителе при 40 °С	
	0	4 мес.	0	4 мес.
<i>Rhizobium leguminosarum</i> биовар <i>trifolii</i>				
1:1	2.1×10 ⁹	1.2×10 ⁹	1.8×10 ⁹	9.9×10 ⁸
1:2	2.5×10 ⁹	1.4×10 ⁹	2.0×10 ⁹	1.2×10 ⁹
1:4	2.4×10 ⁹	1.6×10 ⁹	1.9×10 ⁹	1.1×10 ⁹
<i>Agrobacterium radiobacter</i> 204				
1:1	2.0×10 ⁹	1.2×10 ⁹	1.4×10 ⁹	9.0×10 ⁸
1:2	2.3×10 ⁹	1.1×10 ⁹	1.8×10 ⁹	1.0×10 ⁹
1:4	2.1×10 ⁹	1.4×10 ⁹	1.6×10 ⁹	9.8×10 ⁸
<i>Pseudomonas aureofaciens</i> BS 1393				
1:1	2.4×10 ⁹	1.0×10 ⁹	1.9×10 ⁹	8.3×10 ⁸
1:2	2.7×10 ⁹	1.6×10 ⁹	1.7×10 ⁹	9.7×10 ⁸
1:4	2.6×10 ⁹	1.3×10 ⁹	1.8×10 ⁹	9.6×10 ⁸
<i>Flaviobacterium fulvum</i> L 30				
1:1	1.9×10 ⁹	9.9×10 ⁸	1.3×10 ⁹	8.9×10 ⁸
1:2	2.0×10 ⁹	1.0×10 ⁹	1.5×10 ⁹	9.3×10 ⁸
1:4	2.4×10 ⁹	1.1×10 ⁹	1.3×10 ⁹	9.9×10 ⁸

Данные таблицы свидетельствуют, что через 4 месяца хранения при температуре 22–24 °С титр микроорганизмов, в большинстве образцов, полученных при высушивании в течение 24 часов при 22–24 °С превышал 1×10⁹ КОЕ/г, а в образцах, полученных путем выпаривания на роторно-вакуумном испарителе в течение 40 мин при 40 °С титр микроорганизмов был ниже 1×10⁹ КОЕ/г.

Согласно результатам проведенных экспериментов, наиболее оптимальное весовое соотношение «биомасса: носитель (глауконит)» составляет 1:2 и 1:4.

Изготовление глауконитовых гранул с соотношением «биомасса: носитель (глауконит)» 1:4 проводилось методом экструзии на шнековом грануляторе. Длительность процесса формирования составляла 10–15 мин, температура

не более 40 °С. Высушивание гранул проводили в течение 24 часов при 22–24 °С. На рисунке 4 представлена фотография глауконитовой гранулы, показывающая пористость ее структуры.

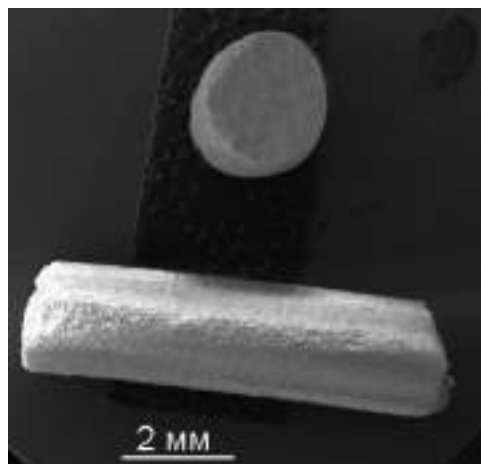


Рис. 4. Общий вид глауконитовой гранулы с иммобилизованными микроорганизмами

Гранулы так же хранились на протяжении 4 месяцев. В таблице 2 представлены результаты определения жизнеспособности иммобилизованных на глауконитовых гранулах микроорганизмов. Из таблицы видно, что через 4 месяца хранения количество живых микроорганизмов составляет не менее 10^9 КОЕ/г.

Таким образом, нами показано, что на основе глауконита Белоозерского месторождения, могут быть получены длительно жизнеспособные биоактивные композиты при иммобилизации бактериальных клеток *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Flaviobacterium fulvum* L 30, *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393. Технология использования их достаточно проста: биоактивные композиты вносятся на поверхность почвы на обширных

территориях, вспашка и увлажнение способствуют быстрейшему началу почвообразовательного процесса [10].

Таблица 2

Изменение титра *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Flaviobacterium fulvum* L 30 при хранении на глауконитовых гранулах (КОЕ/г глауконита) (Ро, 95)

Микроорганизм	Срок хранения	
	0	4 мес
<i>Agrobacterium radiobacter</i> 204	2.3×10^9	1.2×10^9
<i>Rhizobium leguminosarum</i> биовар <i>trifolii</i>	2.5×10^9	1.4×10^9
<i>Pseudomonas aureofaciens</i> BS 1393	2.1×10^9	1.0×10^9
<i>Flaviobacterium fulvum</i> L 30	2.6×10^9	1.0×10^9

Представленные биотехнологии основаны на использования природного легкодоступного минерала глауконита.

Разработанные глауконитовые сорбенты отличаются многофункциональностью: опасный агент связывается с сорбентом не только физически за счет сформированной тонкопористой структуры сорбента, но и химически за счет процессов ионообмена, происходящих благодаря природе слоистого силиката глауконита, активная функция которого не только сохраняется, но и усиливается. Глауконит с иммобилизованными бактериями является безопасным самовосстанавливающимся сорбентом вредных веществ и средством, способствующим восстановлению и увеличению биологической продуктивности почв и улучшению их качественного состава в зонах техногенных катастроф и горных отвалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хапцев З. Ю., Степанов С. А. Создание иммобилизованных форм биопрепаратов для повышения плодородия почв на основе глауконита // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы ветеринарной медицины, пищевых и био-технологий». Под ред. А. В. Молчанова, В. В. Строгова. Саратов: Издательский центр «Наука», 2017. С. 138–146.
2. Зубкова Т. А., Карпачевский Л. О. Нанотехнологии в почве // Теоретическая и прикладная экология, 2009. № 1. С. 4–9.
3. Вениг С. Б., Сержантов В. Г., Сплюхин В. П., Шаповал О. Г., Щербакова Н. Н., Селифонова Е. И., Наумова Г. Н., Захаревич А. М. Биологически активный комплекс на основе природного сорбента // Сб. науч. трудов по матер. Межд. научно-практич. конф. «Актуальные проблемы развития современной науки и образования». 2015. С. 48–50.
4. Селифонов А. А., Вениг С. Б., Бессуднова Н. О., Сержантов В. Г., Падалкина О. А., Сплюхин В. П., Щербакова Н. Н. Изучение сорбционных свойств различных фракций природного сорбента // Сб. статей по материалам II Всероссийского семинара памяти профессора Ю. П. Волкова «Современные проблемы биофизики, генетики, электроники и приборостроения». Саратов, 2015. С. 111–115.

5. Щербакова Н. Н., Синельцев А. А., Сержантов В. Г. Эффективный комплексный сорбент для очистки воды на основе природного сырья // Сб. материалов III международной конференции по химии и химической технологии НАН Р А 16–20 сентября, Ереван. 2013. С. 616.

6. Щербакова Н. Н., Синельцев А. А. Обогащение глауконитовых песков месторождений Саратовской области // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья. Сб. статей по материалам докладов VIII Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 159–163.

7. Сержантов В. Г., Синельцев А. А., Рыбков В. С., Щербакова Н. Н. Создание производственного комплекса по выпуску экспортно-направленной импортозамещающей продукции: многоцелевого глауконитового концентрата и гранулированных наноструктурированных сорбентов нового поколения с использова-

нием СВЧ-излучения // Седьмой саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций, 20–22 марта 2012 г. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2012. С. 12–13.

8. Хапцев З. Ю. Глауконит-перспективный носитель для создания сухих препаративных форм биоудобрений // Материалы IV международной научно-практической конференции «Инновации в пищевой технологии, биотехнологии и химии». Под ред. А. В. Банниковой, О. С. Ларионовой. Саратов: ИЦ «Наука», 2017. С. 217–222.

9. Горельникова Е. А., Хапцев З. Ю. и др. Биотехнологические подходы к использованию глауконита в сельском хозяйстве // Аграрный научный журнал, 2018. № 5. С. 11.

10. Патент РФ № 2403103 Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами / Сержантов В. Г., Сержантов В. В., Сержантов Д. В. Патентообладатель Сержантов В. Г., заявл. 01.11.2009, опубл. 10.11.2010.

DOI: 10.17076/tm13_10

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕТАГАББРОИДОВ (СЕВЕРНЫЙ ТИМАН)

Шмакова А. М.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

На территории Северного Тимана в 1971–1977 гг. проводилась геологическая съемка масштаба 1:50 000 с общими поисками алмазов под руководством В. Ф. Чертова (Чайкинская ГПП). В результате этих работ было выявлено сульфидное медно-никелевое с платиноидами оруденение в метагабброидах Бугровской зоны разломов. В последующем на Бугровской площади проводились поисковые (С. М. Пашкевич, 1978–82 гг.; П. В. Лесков, 1989–93 гг.) и поисково-ревизионные (А. П. Свиридов, 2004–2005 гг.; Н. А. Иванов, 2006–2007 гг., незавершенные) работы. На выявленных рудопроявлениях были оценены прогнозные ресурсы меди и никеля. На проявлении «Ближнее» прогнозные ресурсы никеля по категории P_1 составляют 3700 т, на рудопроявлении «Дальнее» прогнозные ресурсы никеля по категории P_1 – 7500 т, медь – 2000 т, платины и палладия в сумме – 300 кг. По категории P_2 ресурсы проявления «Дальнее» составляют: никель – 65 тыс. т, медь – 10 тыс. т, палладий – 5.5 т, кобальт – около 850 т [1]. Бугровская площадь является перспективной для доизучения и последующей разработки медно-никелевых месторож-

дений. Цель работы состояла в сравнительном анализе петрографических и минералогических особенностей медно-никелевых руд проявлений Бугровской площади, оценке их технологических свойств и возможных методов их обогащения.

Бугровская площадь включает в себя два проявления («Ближнее», «Дальнее»), один пункт минерализации («Каменное») и проявление платины «Олень». Породы Бугровской площади относятся к барминско-черноречскому гипабиссальному метагаббро-долеритовому комплексу верхнего рифея ($v\beta RF_2bc$) [1].

Рудовмещающие породы проявления «Ближнее» и «Дальнее» представлены метагабброидами, залегающими среди образованной малочерноречской свиты верхнего рифея. Метагабброиды проявления «Ближнее», вмещающие сульфидную минерализацию, образуют тело неправильной линзовидной формы, мощностью от 20 до 70 м. В его строении выделяются три зоны: центральная – ксенолитовая (брекчиевидная), промежуточная (средняя) – миндалекаменная и краевая – массивная. Состав пород варьирует от меланогаббро до анортозитов [1].

Нами был исследован керн скважины (скв. 758) из краевой части тела metabазитов проявления «Ближнее». По петрохимическим характеристикам породы данного проявления относятся к базальтовой низкощелочной серии ($K_2O = 0.83\%$, $Na_2O = 2.36\%$). Метагабброиды имеют массивную текстуру и гипидиоморфную среднезернистую структуру, обусловленную порообразующими минералами с размерностью от 0.5 до 3.0 мм. Плагноклаз по химическому составу соответствует альбиту. Пироксен представлен авгитом ($xMg 0.66-0.82$). Из вторичных минералов установлены хлорит, кварц, титанит, рутил, кальцит, из аксессуарных – апатит. Предыдущими исследователями на данном рудопроявлении были выявлены сульфиды: бравоит, виоларит, марказит, сфалерит, галенит, кобальтин [1].

В metabазитах отмечается мелкая гнездо-вкрапленная пентландит-халькопирит-пиритовая минерализация. Гнезда представлены срастаниями аллотриоморфных зерен пирита, халькопирита и пентландита. Данная парагенетическая ассоциация характерна для сульфидных руд, генетически связанных с основными и ультраосновными породами.

Пирит данного рудопроявления имеет аллотриоморфную форму выделений размером до 1.5 мм. В химическом составе постоянно присутствует примесь Ni до 3 мас. %.

Халькопирит чаще всего наблюдается в виде аллотриоморфных зерен до 0.5 мм развивающихся по краям пирита. Оба минерала не подвержены вторичным изменениям.

Пентландит представлен сильно трещиноватыми аллотриоморфными зернами размером до 0.6 мм. Часто наблюдается регенерационная кайма между пентландитом и другими сульфидами (рис. 1, а). Зерна пентландита неоднородные, отмечаются более светлые и темные участки (рис. 1, б). Химический состав светлых участков наиболее приближен к теоретическому составу пентландита, но с большим содержанием Ni (табл. 1). Более темный и неоднородный пентландит имеет в своем составе значительно меньше Ni и по химическому составу наиболее приближен к железистому виолариту ($Fe_{1.55}Ni_{1.47}Co_{0.08})_{3.10}S_4$ (табл.). В целом, пентландит рудопроявления «Ближнее» является маложелезистым. В некоторых зернах пентландита установлены типичные примеси кобальта от 1.31 до 1.8 мас. % (табл.). В одном

зерне пирита установлен пентландит со структурой распада в виде пламевидных выделений с ламелями бравоита (рис. 1, в) (табл.). Так как распад твердого раствора в пирите почти никогда не наблюдается [2], вероятнее всего, обнаруженный бравоит развивался по пентландиту, кристаллизовавшемуся по трещинам в пирите.

Пентландит данного рудопроявления сильно трещиноватый, в то время как пирит и халькопирит представлены цельными зернами без трещин (рис. 1, а, г). Это может указывать на разное время кристаллизации сульфидов. Вероятнее всего трещиноватость пентландита связана с гидротермально-метасоматическими процессами, в результате которых происходил вынос Ni и сопутствующее ему разрыхление минерала. Данные процессы можно наблюдать на зернах реликтового первичного пентландита (рис. 1, б).

Границы зерен между сульфидами довольно четкие, ровные. В целом включений в сульфидах немного. В пирите наблюдаются включения хлорита, титанита, кальцита размером до 50 мкм. В халькопирите установлены редкие включения барита размером до 10 мкм. В ассоциации с сульфидами, как правило, отмечается развитие хлорита, титанита, альбита, кварца и кальцита (рис. 1, г).

Размер пентландит-халькопирит-пиритовых вкрапленников медно-никелевой минерализации варьирует от 0.2 до 2.5 мм. По классификации минеральных выделений по размерам данные выделения относятся к «мелким» агрегатам [3]. Такая размерность и наличие четких границ между минералами позволяет использовать при обогащении руды следующие методы: флотация, концентрация на столах, мокрая магнитная сепарация, перколяционное или агитационное выщелачивание [3]. В сульфидах рудопроявления «Ближнее» наблюдаются редкие включения нерудных минералов, таких как рутил, хлорит, кальцит и барит. Поскольку включения встречаются не часто, их влияние на дальнейшее обогащение сводится к минимуму. Развивающиеся по краям рудных минералов хлорит, титанит и альбит имеют четкие границы, что также не окажет существенного влияния на переработку руды.

На рудопроявлении «Ближнее» предшественниками были установлены повышенные содержания благородных металлов (г/т): Pt – 0.002–0.025 (среднее 0,01); Pd – 0.005–0.675 (среднее 0.14); Au – 0.003–0.061 (среднее 0.02) [1].

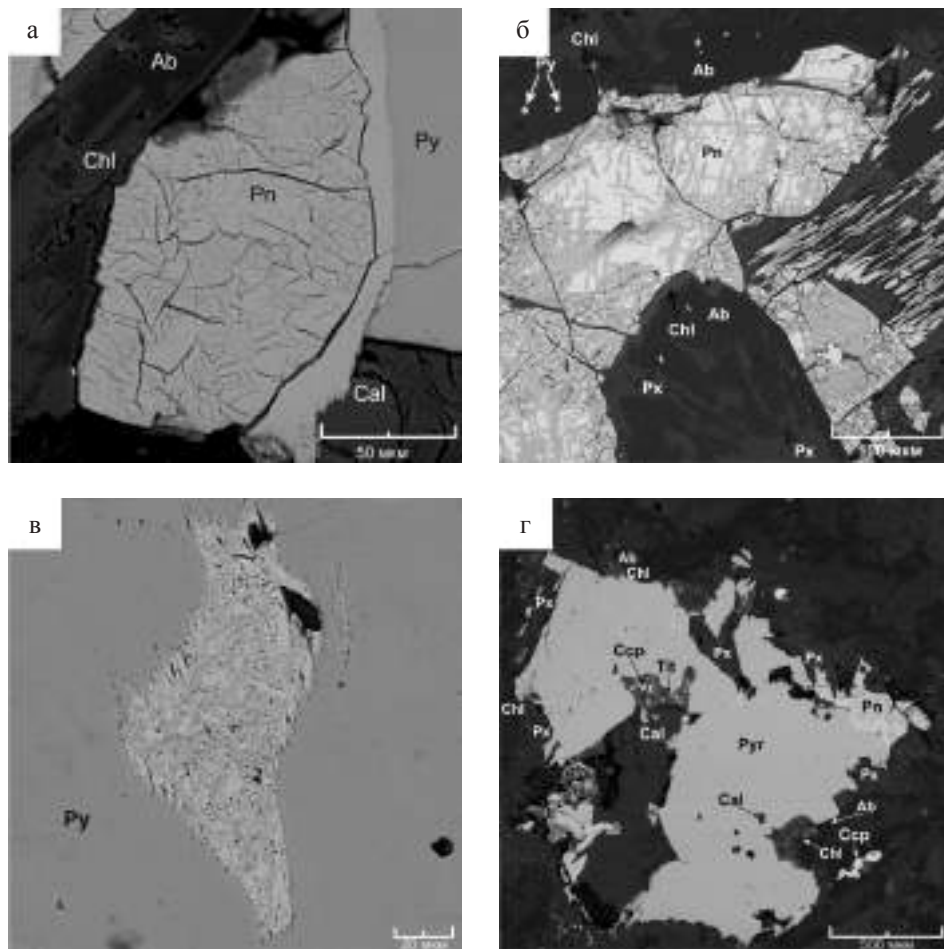


Рис. 1. Сульфидная минерализация проявления «Ближнее» (скв. 758): а – пентландит с регенерационной каемкой, б – реликтовый первичный пентландит с участками выноса Ni, в-пентландит в пирите со структурой распада в виде пламевидных выделений, г – срастание пирита и пентландита. Изображение в обратно-рассеянных электронах: Pn – пентландит, Py – пирит, Ccp – халькопирит, Chl – хлорит, Tit – титанит, Ab – альбит, Cal – кальцит, Px – пироксен

Таблица

Химический состав сульфидов рудопроявлений «Ближнее» и «Дальнее» (мас. %)

Минерал	Fe	S	Ni	Co	As	Cu	Сумма
Рудопроявление «Ближнее»							
Ni-пентландит (первичный)	27.33	33.97	36.99	1.49	–	–	99.78
Пентландит (структура распада)	23.88	43.63	31.73	–	–	–	99.24
Пентландит (кайма)	24.72	42.98	30.09	1.35	–	–	99.13
Пентландит (трещиноватый)	25.00	43.02	29.79	1.31	–	–	99.13
Бравойт (структура распада)	37.21	50.54	10.26	–	–	–	98.01
Виалорит	27.53	39.64	26.56	0.71	–	–	94.45
Пирит	43.17	54.36	3.83	–	–	–	101.36
Пирит	43.65	52.70	2.06	–	–	–	98.41
Пирит	45.06	53.08	1.56	–	–	–	100.42
Халькопирит	30.35	35.78	–	–	–	33.18	99.31
Халькопирит	30.87	35.71	–	–	–	33.57	100.15
Халькопирит	29.80	35.87	–	–	–	32.95	98.62

Минерал	Fe	S	Ni	Co	As	Cu	Сумма
Рудопроявление «Дальнее»							
Ni–пентландит (первичный)	26.86	33.09	36.71	1.40	–	–	98.07
Пентландит (трещиноватый)	29.16	33.01	33.38	0.41	–	–	95.95
Пентландит (структура распада)	28.32	34.45	31.87	1.05	–	–	95.69
Виоларит (структура распада)	26.76	39.91	26.34	3.72	–	–	96.72
Виоларит (трещиноватый)	26.16	40.36	25.18	4.11	–	–	95.82
Пирротин	59.27	39.55	1.02	–	–	–	99.84
Пирротин	59.12	39.39	0.79	–	–	–	99.30
Пирротин	59.17	39.47	0.81	–	–	–	99.45
Халькопирит	30.35	34.40	–	–	–	33.45	92.20
Халькопирит	30.59	34.20	–	–	–	33.15	97.94
Халькопирит	30.46	34.68	–	–	–	33.55	98.69
Герсдорфит	5.55	19.45	10.72	18.83	45.90	–	100.45
Герсдорфит	5.68	19.21	9.46	20.50	45.19	–	100.04

Анализы выполнены в ЦКП «Геонаука» на сканирующем микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X–Max. Аналитики: Е. А. Тропников, А. С. Шуйский.

Рудопроявление «Дальнее» приурочено к интрузии метагабброидов мощностью от 20 до 55–60 м, которая имеет линзовидную дайкообразную форму и сложена метагабброидами и метаанортозитами с ксенолитами серицитолитов. В ней выделяются две зоны: краевая – массивная и центральная (брекчиевидная). В метабазахитях краевой зоны присутствует минерализация вкрапленного типа, с редкими гнездовыми выделениями. В центральной (ксенолитовой) зоне распространена гнездово-вкрапленная и шлировидная сульфидная минерализация. Предшествующими исследователями была установлена повышенная платиноносность (с резким преобладанием палладия) в данных медно-никелевых рудах [1].

Нами исследованы образцы керна скв. 767 рудопроявления «Дальнее». В интрузии габброидов установлены лейкократовые породы, диагностируемые как метаанортозиты [1]. Данные породы обладают массивной текстурой и гранофировой структурой, обусловленной микропегматитовыми вростками кварца в полево шпате. Породы сложены в основном альбитом в количестве 70%, образующим лейсты размером от 0.25 до 1.25 мм. Также присутствует плагиоклаз, по химическому составу соответствующий лабрадору (An_{53}) и андезину (An_{39-50}). Пироксен представлен авгитом (xMg 0.61–0.70). Из вторичных минералов установлены эпидот, алланит, титанит, хлорит, кальцит. По данным предшественников также были установлены сфалерит, пирит и марказит, заме-

щающие пирротин, и виоларит, развивающийся по пентландиту [1].

В метабазахитях рудопроявления «Дальнее» наблюдается мелкая гнездово-вкрапленная пентландит-халькопирит-пирротиновая минерализация. Гнезда состоят из сростаний аллотриоморфных зерен пентландита, халькопирита и пирротина.

Пирротин представлен аллотриоморфными зернами размером до 4 мм. В химическом составе часто присутствует примесь Ni до 1.02 мас. %.

Халькопирит чаще всего развивается совместно с пирротинном. Обладает аллотриоморфной формой зерен размером до 1 мм.

Пентландит развивается как по трещинам в пирротине, так и по его краям (рис. 2 а, б). Его можно разделить на два типа. Первый тип представлен неизменными цельными аллотриоморфными выделениями (рис. 2 а, б). Второй тип сильно трещиноватый, он похож на пентландит рудопроявления «Ближнее» (рис. 2 в). Более светлые части трещиноватого пентландита второго типа по химизму схожи с составом типичного пентландита, в то время как более темные части имеют в составе значительно меньше содержание Ni. По химическому составу темные части пентландита соответствуют железисто-му виолариту. Неизменный пентландит первого типа содержит более высокое количество Ni, по сравнению с обычным пентландитом. Регенерационная кайма у всех пентландитов отсутствует, однако у трещиноватых пентландитов, развивающихся по краям пирротина, наблюдается зона Co-Ni-пирротина.

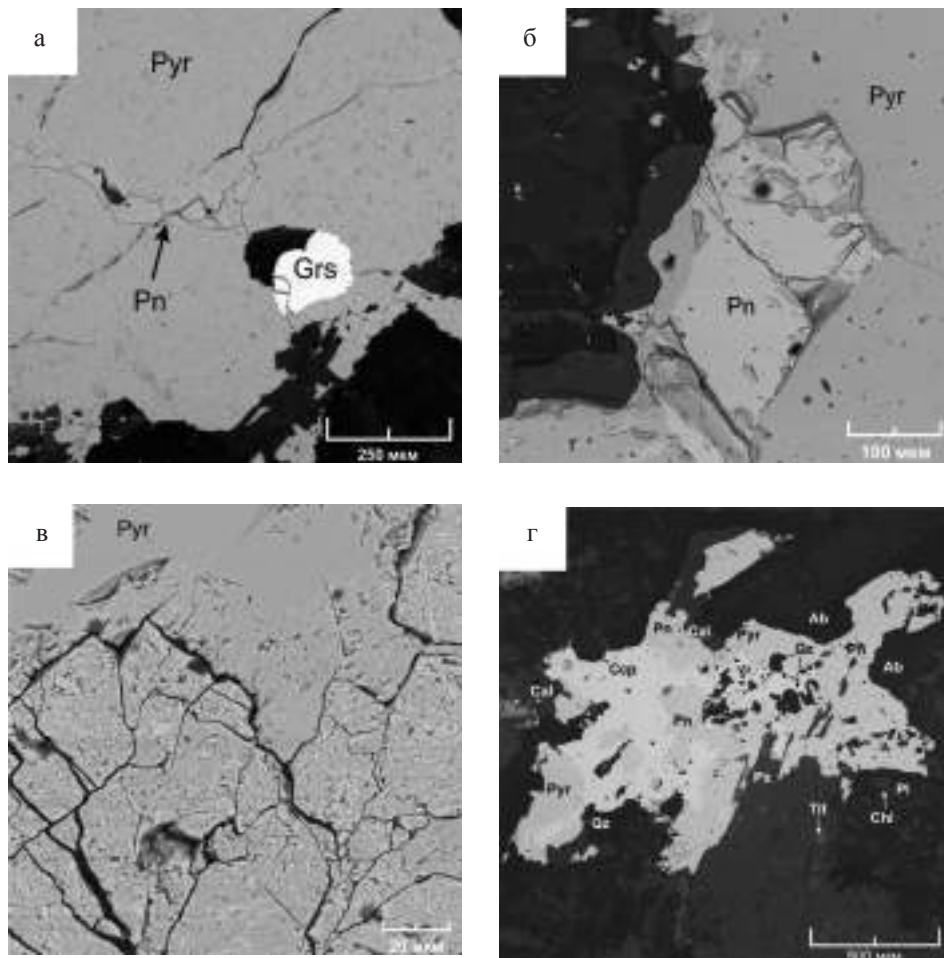


Рис. 2. Сульфидная минерализация проявления «Дальнее» (скв. 767): а – пентландит развивающийся по трещине в пирротине, б – неизменный пентландит, в-пентландит с участками выноса Ni, г – срастание пирротина, халькопирита и пентландита. Изображение в обратно-рассеянных электронах: Pn – пентландит, Pyr – пирротин, Csp – халькопирит, Chl – хлорит, Px – пироксен, Cal – кальцит, Qz – кварц, Ab – альбит, Tit – титанит

Помимо сульфидов на рудопроявлении «Дальнее», установлена мелкая вкрапленность, представленная аллотриоморфным ильменитом с каемкой титанита. Содержание диоксида титана в ильмените $TiO_2 = 53-54$ мас. % и $Fe_2O_3 = 43-44$ мас. %, $MnO = 2.32-2.55$ мас. %, его минимальные соотношения ильменит (71–95), гейкелит (0–14), пирофанит (5), гематит (0–10).

На данном рудопроявлении установлены трещиноватые пентландит и железистый виоларит, как и на рудопроявлении «Ближнее». Однако на рудопроявлении «Дальнее» образование виоларита более распространено, что свидетельствует о более интенсивном проявлении гидротермально-метасоматических процессов.

В сульфидах рудопроявления «Дальнее» наблюдается большое количество включений нерудных минералов. В пирротине отмечаются включения ильменита, алланита, эпидота, кальцита, альбита, пироксена и барита (рис. 2, г).

Иногда отмечается Fe-Co-герсдорфит, типичный гидротермальный минерал (рис. 2, а; табл.). В ассоциации с сульфидами, как правило, отмечается развитие альбита и пироксена. По краям сульфидов периодически наблюдаются кальцит, кварц, титанит, хлорит, эпидот (рис. 2, г). В некоторых зернах наблюдаются тесные прорастания с нерудными минералами.

Вкрапленники пентландит-халькопирит-пирротиновой минерализации рудопроявления «Дальнее» имеют размер от 1 мм до 6 мм, в редких случаях до 1 см. По классификации минеральных выделений по размеру данные выделения относятся к «крупным» агрегатам [3]. Некоторые халькопирит-пирротиновые срастания имеют значительное количество включений кварца, что может осложнить обогащение руд. Породообразующие и вторичные минералы, тесно прорастающие с некоторыми сульфидами, также усложняют дальнейшее обогащение руды.

Для данного рудопоявления могут подойти следующие методы обогащения: флотация, гравитационное обогащение, возможны сухая и мокрая магнитная сепарация, перколяционное выщелачивание.

Таким образом, на рассматриваемых рудопоявлениях устанавливаются разные ассоциации минералов. Для проявления «Ближнее» характерна пентландит-халькопирит-пиритовая минеральная ассоциация. Рудные минералы данного проявления имеют четкие границы и небольшое количество включений. Породообразующие минералы, представленные альбитизированным плагиоклазом и пироксеном, а также вторичные минералы хлорит, кварц, амфибол, титанит, рутил не имеют тесного прорастания с сульфидами. Полученные сведения позволяют спрогнозировать методы обогащения данных пород. На прояв-

лении «Дальнее» наблюдается пентландит-халькопирит-пирроотиновая минеральная ассоциация. Сульфиды содержат значительное количество включений, и имеют тесное прорастание с плагиоклазом, пироксеном, кварцем и хлоритом, что значительно усложняет дальнейшее обогащение руды. Для каждого рудопоявления установлено в разной степени выраженное влияние гидротермально-метасоматических процессов на пентландит. Данные процессы обуславливают значительное распространение в пределах рудопоявлений виоларита.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-9-5-42 «Ресурсно-индустриальная и инфраструктурная трансформация как фактор развития Воркутинской опорной зоны Российской Арктики»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пармузин Н. М., Мазуркевич К. Н., Семенова Л. Р., Коссовая О. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1-000-000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 393 с. + 32 вкл.
2. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания // Издательство иностранной литературы. Москва, 1962. 1134 стр.
3. Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. Изд. 4-е. М.: Недра, 1971. 344 с.

DOI: 10.17076/tm13_11

УЛЬТРАОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ АГАНОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРОМОВЫХ РУД (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ) КАК НЕТРАДИЦИОННОЕ МАГНИЙСИЛИКАТНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ильина В. П., Фролов П. В.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

В аспекте комплексного освоения месторождения полезных ископаемых перспективным считается использование вскрышных пород, имеющих низкую себестоимость. Потенциальными полезными ископаемыми на Аганозерском месторождении, помимо основного – хромовых руд, могут быть магнезиальные ультрамафиты – оливиниты, дуниты, серпентиниты (кемиститы) и пироксениты, объемы которых значительны. Главной отраслью, использующей отходы горнодобывающих предприятий, являются строительная, огнеупорная и керамическая индустрии. Но магнийсиликатные породы в данных отраслях практически не используются, являясь для них

нетрадиционным сырьем. Вместе с тем в настоящее время известны теоретические разработки и возможные области применения магнийсиликатных пород, опубликованные в литературных материалах и патентах. В них отмечается, что магнезиальные силикаты могут быть нетрадиционным сырьем для изготовления различных строительных материалов, в том числе строительной облицовочной керамики, тепло- и звукоизоляционных материалов, пигментов, и способны заменить традиционные виды сырья в изделиях из малокомпонентных шихт.

В работе рассматриваются результаты минералого-технологических исследований дунитов,

серпентинитов, пироксенитов Аганозерского месторождения, выполненных с целью оценки влияния вещественного состава на технологические свойства материалов, что позволит дать предварительную оценку возможного использования их в качестве минерального сырья для керамических и строительных материалов.

Методы исследования

О минеральном составе ультрамафитов и об изменении их структуры при термической обработке судили на основании данных полученных с использованием электронного микроскопа VEGA 2 LSH с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments) и рентгенофазового анализа, выполненного на дифрактометре Thermo Scientific ARL X'TRA Powder X-ray Diffraction System на медном излучении ($\text{Cu K}\alpha = 1.54 \text{ \AA}$) в геометрии Брегга-Брентано. Анализ химического состава пород выполнен методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на приборе ARL Advant X. Термические эффекты изучены методом термографического анализа на синхронном термическом анализаторе STA 449 F1 Jupiter. Определение коэффициента теплопроводности выполнено на измерителе теплопроводности марки ИТЭМ-1М в соответствии с ГОСТ 25499-82 «Породы горные. Метод определения коэффициента теплопроводности». Для анализа гранулометрического состава веществ использован лазерный анализатор частиц марки LS-13320. Все аналитические и лабораторные исследования выполнены в Институте геологии КарНЦ РАН.

Обсуждение результатов

Дуниты. В Аганозерском блоке Бураковского расслоенного мафит-ультрамафитового массива фиксируются значительные скопления дунитов и оливинитов. Дунитовая подзона ультраосновной зоны (УЗ) серпентинитов центральной части Аганозерского блока по всему разрезу однородна и характеризуется высоким содержанием оливина (88–98%). Содержание MgO варьирует в пределах 36.97–46.77 масс. %. Дуниты УЗ на 95–98% состоят из оливина, 0.5–2% хромита и 0–5% интеркумулятивных пироксенов, плагиоклаза и флогопита. Химический состав дунитов приведен в таблице 1 по данным работы [1].

Используемое огнеупорной промышленностью оливиновое сырье не должно интенсивно подвергаться вторичным изменениям и содер-

жание MgO должно быть не менее 37%. Дуниты Аганозера обладают высоким содержанием магния, превосходными термоаккумулирующими свойствами, высокой относительной плотностью, стабильным химическим составом, высокой твердостью (6.5–7.0 по шкале Мооса), высокой точкой плавления – 1760 °С. К настоящему времени дуниты не достаточно изучены как высокомагнезиальное сырье.

Таблица 1

Химический состав дунитов по разрезу скв. 20, Аганозерский блок, масс. % [1]

Оксиды	919 м	1006 м	1098 м	1180 м	1300 м
SiO_2	40.22	39.48	39.76	38.70	38.20
TiO_2	0.03	0.06	0.11	0.08	0.08
Al_2O_3	0.51	0.53	0.53	0.48	0.53
Fe_2O_3	1.32	1.45	0.86	2.34	1.59
FeO	7.90	8.05	10.92	11.21	10.54
MnO	0.135	0.094	0.106	0.138	0.173
MgO	46.77	45.40	44.44	43.10	44.25
CaO	0.21	0.50	0.57	0.42	0.48
Na_2O	0.07	0.05	0.11	0.04	0.04
K_2O	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02
H_2O	0.31	0.40	0.14	0.24	0.44
ппп	2.09	3.08	1.44	2.33	3.26

Согласно литературным данным и патентам, дуниты широко применяются в огнеупорной и керамической промышленности [2]. Добавление дунита и талька в глину позволяет получить особый кордиерит, стойкий к высоким температурам за счет низкого расширения структуры полученного изделия. На его основе также производятся различные аппараты для химической промышленности, которые имеют высокую термостойкость и менее восприимчивы к перепадам температуры, в отличие от фарфоровых изделий [3, 4]. Дуниты используются как в обожженном, так и сыром виде, в процессе производства огнеупорных материалов вводится обожженный магнезит. Имеются широкие перспективы использования дунита в составе строительных смесей, за счет его активных гидратационных и вяжущих свойств. В частности, оправдывается его применение в производстве цемента, что к тому же значительно снижает затраты на себестоимость смеси [5]. Дуниты нашли применение в металлургической промышленности, для получения огнеупорной составляющей плавильных печей, выдерживая высокие температуры до 1700 °С.

Серпентиниты. Верхний горизонт серпентинитов (20–70 м) представлен массивными породами, более глубокие горизонты – рыхлыми разностями (кемиститами). По минеральному и химическому составу массивные разности и кемиститы близки (табл. 2). Кемиститы состоят в основном из серпентина (преимущественно лизардит) – 78%, кроме того, содержат гидрокарбонаты магния, хлорит, тальк, карбонаты (кальцит, магнезит, сидерит), биотит, магнетит, хромит, сульфиды, гидрогематит.

Кемиститы представляют собой пелитодресвяную массу, образующуюся на завершающей стадии серпентинизации ультраосновных пород. Кемистит представлен алевритами от 0.01 до 0.1 мм, а также обломочными зернами песчаных, дресвяных и щебнистых разновидностей. Установлено, что кемиститы имеют высокое содержание геохимически подвижных форм Mg и являются ценным сырьем для получения высокочистого MgO для металлургии, а также сульфата никеля.

Таблица 2

Химический состав серпентинитов, мас. %

Оксиды	Кемистит*	Серпентинит**	Перидотит (пр. А-307)	Массивный серпентинит (пр. А-323)
SiO ₂	32.59–32.91	34.06	40	33.39
TiO ₂	0.02–0.04	0.01	0.14	0.20
Al ₂ O ₃	0.1–0.43	0.51	1.42	0.22
Fe ₂ O ₃	7.21–9.8	10.02	10.70	6.31
FeO	2.09–3.78	2.03	3.90	3.51
MnO	0.12–0.14	0.12	0.22	0.13
MgO	37.16–37.83	35.69	28.60	40.42
CaO	0.24–0.47	0.5	4.19	<0.01
Na ₂ O	0.03–0.33	0.03	0.27	0.02
K ₂ O	0.02–0.03	0.02	0.15	<0.01
H ₂ O	–	–	–	1.18
ппп	15.03–17.75	17	9.77	15.69

Примечание: * вариации концентрации по 60 пробам, ** среднее значение по 16 пробам.

В серпентините присутствуют макро- и микроскопически тонкораспыленные включения магнетита, хромита, а по ослабленным зонам, границам срастания в серпентините встреча-

ются карбонаты, реликты оливина, сульфиды. Магнетит находится в виде обломков, уплощенных зерен, микровключений с размерами от 0.5–0.16 мм до 0.05 мм и менее (рис. 1).

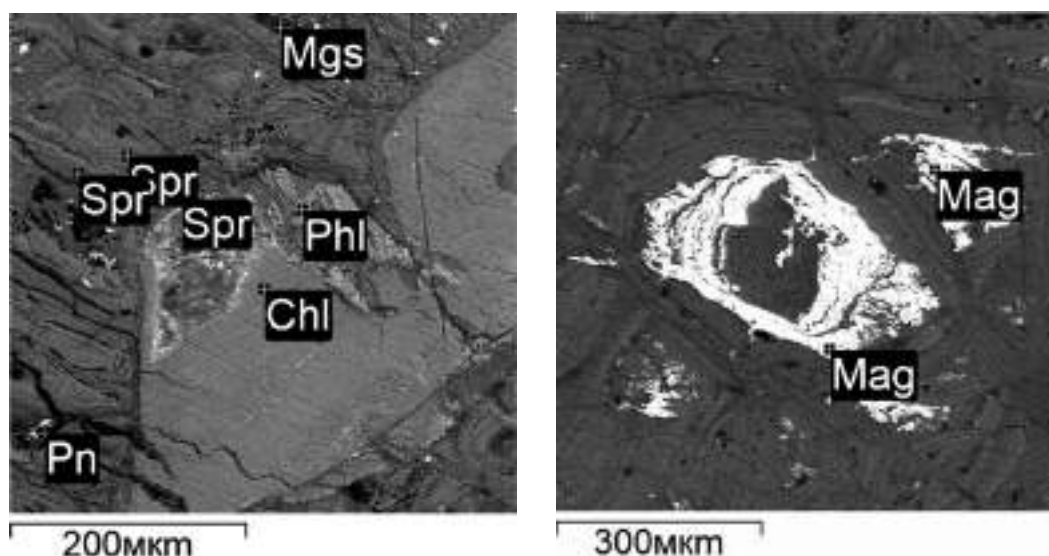


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения микроstructures серпентинитов Аганозера (проба № 323): Spr – серпентин, Chl – хлорит, Phl – флогопит, Mgs – магнезит, Pn – пентландит, Mag – магнетит

Серпентиниты Карелии как тип промышленной породы изучены недостаточно, но современные геологические данные позволяют прогнозировать широкое распространение этих пород, а тремолит и диопсид, присутствующие в минеральном составе серпентинитов, – это новые промышленные минералы для Карелии. На Аганозерском месторождении хромовых руд выявлены серпентиниты по высокожелезистым и высокомагнезиальным дунитам. Мощность по разрезу 540 и 410 м, соответственно. Серпентиниты и кемиститы (разновидность серпентинизированных ультраосновных пород с Ni и Mg) богаты магнием (36–38%) и содержат незначительное количество примесей Al_2O_3 (0,1–0,5%) и CaO (0,24–0,5%).

Исследование поведения кемистита и серпентинита при нагревании до 1000 °С, выполненное на синхронном термическом анализаторе STA 449 F1 Jupiter, показало, что разрушение кристаллической решетки серпентина (лизардита) с одновременным удалением конституционной воды происходит в интервале 600–650 °С. В интервале температур 800–830 °С кристаллизуется форстерит, образующийся при разложении серпентина. Количество форстерита составляет 95%, присутствует периклаз (5%) [6].

На основе серпентинитов Аганозерского месторождения разработана сырьевая смесь для изготовления пористого теплоизоляционного материала с низкими показателями теплопроводности и высокой влагостойкостью, что позволяет использовать предлагаемую керамику в качестве теплозащитного материала для тепловых агрегатов и морозильных камер [7]. Методом электронной микроскопии установлено, что основной кристаллической фазой теплоизоляционной керамики является форстерит (71%) – продукт перекристаллизации серпентина. Рентгенофазовый анализ показал, что, кроме форстерита, присутствуют кварц (5%), кристобалит (4%), энстатит (7%). Количество стеклофазы составляет 13%.

Формирование пористой структуры теплоизоляционной керамики происходит при обжиге за счет дегидратации химически связанной воды, содержащейся в серпентине, вспучивания жидкого стекла, а также за счет карбонатов и гидрокарбонатов, разлагающихся с выделением CO_2 . Используемые в шихте природные компоненты, в том числе серпентин, позволяют

получить материал с содержанием форстерита более 70% и обеспечить высокую прочность. Теплоизоляционная керамика имеет прочность при сжатии 19.94–24.66 Мпа, коэффициент теплопроводности 0.025–0.032 Вт/мК.

Серпентинсодержащие отходы образуются при добыче медно-никелевых руд, магнезита, вермикулита, флогопита и других полезных ископаемых. Они являются широко распространенным вторичным сырьем, утилизация которого является актуальной задачей, как в России, так и в других странах. Серпентиниты находят применение в различных отраслях промышленности, являются перспективным материалом для получения соединений магния, железа, силикатных продуктов [8, 9].

В результате исследований серпентинитов, проведенных совместно с ИХТРЭМС КНЦ РАН, изучена возможность утилизации серпентинизированных ультрамафитов Карело-Кольского региона России путем термоактивации и применения полученного продукта в природоохранных технологиях. Установлено, что трансформация серпентинитов при обжиге сопровождается образованием нескольких термоактивных минералов (форстерит, периклаз, силикат магния), что согласуется с результатами минералогического анализа. Установлена зависимость активности серпентинитов от температуры обжига. Вяжущие свойства серпентинитов обусловлены наличием активной метастабильной фазы, которая обеспечивает получение прочного гранулированного реагента для очистки воды от тяжелых металлов [10] (рис. 2).



Рис. 2. Гранулированный реагент для очистки воды от тяжелых металлов, полученный на основе серпентинитов

Пироксениты. Пироксениты входят в состав переходной зоны (между зоной габброидов и зоной ультраосновных пород – перидотитов и дунитов), мощностью порядка 400 м. Они окаймляют центральную часть Аганозерского блока,

располагаясь по разрезу над серпентинитами, обрамляющими широкой дугой габбро-норитовую синформу месторождения. В таблице 3 приведены химические составы пироксенитов. Для исследования отобраны пробы из пироксенитов коренных выходов (А-308, А-308-г, А-311) и керн скважины № 817 в северной части Аганозерской площади, вмещающих хромитовое оруденение главного хромитового горизонта. Данные породы относятся к Са-Мг пироксенам. По данным микронзондового анализа установлено, что основными минералами пироксенового ряда являются авгит и энстатит, присутствуют оливин и редкие зерна хромита. По данным рентгенофазового и химического анализов, содержание основных минералов в пироксените составляет (проба А-308-г, мас. %): авгита – 67.2, форстерита – 4.3, энстатита – 23.7, серпентина – 4.8.

Таблица 3

**Химический состав пироксенитов
Аганозерской площади, мас. %**

Оксиды	А-308	А-308-г	А-311	817
SiO ₂	50.50	49.80	47.40	50.63
TiO ₂	0.26	0.28	0.27	0.27
Al ₂ O ₃	1.50	1.05	1.57	3.24
Fe ₂ O ₃	1.90	2.13	4.28	7.50
FeO	4.59	4.88	4.17	5.89
MnO	0.163	0.146	0.183	0.157
MgO	21.80	23.37	22.54	18.00
CaO	15.30	14.21	12.05	14.90
Na ₂ O	0.37	0.33	0.35	0.60
K ₂ O	<0.01	<0.01	<0.02	<0.07
H ₂ O	0.47	0.35	1.14	0.26
П.п.п.	2.51	2.85	5.06	4.03

Нами была исследована возможность получения керамики с авгитовой кристаллической фазой на основе пироксенитов. Для этого использовались следующие сырьевые материалы: пироксенит (проба 308-г), стеклбой и глина Ивинского месторождения Карелии. В составах опытных масс изменяли содержание пироксенита и глины от 10 до 70%, а количество стеклбоя оставалось постоянным – 20%. Основной кристаллической фазой керамики, по данным РФА, является авгит. Кроме авгита (55–65%) в керамике содержится форстерит (20–21%), кристобалит (2–3%), гематит

(4–5%), стеклофаза (7–8.5%). В результате изучения влияния добавки пироксенита к легкоплавкой глине установлена оптимальная температура обжига 1100–1150 °С. Показатели водопоглощения (не более 16%), усадки (не более 6%), механической прочности (9–10 Мпа) соответствуют требованиям ГОСТ 6141-91 для облицовочной плитки [11].

Представляет интерес также использование пироксенитов Аганозерской площади для получения кермических пигментов. Были проведены соответствующие технологические эксперименты и изучена особенность образования в пигментах кристаллических фаз. Рентгенофазовый анализ показал, что при обжиге (850 °С, 1200 °С) шихты пигмента происходит формирование новых кристаллических фаз. Минеральный состав пигментов по данным рентгенофазового анализа приведен в таблице 4.

Таблица 4

**Минеральный состав пигмента
при 1200 °С и 850 °С, %**

Минерал	№ 1		№ 2		№ 3	
	1200	850	1200	850	1200	850
Диопсид	70	81	72	68	93	92
Магнезиоферрит	7	6	14	15	7	8
Форстерит	–	13	14	16	–	–
Клинопироксен	13	–	–	–	–	–
Грюнерит	8	–	–	–	–	–
Якобсит	2	–	–	–	–	–

Основные кристаллические фазы пигментов – диопсид и минералы группы шпинели: магнезиоферрит (MgFe₂³⁺O₄), якобсит (Mn²⁺Fe₂³⁺O₄), грюнерит – магний-железо-марганцевый амфибол. Якобсит образуется при замещении Mn на Mg, магнезиоферрит при замещении Mg на Fe²⁺. Уменьшение количества MgO в пигменте (по результатам микроанализа), по сравнению с исходным его количеством в пироксените, свидетельствует об изоморфном замещении Mg.

В мелкодисперсных пигментах основной является фракция с размером частиц менее 50 мкм. Измельчение готового пигмента в течение 30 мин в шаровой мельнице обеспечивает получение продукта дисперсностью частиц шпинели размером 4–9 мкм (рис. 3).

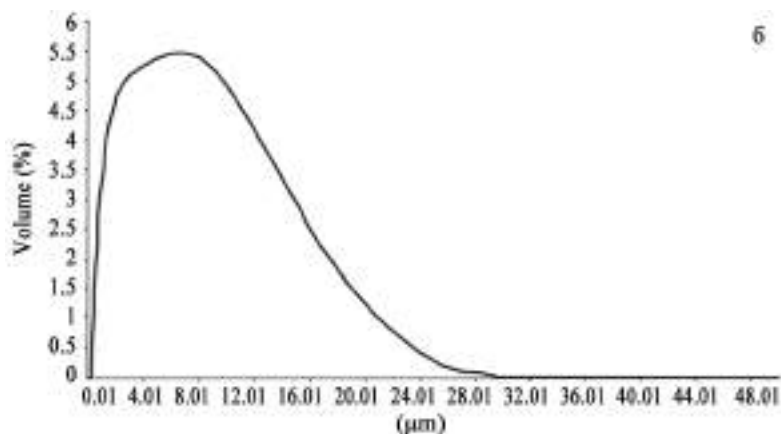
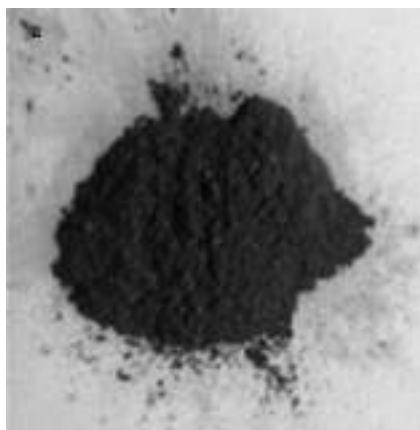


Рис. 3. Пигмент на основе пироксенита и его гранулометрический состав

Выводы

Ультрамафиты Аганозерского месторождения хромовых руд представляют практический интерес как высокомагнезиальное сырье для использования в промышленности. Дуниты, благодаря отсутствию химически связанной воды, являются наиболее ценным сырьем для производства форстеритовых огнеупоров. Серпентиниты и кемиститы могут найти применение в качестве сырья для получения пористого теплоизоляционного материала, разных видов керамики, антифрикционных покрытий металлов. На основе пироксенитов разработаны составы малоусадочных облицовочных и фасадных плиток с высокой прочностью

и керамического пигмента. Технологичность и экономическая эффективность разработанных керамических материалов на основе высокомагнезиальных пород и промышленных минералов Карелии обусловлены снижением энергозатрат и упрощением технологического процесса. Кроме того, практическое использование местных видов минерального сырья позволит расширить сырьевую базу для получения различных видов огнеупоров и технической керамики.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н. Геохимия и рудоносность Бураковского расслоенного интрузива // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 75–92.
2. Harben P. W., Bates R. L., Geology and World deposits. Industrial Minerals Division, Metal Bulletin Plc, London, 1984. 312 p.
3. Goldschmidt V. M. The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks // The Seventh Hugo Muller Lecture delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937. Journal of the Chemical Society (2). 1937. P. 655–673.
4. Вакалова Т. В., Говорова Л. П. и др. Структурно-фазовые изменения при нагревании дунитовых пород Северного Урала. Новые огнеупоры, 2016. № 2. С. 6–11.
5. Ильина В. П., Попова Т. В., Фролов П. В. Высокомагнезиальное сырье Карелии и перспективы его использования // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 190–196.
6. Патент № 2497774 РФ, МПК С04В 28/26. Сырьевая смесь для изготовления пористого теп-

- лоизоляционного материала / Ильина В. П., Щипцов В. В. Фролов П. В. Заявитель: Учреждение Российской академии наук Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук. Заявка № 2012119405, заявл. 11.05.2012, опубл. 10.11.2013. Бюл. № 31.
7. Седельникова М. Б., Погребенков В. М. Получение керамических пигментов со структурами волластонита и диопсида с использованием нефелинового шлама // Стекло и керамика, 2007. № 10. С. 28–30.
8. Патент № 2337889 РФ, МПК С03С 1/04. Шихта для получения пигмента желто-коричневого цвета. Авторы: Седельникова М. Б., Погребенкова Т. В. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. Опубл. 10.11.2008. Бюл. № 31.
9. Патент № 2269553 РФ, МПК С09С 1/00, С01В 25/26. Неорганический пигмент на основе пироксенов и способ его получения. Авторы: Радишевская Н. И., Егорова Л. А., Чапская А. Ю., Егорова Е. Ю., Верещагин В. И. Патентообладатель: Томский политехнический университет. Томский научный центр СО РАН. Опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4.

10. Ilyina V. P., Frolov P. V., Klimovskaya E. E., Tkacheva S. G., Shekov V. A. Karelia's talc-bearing rocks, their properties and possible application (exemplified by the Kallievo-Murennanvaara deposit) // Conference proceedings of 17th International Multidisciplinary

Scientific GeoConference SGEM2017. 29 June – 5 July, 2017, Albena, Bulgaria. Volume 17, Issue 13. P. 479–486.

11. Ilyina V. P., Inina I. S., Frolov P. V. Ceramic Mix Based on Pyroxenite and Low-Melting Clay // Glass and Ceramics, 2017. V. 73. № 9–10. С. 365–368.

DOI: 10.17076/tm13_12

ПЕРСПЕКТИВЫ КАРЕЛЬСКИХ ОБЪЕКТОВ КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДОБАВОК К ЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ МЕРГЕЛЕЙ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Фролов П. В., Мясникова О. В., Савицкий А. И.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

На территории Российской Федерации запасы цементного сырья распространены неравномерно, до 66% общероссийских промышленных запасов маломagneзиального карбонатного сырья сосредоточены в европейской части страны. При этом в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) утверждены запасы 13 месторождений, что составляет 3.8% от общероссийских. На 01.01.2015 г. балансовые запасы в СЗФО по категории А+В+С₁ составили 671 млн т, по С₂ – 585 млн т [3].

Основными нерудными материалами для производства портландцемента являются широко распространенные в природе осадочные известняковые горные породы с высоким содержанием углекислого кальция (CaCO₃) и глинистые породы с высоким содержанием кремнезема (SiO₂), глинозема (Al₂O₃) и окиси железа (Fe₂O₃).

Решение вопроса о пригодности сырьевых материалов для изготовления портландцемента и о выборе способа производства принимается на основе всестороннего изучения химического и минералогического составов сырья и исследования его физико-механических свойств.

Объект цементного сырья «Бабино»

Цель исследования – независимая оценка пригодности минерального сырья участка «Бабино» для производства портландцемента. Дополнительные геологоразведочные работы по объекту проводились авторами в 2014 году по заказу ООО «Геомарксервис» (Петрозаводск) для немецкой компании «Хайдельбергцемент» [6].

Участок «Бабино» расположен в Тосненском районе Ленинградской области, в 100 км на юго-

восток от г. Санкт-Петербурга, в 55 км от районного центра Тосно, в 8 км к югу от железнодорожной станции Бабино. В 5 км к юго-западу, в пос. Зуево Чудовского района Новгородской области, построен Бабиновский цементный завод.

Ранее поиски и разведка цементного сырья в восточной части Тосненского района Ленинградской области проводились в 1929 г. и в последующие годы.

В 2009 г. ГКЗ Роснедра (протокол № 2018 от 23.09.2009) были утверждены для условий открытой разработки балансовые запасы Бабиновского месторождения [5]:

– мергели: кат. В – 39 473 тыс. т, кат. С1–33175 тыс. т, С2–229 921 тыс. т (суммарные ~300 млн т);

– глины: кат. В – 8658 тыс. т, С1–14 927 тыс. т, С2–6402 тыс. т (суммарные ~ 30 млн т).

Утверждены следующие постоянные разведочные кондиции:

– к полезному ископаемому относить карбонатные породы нерасчлененных чудовско-шелонских слоев верхнего девона и глины валдайского горизонта четвертичной системы;

– минимальное содержание СаО в карбонатных породах – не менее 40%. Согласно ТУ-515–60, мергели натуральные должны содержать 40.0–44.0%;

– качество карбонатных пород и глин должно отвечать требованиям «Технические условия на качество основных видов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера» (Гипроцемент, 1970) и обеспечивать качество готовой продукции по ГОСТу 10178-85

(2002) «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».

Территория участка «Бабино» расположена в поле развития карбонатной части франского яруса верхнего девона (чудовские слои) [1]. Девонские отложения структурно и стратиграфически несогласно залегают на размытой поверхности осадочных толщ ордовика, непосредственно под четвертичными отложениями.

Залегание пород в целом близко к субгоризонтальному. Рельеф нерасчлененный.

На геологической карте (рис. 1), при снятом плаще четвертичных отложений, по всей площади участка с поверхности будут отображены чудовские верхнедевонские мергели и глинистые известняки (которые можно разделить условно по вариациям содержания CaO) франского яруса (D₃čd).

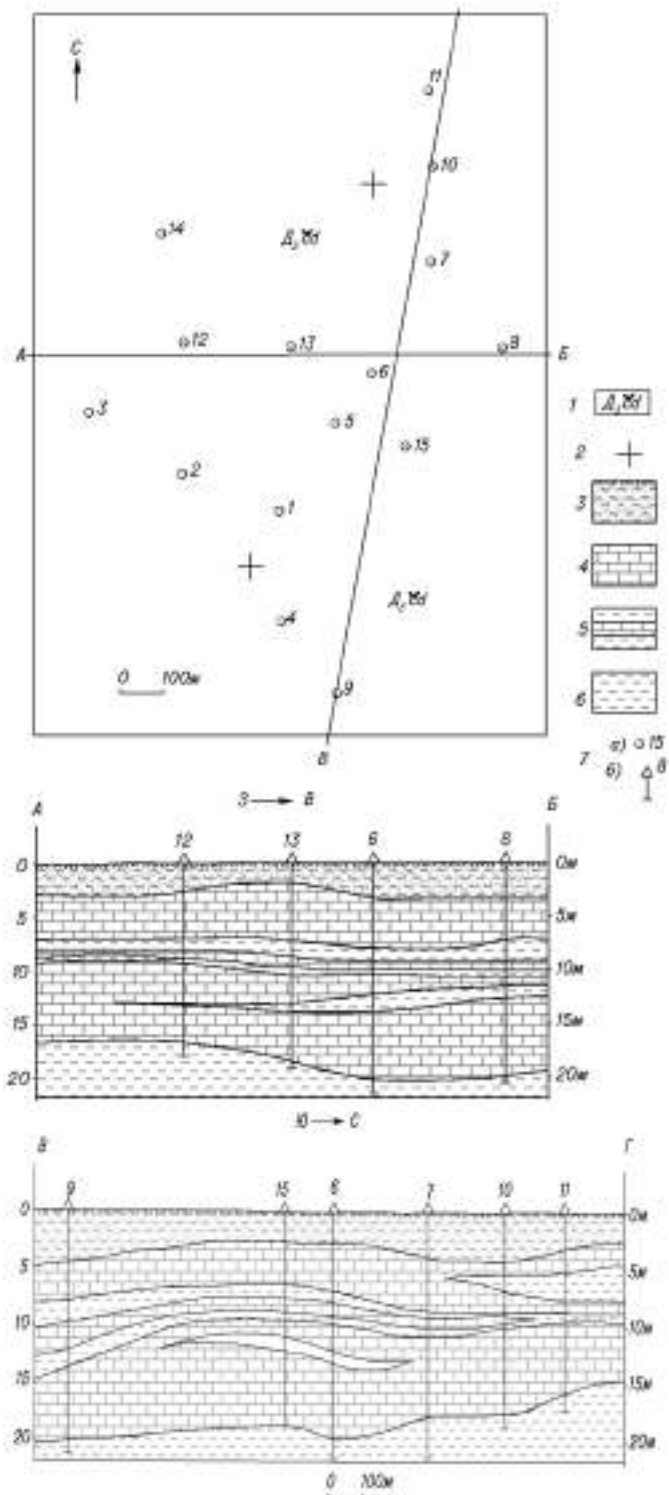


Рис. 1. Геологическая карта объекта «Бабино», геологические разрезы по линиям АБ и ВГ [6]

1 – чудовские верхнедевонские мергели и глинистые известняки франского яруса (D₃čd); 2 – субгоризонтальное залегание; 3 – четвертичные отложения (торфа, супеси, суглинки, глины); 4 – мергели и глинистые известняки; 5 – переслаивание мергелей и глинистых известняков с аргиллитами и глинами; 6 – аргиллиты и глины; 7 – скважины, пробуренные силами ООО «Геомарксервис», 2014 – а) на плане, б) на разрезе

По содержанию CaO карбонатные породы Бабиновского месторождения можно разделить на мергели натуральные (40–44%), глинистые известняки (более 44%), мергели с пониженным

содержанием CaO (менее 40%). Анализ петрохимического состава пород месторождения выполнен по разрезу 15-ти скважин в Аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН и приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав горных пород участка «Бабино»

Горные породы	Окислы, вес. %												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅	SO ₃
Мергели	7.9– 13.43	0.15– 0.30	2.86– 6.07	1.31– 2.34	0.050– 0.108	1.52– 5.21	35.94– 44.80	0.04– 0.18	0.90– 1.72	0.54– 2.34	33.28– 37.90	0.03– 0.06	<0.10
Аргиллиты	24.50– 46.80	0.46– 0.78	9.26– 15.95	3.73– 7.09	0.05– 0.08	1.35– 6.81	7.32– 29.40	0.09– 0.30	2.75– 5.22	0.05– 4.96	9.97– 25.72	0.04– 0.20	0.02– 0.14
Пачка переслаивания аргиллитов и мергелей	15.40– 29.36	0.28– 0.53	5.62– 10.64	2.35– 4.73	0.05– 0.08	1.50– 6.06	20.51– 39.26	0.06– 0.23	1.61– 2.83	1.00– 4.04	24.52– 33.84	0.04– 0.08	0.02– 0.16
Глинистые известняки	7.31– 9.15	0.09– 0.18	1.87– 3.07	0.88– 1.77	0.058– 0.100	2.09– 2.70	45.04– 47.99	0.03– 0.08	0.54– 1.00	0.22– 1.02	37.31– 39.12	0.01– 0.06	0.02– <0.10
Глины мергелистые	25.62– 45.80	0.57– 0.84	14.59– 17.97	4.64– 8.09	0.055– 0.056	1.00– 3.45	8.32– 22.20	0.07– 0.11	3.16– 5.22	2.69– 3.01	9.97– 24.85	0.11– 0.12	0.01

По данным полного силикатного анализа, пробы аргиллитов, глин и из пачки переслаивания аргиллитов, глин и мергелей отличает повышенное содержание глинозема – до 16% и кремнезема – до 47%. Повышенное содержание кремнезема связано с присутствием кварца в супесчаной составляющей глинистых отложений, что позволяет применять пустые породы при формировании сырьевой смеси и сократить отвалы при добыче.

Содержания вредных компонентов в большинстве проб не превышают допустимые по техническим условиям нормы: MgO – не более 3.8%;

K₂O+Na₂O – не более 1%; P₂O₅ – не более 0.25%; SO₃ – не более 0.6%. В отдельных пробах содержание окиси магния превышает норму до 2%.

Основными петрофизическими свойствами, определяющими на стадии разведки пригодность пород для получения сырьевой смеси для получения портландцемента, являются плотность и влажность. Устойчивость к коррозии будущих изделий из портландцемента оценивается по результатам содержания хлоридов в бетоне конструкций. Петрофизические свойства пород участка «Бабино» представлены в таблице 2.

Таблица 2

Петрофизические свойства горных пород участка «Бабино»

Горные породы	Cl (водная вытяжка), мг/кг	Плотность (объемная масса), кг/м ³	Влажность, %
Мергели	5.32–18.01	2300–2580	0.34–2.90
Аргиллиты	5.32–17.37	2020–2550	5.40–12.10
Пачка переслаивания аргиллитов и мергелей	5.41–32.18	2100–2580	0.33–6.00
Глинистые известняки	17.73–28.36	2560–2590	0.40–0.69
Глины мергелистые	–	2200–2470	1.95–4.14

Плотность аргиллитов, определенная гидростатическим методом, по 17 пробам, в среднем – 2200 кг/м³; карбонатных пород по 71 пробе, в среднем – 2500 кг/м³. Показатели влажности у проб аргиллитов выше, чем у карбонатных пород (до 15 раз), при этом влажность аргиллитов сильно варьирует в образцах нередко даже одного интервала опробования.

Радиационно-гигиеническая оценка горных пород участка «Бабино» выполнена гамма-спектрометрическим методом на аттестованном гамма-спектрометре со сцинтилляционным детектором БДЭГ2СП-1 № 2-286 и программным обеспечением «СПЕКТР-1С». Для исследования удельной эффективной активности (A_{эфф}) естественных радионуклидов (ЕРН) выбраны навески

из 7 керновых проб скважины № 5, расположенной практически в центре обуренной площади. Измерение и расчет аналитических параметров выполнены в соответствии с ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия стеновые. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов». В соответствии с ГОСТ 30108-94 за результат определения величины $A_{эфф}$ ЕРН для месторождения (партии материала) принимается максимальное значение $A_{эфф}$, полученное при измерениях проб. Результаты измерения представлены в табл. 3.

Наименьшие значения $A_{эфф}$ характерны для карбонатных пород (мергелей) – 94 Бк/кг. Значения у аргиллитов в 1.7 раза выше – 161 Бк/кг. Максимальные значения характерны для пачки переслаивания карбонатных пород с глинистыми (переслаивания мергелей и аргиллитов) – 214 Бк/кг.

Все пробы скважины № 5 участка «Бабино» относятся к 1 классу ($A_{эфф} \leq 370$ Бк/кг). Учитывая однотипность представленного на объекте геологического разреза, горные породы участка можно отнести к радиационно-безопасным.

Таблица 3
Удельная эффективная активность ($A_{эфф}$) естественных радионуклидов в породах участка «Бабино»

Порода	№ пробы	Интервал опробования, м	Удельная активность (Бк/кг)								$A_{эфф, м}$ Бк/кг
			Ra-226		Th-232		K-40		$A_{эфф}$		
			Акт.	α_1	Акт.	α_2	Акт.	α_3	Акт.	Δ	
Мергель	5/1	2.8–4.0	5	8	4	7	345	48	39	13	53
Мергель	5/2	4.0–7.7	4	9	13	6	286	41	46	11	57
Аргиллит	5/3	7.7–9.7	25	7	50	7	662	78	147	14	161
Переслаивание аргиллитов с глинистыми известняками	5/4	9.7–12.7	22	8	34	8	526	73	111	14	125
	5/5	12.7–13.6	35	7	49	7	1160	135	198	17	214
Мергель	5/6	13.6–17.0	28	8	15	8	186	29	64	13	76
Мергель	5/7	17.0–19.9	43	7	15	8	239	37	83	11	94

Примечания: $\alpha_1 - \alpha_3$ – погрешности гамма-спектрометра, Δ – абсолютная погрешность определения значений $A_{эфф}$.

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы по кондиционности цементного сырья объекта «Бабино»:

- среднее содержание СаО в мергелях участка «Бабино» порядка 38 %;
- средневзвешенное содержание СаО может быть достигнуто 41.7% только при селективной добыче;
- по своим качественным параметрам около 37% мергелей не будут использоваться в производстве цемента;
- производство цемента из мергелей участка «Бабино» возможно только в случае селективной добычи и добавления карбонатов с высоким содержанием СаО.

Для производства портландцемента пригодны карбонатные породы при содержании не менее 40–43% СаО; не более 3.2–3.7% MgO. Рекомендуется, чтобы сумма Na_2O и K_2O не превышала 1%, а содержание SO_2 – 1.5–1.7% [7]. Следовательно, чтобы использовать минеральное сырье участка «Бабино» для получения

портландцемента, необходимо выявить месторождения карбонатных пород, потенциально пригодных в качестве корректирующей добавки к сырьевой смеси.

На территории Республики Карелия встречаются чистые известняки с содержанием СаО в пределах 48–54% (ср. 53.54%) и MgO от 0.5 до 2.5% (ср. 1.2%), SiO_2 до 1.5% – месторождение Соваярвинское у оз. Соваярви (Лоухский район Северной Карелии) [4].

В Лоухском районе, в границах Тикшеозерского массива щелочно-габброидной формации (рис. 2), выявлены апатитоносные карбонатиты, представляющие интерес как индустриальное сырье [2].

Тикшеозерский массив – субмеридионально вытянутое тело и состоит из трех крупных блоков: Тикшеозерского, Центрального и Шапкоозерского. В центре Центрального блока штокообразное тело слагают карбонатиты. В породах массива преобладают кальцитовые карбонатиты, подчиненное значение имеют доломит (анкерит)-кальцитовые и существенно

доломитовые. Минеральный состав, по данным керна скв. 169, отражает преобладание (около 90% и более) в составе карбонатитов карбонатов, главным образом, кальцита. По петрохимическим характеристикам различаются

высококальциевые и магниевые-кальциевые карбонатиты (табл. 4). Высококальциевые карбонатиты возможно использовать в качестве корректирующей добавки к мергелям для получения портландцемента.

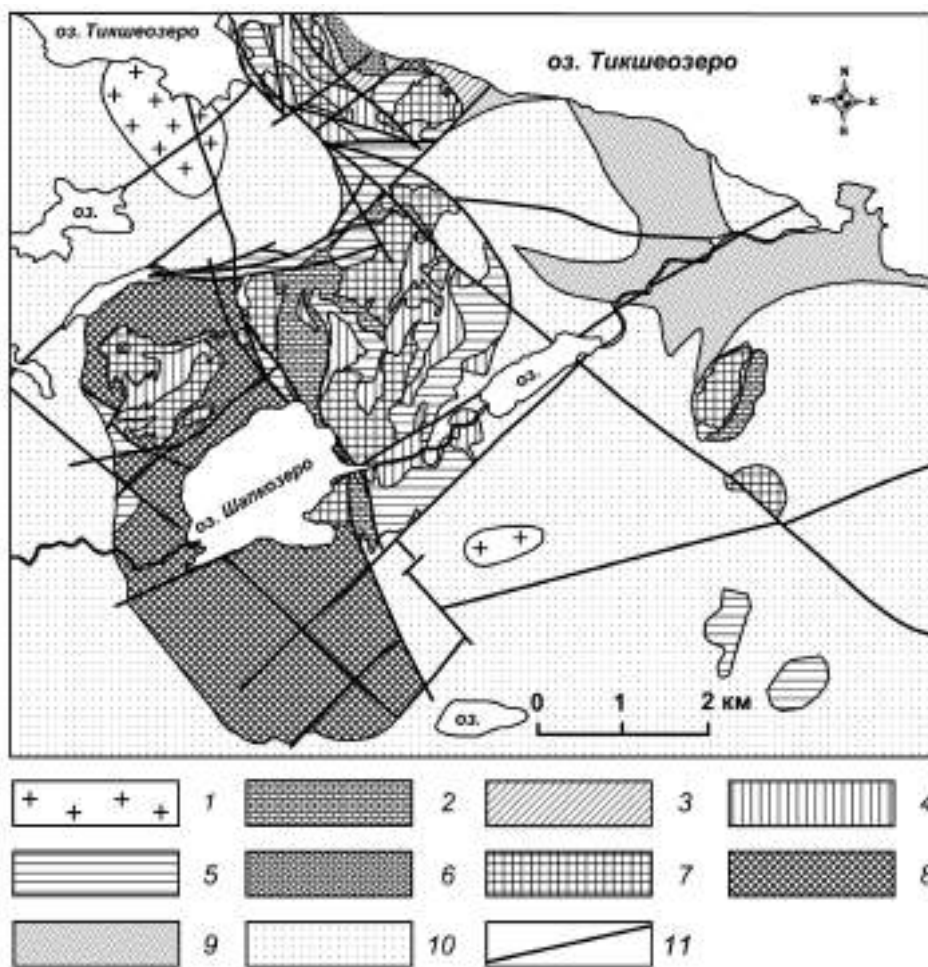


Рис. 2. Карта-схема геологического строения Тикшеозерского массива [2]

1 – микроклиновые граниты с вкрапленностью голубого дымчатого кварца; 2 – карбонатиты кальцитовые, доломит-кальцитовые и кальцит-доломитовые; 3 – нефелиновые сиениты; 4 – уртиты средне-крупнозернистые до гигантозернистых; 5 – средне-крупнозернистые ийолиты, ийолиты-уртиты; 6 – габбронориты; 7 – средне-мелкозернистые титаноавгитовые пироксениты, оливиновые пироксениты; 8 – оливиниты с титаномагнетитом, серпентизированные оливиниты, серпентиниты; 9 – амфибол-биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы; 10 – микроклин-плаггиоклазовые граниты, тоналиты, диориты; 11 – разрывные нарушения

Таблица 4

Вариации петрохимического состава карбонатитов [2]

Разновидность карбонатитов	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅
Высококальциевые	0.65–14.87	2.49–35.42	1.11–6.51	35.11–51.80	1.04–6.22
Магниевые-кальциевые	1.14–21.74	4.39–10.66	12.32–14.64	23.36–39.40	1.72–4.94

По результатам проводившихся в различные годы полевых работ, с попутными радиометрическими замерами, и по данным отдельных договорных работ в ИГ КарНЦ РАН, по рассматриваемым карбонатным объектам Северной

Карелии можно сделать вывод об их радиационно-гигиенической безопасности.

Заключение

На территории Карелии имеют место породные комплексы, содержащие карбонатные

толщи. При соответствующем качестве карбонаты могут применяться в качестве корректирующей добавки к верхнедевонским мергелям Русской платформы. Это позволит обрабатывать недостаточно кондиционные объекты цементного сырья, к примеру, Ленинградской и Новгородской областей, и расширит области

комплексного применения сырья таких объектов, как Тикшеозерский расслоенный массив щелочно-габброидной формации.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. Санкт-Петербург, «Севзапнедра», 2002.

2. Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Скамницкая Л. С., Щипцова Н. И. Геолого-технологическая и экономическая оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии, 2007. Вып. 10. С. 159–170.

3. ИТС 6–2015 Производство цемента. Москва. Бюро НДТ. 2015. 293 с.

4. Медведев П. В., Кондрашова Н. И. Карбонатное сырье Карелии: история и перспективы использования // Горный журнал, № 3. 2019. С. 25–30.

5. Отчет о результатах геологоразведочных работ по геологическому изучению Бабинского месторождения цементного сырья. Ответственный исполнитель: Рогов В. С. ОАО «Цемент», Санкт-Петербург, 2009.

6. Фролов П. В. Отчет о результатах поисково-ревизионных работ по изучению геологического строения и качества цементного сырья объекта «Бабино». ООО «Геомарксервис», Петрозаводск, 2014.

7. Технические условия на качество основных видов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера. Ленинград: «Гипроцемент», 1970. 51 с.

DOI: 10.17076/tm13_13

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ АГАНОЗЕРСКОГО КОМПЛЕКСНОГО ОБЪЕКТА

Савицкий А. И., Ильина В. П., Кевлич В. И.

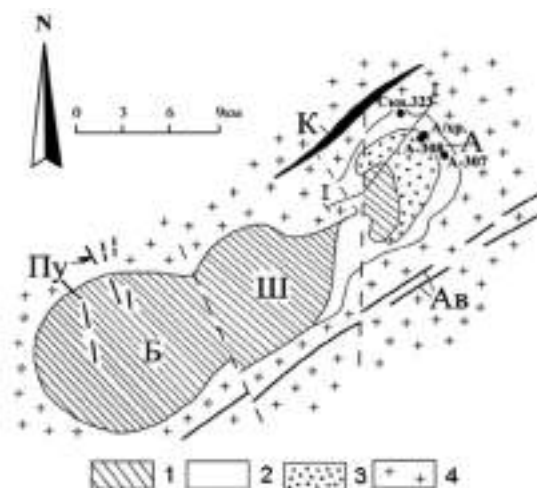
Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Аганозерское месторождение хромовых руд находится на территории Пудожского района Карелии, расположено в 45 км север-

нее г. Пудож. С геологической позиции входит в состав Бураковско-Шалозерско-Аганозерского интрузивного массива (рис. 1).

Рис. 1. Схематический геологический план Бураковско-Шалозерско-Аганозерского интрузивного массива [3]

1 – габбронориты; 2 – серпентиниты; 3 – никель-магнезиальные руды в проекции на дневную поверхность; 4 – вмещающие гранитоиды и прочие породы. Блоки массива; Б – Бураковский, Ш – Шалозерский, А – Аганозерский. Свиты даек: Ав – авдеевская, К – копполозерская, Пу – пудожгорская



Бураковско-Шалозерско-Аганозерский раннепротерозойский массив является типичным представителем мафит-ультрамафитовых расслоенных интрузий, распространенных в восточной части Фенноскандинавского щита. Размер интрузива 50×13–16 км, глубина залегания подошвы до 3.5–7 км, форма лополитообразная. Характерна высокая степень дифференцированности и присутствие стратиформных хромитовых залежей [6, 7].

Аганозерское месторождение (рис. 2) является комплексным объектом. Потенциальными полезными ископаемыми на Аганозерском месторождении, помимо основного – хромовых руд, могут быть магнезиальные ультрамафиты – оливиниты, дуниты, серпентиниты и пироксениты, объемы которых значительны [11]. Высокомагнезиальные породы являются

вскрышными и вмещающими для хромовых руд. Извлекаемые при комплексной разработке месторождения они требуют утилизации в целях снижения экологического ущерба окружающей среде.

Высокое содержание в серпентините Аганозера оксидов железа несколько ограничивает возможность их использования. Однако, по данным патентов и публикаций, были выявлены требования к химическому составу серпентинитов, применяемых для изготовления различных видов изделий и материалов. Так, например, большое количество железа в серпентините, используемом в качестве заполнителя бетона, не является недостатком, а наоборот, повышает защитные свойства бетона, используемого в качестве биологической защиты атомных реакторов [10].

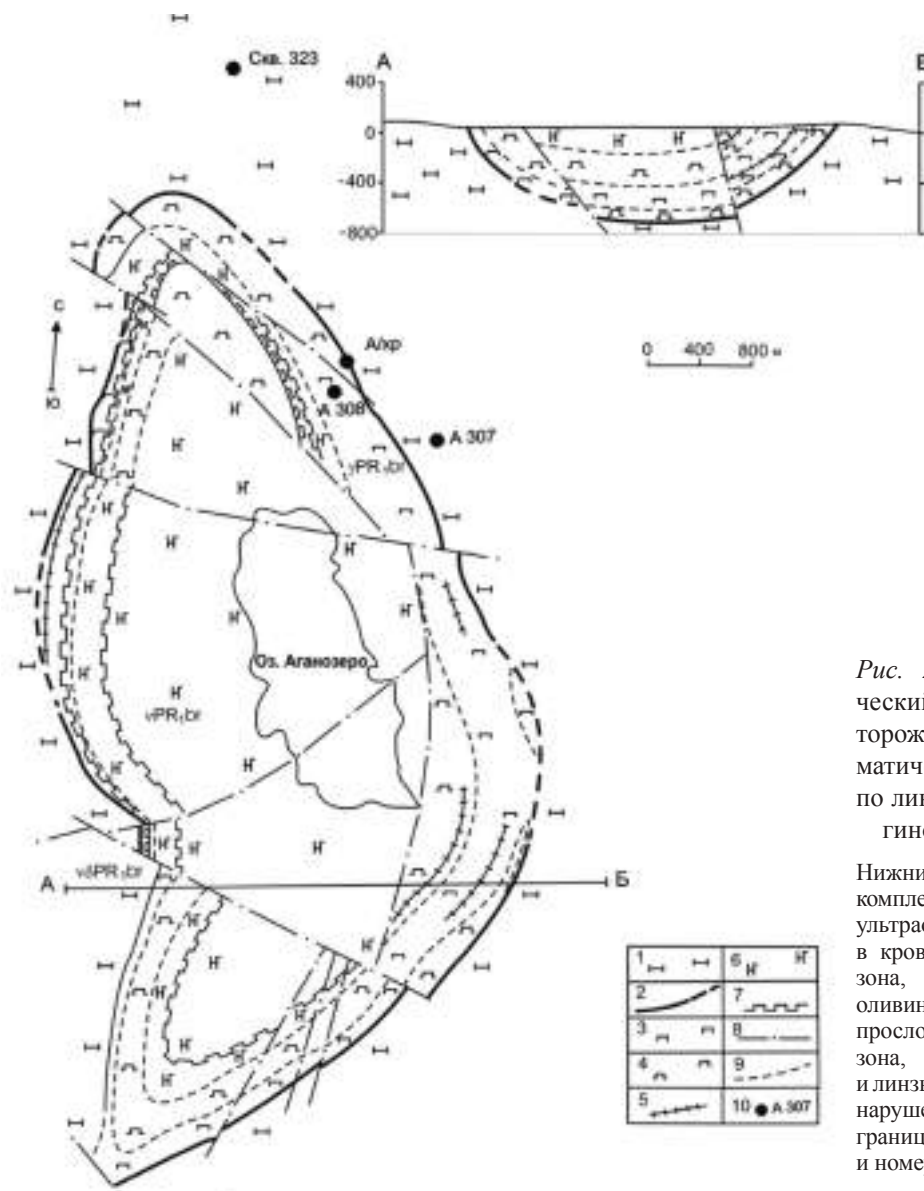


Рис. 2. Схематический геологический план Аганозерского месторождения хромовых руд, схематический геологический разрез по линии А–Б (по материалам Логинова В. Н. с дополнениями)

Нижний протерозой, бураковский комплекс расслоенных интрузий: ультраосновная зона, перидотиты (1), в кровле – ГХГ (2); пироксенитовая зона, клинопироксениты, в т. ч.: оливиновые (3), вебстериты (4), прослойки верлитов (5); габброноритовая зона, габбронориты (6), горизонты и линзы вебстеритов (7); тектонические нарушения – 8; геологические границы – 9; места отбора проб и номера – 10

Предварительные испытания проб серпентинизированных ультрамафитов Аганозера на машине трения и частичное апробирование результатов испытаний на реальных механизмах позволяют сделать вывод о вероятной перспективности использования материала для приготовления триботехнических смесей.

Хромовые руды Аганозерского объекта представляют собой практический интерес не только как сырье для извлечения металлического хрома, но и, в первую очередь, как источник хромшпинелидов в качестве индустриального минерала. В отдельных зонах хромитовому оруденению сопутствует и платиновая минерализация [6, 7].

В целом радиационно-гигиеническая обстановка в пределах площади Бураковско-Шалозерско-Аганозерского массива может быть оценена по карте радиационно-гигиенической обстановки Пудожского района масштаба 1:200 000, составленной по результатам многолетних работ ГГП «Невскгеология» [9]. Мощность дозы гамма-излучения в пределах массива по аэрогеофизическим данным составляет менее 0.06 мкЗ/час и это свидетельствует, что в массиве преимущественно развиты горные породы с низким фоновым содержанием радиоактивных элементов (и, соответственно, с пониженной радиоактивностью). Однако опыт работ ГГП «Невскгеология» в Карело-Кольском регионе показывает, что при наземной гамма-съемке возможно обнаружение участков с гамма-фоном местности 0.30–0.35 мкЗ/час и более. В обрамлении Бураковского блока также имеют место единичные точки с повышенными содержаниями радиоактивности [2]. Дополнительно работами ГГП «Невскгеология» установлено, что в пределах водосборных площадей севернее озера Аганозеро отмечаются аномально радиоактивные водоисточники вторичной аккумуляции урана в торфяниках и почвах. Локальные аномалии достигают 1–3 мкЗ/час. Наибольшие значения радиоактивности следует, вероятно, ожидать в породах дайковых комплексов. Дайки перидотитов, дунитов кополозерского субвулканического комплекса завершают позднеархейский тектономагматический цикл; габбро-нориты, габбро-долериты авдеевского комплекса и лейкограниты рагнозерского комплекса завершают раннепротерозойскую тектоно-магматическую фазу формирования интрузивных образований [5].

Нами проведено радиационно-гигиеническое изучение отдельных проб ультрамафитов Аганозерского объекта, нескольких проб хромовых руд главного хромитового горизонта. С целью общей оценки радиационно-гигиенической обстановки Аганозерского объекта дополнительно были проанализированы пробы пород из обнажений р. Кукручей, несколько южнее площади Аганозерского блока (площадь Шалозерского блока), ввиду отсутствия обнажений вмещающих гранитоидов и габброидов в пределах непосредственно Аганозерского блока. Габброиды и гранитоиды Кукручья дают низкие, «фоновые» значения радиоактивности, за исключением дайки микроклиновых гранитов (мощностью > 2 м) в гранодиоритах, что подтверждается и полевыми замерами прибором СРП-68-01 (проба А-11).

Для измерений были отобраны представительные пробы для определения лабораторным гамма-спектрометрическим методом удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в соответствии с требованиями ГОСТ 30108-94 [4]. Настоящий стандарт распространяется на неорганические сыпучие материалы (щебень, гравий, песок, цемент, гипс и др.) и строительные изделия, а также отходы промышленного производства [1, 8].

Удельная эффективная активность ($A_{эфф}$) – суммарная удельная активность естественных радионуклидов в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека по формуле: $A_{эфф} = A_{Ra} + 1.30A_{Th} + 0.09A_K$, где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – удельные активности радия-226, тория-232, калия-40, соответственно, Бк/кг. За результат определения удельной эффективной активности ЕРН в контролируемом материале при установлении класса принимается значение, определяемое по формуле: $A_{эфф м} = A_{эфф} + \Delta$, где Δ – абсолютная погрешность определения значений $A_{эфф}$. Определение удельной активности естественных радионуклидов (радия-226, тория-232 и калия-40) выполнено гамма-спектрометрическим методом на аттестованном гамма-спектрометре со сцинтилляционным детектором БДЭГ2СП-1 № 2-286 и программным обеспечением «СПЕКТР-1С». Свидетельство о метрологической поверке № 42210.1Б324 выдано метрологическим центром «ВНИИФТРИ» Госстандарта России.

Результаты измерений удельных активностей ЕРН и расчетные значения $A_{эфф м}$ представлены в Таблице.

Таблица

Гамма-спектрометрические определения удельных активностей естественных радионуклидов (урана (радия), тория и калия (калия-40) в породах с Шалозерско-Аганозерской площади

№ п/п	Полевое название породы	№ проб	Активность радионуклидов Бк/кг			A _{эфф м} Бк/кг	МЭД* мкЗ/час
			Радий A _{Ра}	Торий A _{Тн}	Калий A _К		
Участок «Аганозеро»							
1	хромовая руда из ГХГ**	A1/Cr	2	2	10	13	–
2	хромовая руда из ГХГ	A2/Cr	3	3	8	13	–
3	хромовая руда из ГХГ	A3/Cr	2	2	8	10	–
4	перидотит	A/307	3	6	10	18	–
5	пироксенит	A/308	2	3	11	13	–
6	пойкилит	A/309	2	3	15	15	–
Участок «Кукручей»							
7	габбро	B-1	3	4	162	30	0.035–0.048
8	габбро	B-2	2	6	176	29	0.035–0.040
9	кварц-микроклиновый гранит	B-3	2	2	254	31	0.040–0.050
10	габбро	B-4	2	4	292	39	0.045
11	диорит	A-9	3	6	358	53	0.060
12	диорит	A-10	2	4	220	41	0.060
13	кварц-микроклиновый гранит	A-11	38	95	1076	278	0.100–0.180
14	диорит	A-12	3	7	278	42	0.055–0.065
15	габбро	Л-1	3	4	101	25	0.045
16	кварц-микроклиновый гранит, на контакте с габбро	Л-2	2	2	415	49	0.040–0.550
17	кварц-микроклиновый гранит	Л-3	3	4	443	53	0.050
18	габбро	Л-3–1	3	3	40	18	0.035–0.040
19	габбро	Л-3–2	2	8	90	29	0.035–0.040
20	гранодиорит	315	5	4	176	32	0.060

*Примечание:**МЭД – мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения, **ГХГ – главный хромитовый горизонт.
1 мкЗ/час = 100 мкР/час.

Выводы

Предварительно по Аганозерскому объекту радиационно-гигиеническую обстановку в целом можно оценить по классу 1 (удельная эффективная активность ≤ 370 Бк/кг, мощность экспозиционной дозы ≤ 20 мкР/час), т. е. как ра-

диационно-безопасная. Для окончательной оценки необходимо проведение специальных работ.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев А. М., Иванюкович Г. А., Киреленко Д., Хайкович И. М. Радиозология. СПб., 2003.
2. Ганин В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Отчет о результатах ГГС масштаба 1:50000 и общих поисков никеля в пределах Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1989.
3. Горощко А. Ф. Новый геолого-промышленный тип месторождений комплексного никель-магнезильного сырья в ультрамафитах Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии, 1998. Вып. 1. Петрозаводск. С. 24–35.
4. ГОСТ 30108–94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. М: Госстрой России, 1995.
5. Гриневич Н. Г. Отчет по теме: «Разработка петрологической модели расслоенного Бураковско-Аганозерского массива ультраосновных-основных пород на основе обобщения ГГК-200, ГГК-50». // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 2000.
6. Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н. Геохимия и рудоносность Бураковского расслоенного интрузива // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 75–92.
7. Лавров М. М., Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Слюсарев В. Д. Геология и петрология Бураковского расслоенного интрузива // Отечественная геология. 2004. № 2, С. 23–30.

8. Новиков Г. Ф. Радиометрическая разведка. Л., Недра, 1989.

9. Объяснительная записка к карте радиационно-гигиенической обстановки Пудожского района Республики Карелия масштаба 1:200000. ГПП «Невско-геология», ВСЕГЕИ, 1992. Под ред. А. В. Савицкого.

10. Серпентинит в защите атомных реакторов. Под ред. Егорова Ю. А. М., 1973. С. 103–104.

11. Щипцов В. В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 45–61.

DOI: 10.17076/tm13_14

АНАЛИЗ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЖИЛЬНОМ КВАРЦЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФЕНЬКИНА-ЛАМПИ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Светова Е. Н.¹, Шанина С. Н.²

¹*Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск;*

²*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар*

Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи находится в Карелии и является единственным разведанным месторождением с утвержденными запасами в республике [5]. Проводимые ранее в Институте геологии КарНЦ РАН минералого-технологические исследования данного кварца показали, что серьезной проблемой при его обогащении традиционными методами является обилие газовой фазы, негативно влияющей на чистоту кварцевых концентратов [2, 6]. Являясь количественно основными примесями, газовой фазы вносят вклад в микропримесный состав кварца и обуславливают прозрачность получаемых кварцевых стекол. Для разработки технологии, которая позволит эффективно снизить содержание газовой фазы в кварцевых концентратах важно оценить состав, содержание газовой фазы и их поведение в процессе термической обработки кварца. В настоящей работе рассматриваются результаты изучения кварца месторождения Фенькина-Лампи методом пиролитической газовой хроматографии, позволяющим качественно и количественно анализировать газовую фазу, выделяющуюся из кварца при его нагревании в заданном температурном интервале.

Для исследования использована коллекция образцов кварца из фонда отдела минерального сырья ИГ КарНЦ РАН, представленная тремя структурно-технологическими типами кварца: I – молочно-белым крупно-гигантозернистым, II – серовато-белым средне-крупнозернистым,

III – светло-серым средне-крупнозернистым [1]. Определение состава и содержания газовой фазы, выделяемой из кварца при нагревании, выполнено на газовом хроматографе «Цвет-800» с пиролитической приставкой в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Исследовалась кварцевая крупка фракции (–0.5+0.25 мм) навеской 500 мг, предварительно подвергнутая магнитной сепарации. Непосредственно перед исследованием образцы прогревались до 100 °С для удаления воды, сорбированной поверхностью кварцевых зерен. Нагрев образцов проводили в кварцевом реакторе в течение 5 мин, в качестве газа-носителя использовался гелий. Для удаления примесей газ-носитель предварительно очищали на колонке дополнительной очистки. Выделяемые в ходе нагрева газы предварительно накапливали на форколоне при температуре жидкого азота. Затем они последовательно поступали в рабочую колонку хроматографа GS-Q (30 м×0.53 мм×40 мкм), в детектор по теплопроводности и пламенно-ионизационный детектор. Обработка хроматографических сигналов осуществлялась с помощью программы TWS-MaxiChrom. Измерение концентрации выделяемых газов из кварцевой крупки выполнено в двух температурных интервалах: 100–600 °С и 600–1000 °С. Газоотделение в области высоких температур считается наиболее важным показателем качества кварца как сырья для плавления высококачественного кварцевого стекла. Высокотемпературные формы включений,

по сравнению с низкотемпературными, удаляются наиболее трудно в процессе термического обезгаживания и поэтому определяют прозрач-

ность или пузырчатость получаемого стекла. Результаты газохроматографического исследования приведены в Таблице.

Таблица
Содержание газов, выделившихся при нагревании кварца месторождения Фенькина-Лампы, ppm

Тип кварца	Число проб	Интервал нагрева, °С	H ₂ O	CO ₂	CO	N ₂	CH ₄	ТУ	Сумма
I	4	100–600	<u>91–446</u> 326	<u>4.03–5.89</u> 5.05	0	<u>0.56–0.98</u> 0.75	<u>0.01–0.04</u> 0.02	<u>0.02–0.14</u> 0.07	<u>98–451</u> 332
		600–1000	<u>159–545</u> 397	<u>6.49–7.81</u> 7.18	<u>0–1.41</u> 0.23	<u>0–1.40</u> 0.71	<u>0.31–0.56</u> 0.44	<u>0.39–0.93</u> 0.56	<u>169–555</u> 406
II	13	100–600	<u>39–1117</u> 491	<u>0.84–8.71</u> 5.04	0	<u>0–2.15</u> 0.68	<u>0–0.06</u> 0.03	<u>0–0.22</u> 0.09	<u>41–1126</u> 497
		600–1000	<u>41–647</u> 315	<u>0.78–9.80</u> 6.50	<u>0–0.37</u> 0.12	<u>0–1.87</u> 0.70	<u>0.14–0.57</u> 0.37	<u>0–0.89</u> 0.43	<u>42–658</u> 323
III	13	100–600	<u>23–1032</u> 480	<u>0.54–27.1</u> 7.14	<u>0–1.32</u> 0.13	<u>0–3.93</u> 0.97	<u>0–0.58</u> 0.07	<u>0–1.14</u> 0.22	<u>32–1066</u> 489
		600–1000	<u>79–787</u> 408	<u>0.9–15.6</u> 8.2	<u>0–1.73</u> 0.39	<u>0–16.3</u> 2.19	<u>0.1–1.7</u> 0.66	<u>0–3.18</u> 0.85	<u>80–804</u> 421

Примечание: I – молочно-белый крупно-гигантозернистый, II – серовато-белый средне-крупнозернистый, III – светло-серый средне-крупнозернистый. ТУ – сумма тяжелых углеводородных газов (C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈). В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – среднее.

Основным компонентом газовой фазы, выделяющейся из кварца при нагревании, является H₂O (90–99%). В менее значимых концентрациях присутствуют CO₂, CO, N₂ и углеводородные газы. Устанавливаются заметные различия в общей газонасыщенности образцов кварца. При нагревании от 100 до 1000 °С концентрация выделяющихся газов варьирует по разным пробам от 105 до 1490 ppm.

Содержание H₂O в кварце характеризуется большим разбросом значений – от 100 до 1470

ppm. Существенное выделение H₂O наблюдается как в низкотемпературной (100–600 °С), так и в высокотемпературной (600–1000 °С) областях. Соотношения количества воды, выделившейся в этих областях не обнаруживают строгой закономерности (рис. 1). Половина из изученных образцов характеризуется существенно большим выделением воды в низкотемпературной области, для трети образцов соотношение этих значений одинаковое, в остальных образцах преобладает количество высокотемпературной воды.

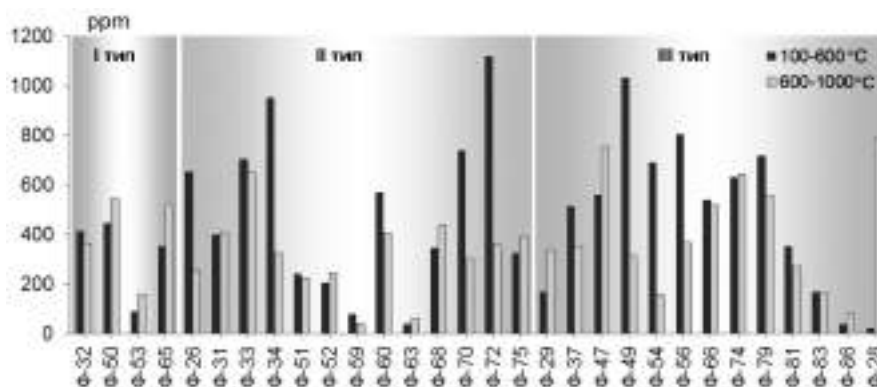


Рис. 1. Соотношения содержания воды, выделившейся в низкотемпературной (100–600 °С) и высокотемпературной (600–1000 °С) областях по типам кварца

Для кварца II и III типов средние значения выделения низкотемпературной воды составляют 491 и 480 ppm, соответственно, и превышают средние величины выделения высокотемпературной воды (315 и 408 ppm). В кварце I типа

наблюдается обратная картина: средняя величина выделившейся низкотемпературной воды (326 ppm) меньше, чем среднее значение высокотемпературной воды (397 ppm). В низкотемпературном диапазоне обычно происходит растрески-

вание более крупных газовой-жидких включений, а высокотемпературном – вскрываются включения мельчайших размеров, и происходит удаление молекулярно-дисперсной воды, растворенной в структуре кварца [3]. По-видимому, повышенное содержание высокотемпературной воды в кварце месторождения Фенькина-Лампи связано с большим количеством ультрамелких газовой-жидких включений, что подтверждается и микроскопическими наблюдениями, и, возможно, присутствием структурно-связанной воды. Обращает на себя внимание отсутствие четкой связи между общим содержанием воды в кварце и его принадлежностью к какому-либо из трех технологических типов (рис. 2). В каждой из трех групп кварца присутствуют образцы как с относительно низкой водонасыщенностью (100–250 ppm), так и с **высокой водонасыщенностью** (900–1400 ppm). Вероятно, это является следствием наличия нескольких генераций зерен кварца (в разной степени водонасыщенных) в пределах каждого из трех технологических типов кварца, что отмечалось ранее при микроскопическом анализе кварцевых зерен [6]. Наиболее узкий диапазон вариаций содержания H_2O (250–990 ppm) соответствует молочно-белому крупно-гигантозернистому кварцу (I тип), наибольший разброс значений (100–1470 ppm) установлен для серовато-белого средне-крупнозернистого кварца (II тип), для **светло-серого средне-крупнозернистого кварца** интервал значений составляет 116–1346 ppm. **В целом высокие значения концентрации высокотемпературной воды в кварце месторождения Фенькина-Лампи негативно характеризуют его качество как сырья для наплава высококачественных стекол.**

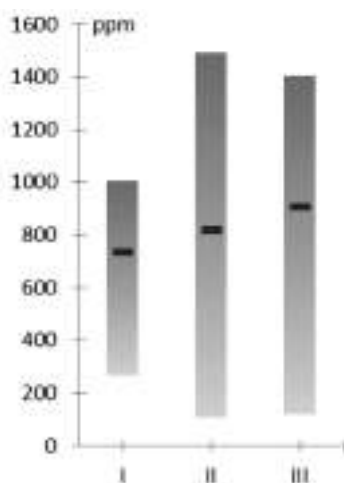


Рис. 2. Вариации содержания воды, выделившейся при нагревании от 100 °С до 1000 °С по типам кварца

Содержание азота (N_2) для большинства образцов незначительно и обычно не превышает 5 ppm (за исключением одного образца с аномально высоким общим содержанием выделившегося N_2 –17 ppm).

Общее содержание углекислоты (CO_2), выделяемой из кварцевой крупки при нагревании до 1000 °С варьирует от 1.5 до 43 ppm. При этом в низкотемпературном (100–600 °С) диапазоне выделение CO_2 несколько меньше, чем в высокотемпературном (600–1000 °С) интервале. Наибольший разброс величин общего выделения CO_2 наблюдается для кварца III типа, **минимальные вариации** – для кварца I типа.

Выделение монооксида углерода (CO) из кварцевой крупки незначительно – в среднем оно составляет 0.24 ppm и **отмечается преимущественно** в высокотемпературной области. Только в двух образцах кварца выделение CO наблюдается как в области высоких, так и в области низких температур, при этом содержание общего количества CO в этих образцах максимально и составило 3.1 и 1.2 ppm. Для части образцов кварца выделение CO в процессе нагрева до 1000 °С не наблюдается совсем.

Общее содержание углеводородных газов, выделившихся из кварца в интервале 100–1000 °С варьирует от 0.1 до 5.5 ppm, **составляя** в среднем 1.2 ppm. Среди углеводородов ведущую роль играет метан (CH_4), его доля составляет около 40–50 % мас. Для всей выборки кварца выделение углеводородов характерно в большей степени для высокотемпературной области (рис. 3) и может быть связано не только с декрепитацией включений, но и с процессом разложения малолетучих органических соединений, присутствующих в кварце [3]. Обращают на себя внимание в целом достаточно высокие концентрации углеводородных газов в жильном кварце месторождения Фенькина-Лампи по сравнению с этими показателями для жильного кварца южноуральских и приполярноуральских месторождений, варьирующими в диапазоне 0.1–0.9 ppm (Кузнецов и др., 2011). В технологии обогащения кварца данные о концентрации углеводородов в кварце имеют значение для расчета состава флотационного реагента. Существует предположение, что газовой-жидкие включения в минералах, вскрываясь в процессе измельчения, могут вносить заметный вклад в ионный состав пульпы [7].

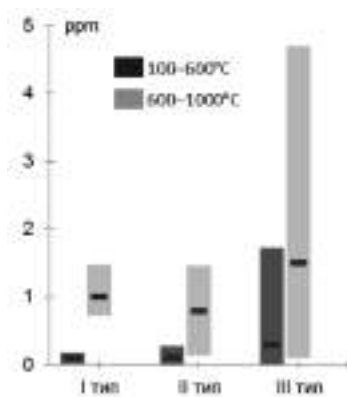


Рис. 3. Вариации суммарного содержания углеводородных газов, выделившихся в низкотемпературном (100–600 °С) и высокотемпературном (600–1000 °С) интервалах по типам кварца

Анализ общего газовыделения по типам кварца показывает, что наиболее однородным по содержанию газовой фазы является молочно-белый крупно-гигантозернистый кварц (I тип), для которого устанавливаются наиболее узкие диапазоны вариации величин всех определяемых газовых компонентов (рис. 4). Наибольший разброс значений концентрации газов, за исключением H_2O , и, соответственно, меньшая однородность кварца в пределах выделяемого типа соответствует светло-серому среднезернистому кварцу (III тип).

Таким образом, газохроматографическое изучение кварца месторождения Фенькина-Лампи показало, что в валовом составе газовой фазы, выделяющейся из кварца при нагревании до 1000 °С доминирует H_2O (90–99%). В значительно меньшем количестве присутствуют CO_2 , CO , N_2 и углеводородные газы. Общее содержание газов, выделившихся из кварца при нагревании, варьирует по разным пробам от 105 до 1490 ppm, не обнаруживая строгой закономерности в связи с принадлежностью кварца к какому-либо из выделяемых типов. Наиболее однородным по содержанию газовой фазы является молочно-белый крупно-гигантозернистый кварц (I тип), которому соответствуют наиболее узкие диапазоны вариации величин всех определяемых газовых компонентов и в среднем более низкие их концентрации.

Общее содержание H_2O в изученных образцах варьирует в широких пределах от 100 до 1470 ppm. Значения концентрации низкотемпературной воды, выделяемой в результате растрескивания крупных включений, сопоставимы со значениями концентрации высокотемпературной воды, выделяющейся в результате вскрытия мельчайших включений и, возможно, удаления структурно-связанной воды, определить которую планируется в дальнейшей работе. В целом достаточно высокие величины выделяемой высокотемпературной воды являются негативным показателем качества кварца как сырья для наплава высококачественных стекол. При разработке технологии глубокой очистки применительно к данному кварцу целесообразно использовать нестандартные подходы, учитывающие наличие как низкотемпературных, так и высокотемпературных форм газовой-жидких включений в кварце. К таким операциям можно отнести сверхвысокочастотную обработку кварцевой крупки, показывающую эффективность в отношении удаления газовой-жидких включений.

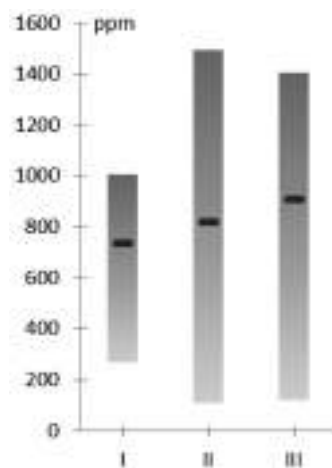


Рис. 4. Вариации суммарного содержания газов, выделившихся при нагревании от 100 до 1000 °С в различных типах кварца

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилевская Л. А., Гаранжа А. В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 29–38.
2. Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. 226 с.
3. Крейсберг В. А., Ракчеев В. П., Серых Н. М., Борисов Л. А. Диагностика газовой-жидких примесей в кварце масс-спектрометрическим методом // Разведка и охрана недр, 2007. № 10. С. 12–18.

4. Кузнецов С. К., Лютоев В. П., Шанина С. Н., Светова Е. Н., Сокерина Н. В. Особенности качества жильного кварца Уральских месторождений // Известия Коми НЦ, 2011. Вып. 4. № 8. С. 65–72.

5. Михайлов В. П., Аминов В. Н. (ред.) Минерально-сырьевая база Республики Карелии. Книга 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. 356 с.

6. Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А. Выбор методов обогащения кварца на основе закономерностей распределения и форм нахождения в нем примесей (на примере участков Меломайс и Фень-

кина-Лампи) // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Сборник научных статей по материалам российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 83–94.

7. Скамницкая Л. С., Каменева Е. Е. Изучение газо-жидких включений в минералах с позиций технологической минералогии // Обогащение руд, 2005. № 2. С. 31–36.

DOI: 10.17076/tm13_15

ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ТИТАНОСИЛИКАТА СО СТРУКТУРОЙ КОРОБИЦЫНИТА

Герасимова Л. Г.¹, Николаев А. И.², Самбуров Г. О.², Щукина Е. С.¹, Маслова М. В.¹

¹ИХТРЭМС КНЦ РАН; ²КНЦ РАН, Апатиты

Некоторые литературные источники приводят данные по использованию при получении щелочных титаносиликатов в качестве исходных структурообразующих компонентов (титан и кремний) гидроксидных и даже оксидных соединений порошков [1, 2]. В этом есть как недостатки, так и преимущества. В частности, к преимуществам можно причислить отказ от достаточно «капризного» жидкофазного золь-гель метода получения титаносиликатного прекурсора для гидротермального синтеза, что позволит значительно упростить процесс получения сорбента в целом.

Целью работы является получение композиционного гидратированного титаносиликатного осадка и его использование для синтеза щелочных титаносиликатов.

Для получения титаносиликатного осадка (ТСО) в гидратированной форме использовали сфеновый концентрат (TiO_2 31.1 мас %), измельченный в шаровой мельнице и 30%-ную соляную кислоту, которые смешивали при соотношения массы концентрата (Т) к объему кислоты (Вж) равном 1:3 и выдерживали при перемешивании в режиме кипения в течение 10–12 ч [3, 4]. В указанных условиях титан и кремний формируются в виде осадка ТСО, а кальций остается в солянокислотной жидкой фазе. ТСО отмывали водой от маточного раствора, после чего осадок разделяли на две фракции. Первая фракция (1) отмыва-

от минеральных частиц невоскрытого концентрата, а во второй (2) присутствует примесь минеральной фазы ~5%. Полученные порошкообразные осадки ТСО сушили в течение 24 ч на воздухе. На рисунке 1 представлена рентгенограмма ТСО (общая фракция), свидетельствующая о наличии в нем двух фаз: кристаллической, соответствующей рутилу (межплоскостное расстояние d – 3.23, 2.47, 2.175, 1.684) и рентгеноаморфной фазе кремнезема. ТСО – представляет собой порошок белого цвета. Химический состав порошка ТСО, прокаленного в муфельной печи при 850 °С в течение 3 ч приведен в таблице 1.

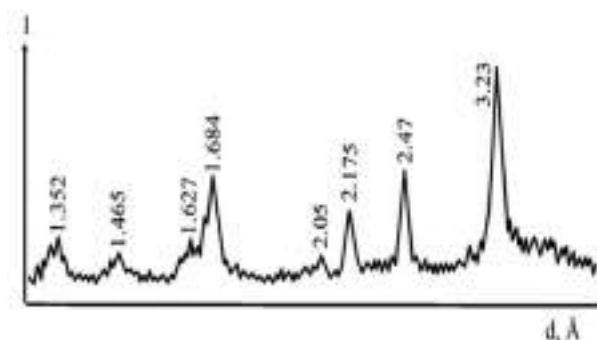


Рис. 1. Дифрактограмма просушенного на воздухе ТСО

Подсушенный на воздухе порошок ТСО использовали для синтеза щелочных титаносиликатов. Для этого в предварительно приготовленный раствор силиката натрия (содержание SiO_2 125 г/л) с добавкой натриевой

и калиевой щелочи помещали навеску порошка ТСО. Суспензию перемешивали в течение 2 ч при комнатной температуре или при 50 °С. Приготовленную смесь переливали в лабораторный автоклав (рабочая емкость вкладыша 70 мл), нагревали до 200 °С и выдерживали в течение 3 суток. После охлаждения сформировавшийся осадок отделяли фильтрованием от жидкой фазы (рН фильтратов 12.48–12.84), промывали водой и сушили при 65–70 °С. Подробно условия проведения экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав исследуемых фракций ТСО, прокаленных при 850 °С (мас. %)

Фракция	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	CaO	ппп*
1	54.19	44.11	0.47	0.23	0.16	0.34	0.08	9.05
2	51.7	46.20	0.49	0.23	0.24	0.50	0.13	8.87

Примечание: Измерения выполнены методом рентгенофлуорисцентного анализа на спектрокане МАКС-G-V. *ппп – потери воды (связанной и свободной) и других летучих примесей, в частности, хлорсодержащих.

Таблица 2

Условия экспериментов по получению щелочных титаносиликатов из ТСО (объем исходной смеси 60 мл)

Номер опыта	Условия приготовления Ti-Si прекурсора	фракция ТСО	рН исх.	рН кон.	Сод-ние SiO ₂ в ф-те, г/л	Сод-ние Na/K в ф-те, г/л	РФА
1.1	t – 20 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4,5 NaOH, КОН – нет	легкая	12.03	12.57	56.09	46.0/–	Кристаллическая и аморфная фазы
1.2	t – 50 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4,5 NaOH, КОН – нет	легкая	12.04	12.52	51.68	46.4/–	Кристаллическая фаза
2.1	t – 20 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4 NaOH, КОН – нет	тяжелая	12.05	12.48	49.08	46.0/–	Кристаллическая и аморфная фазы
2.2	t – 50 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4, NaOH, КОН – нет	тяжелая	12.05	12.42	55.45	50.2/–	Кристаллическая фаза
3.1	t – 20 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4,5 TiO ₂ : КОН – 1:1	легкая	12.71	12.75	44.54	42.8/11.5	Кристаллическая фаза
3.2	t – 50 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4,5 TiO ₂ : КОН – 1:1	легкая	12.69	12.75	55.96	46/12.0	Кристаллическая фаза
4.1	t – 20 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4 TiO ₂ : КОН – 1:1	тяжелая	12.65	12.84	49.73	43.0/13.1	Кристаллическая фаза
4.2	t – 50 °С TiO ₂ : SiO ₂ = 1:5, TiO ₂ : Na ₂ O = 1:4 TiO ₂ : КОН – 1:1	тяжелая	12.69	12.70	57	50.5/13.0	Кристаллическая фаза

На рисунке 2 представлены дифрактограммы синтезированных порошков (просушены на воздухе при 20 °С). Фазовый состав порошков включает фазу, соответствующую формуле Na₃(TiNb)₂(Si₄O₁₂)(O, OH)·3–4H₂O, подобной минералу *коробичиниту* с ромбической структурой или его структурному аналогу *ненадкевичиту* (рис. 3, 4). По данным авторов статьи [5] в каналобразных полостях каркасной постройки этих минералов располагаются атомы Na и молекулы воды, что сближает их с цеолитами. При этом соотношение Si / (Ti+Nb) (составляющие каркаса) выдерживается достаточно строго и соответствует 2.

Нижняя по условиям опыта 1.1, верхняя – опыта 3.1 (табл. 2)

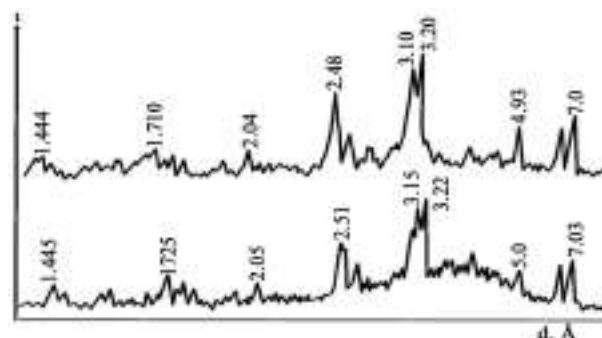


Рис. 2. Дифрактограммы образцов синтетического коробичинита-ненадкевичита.

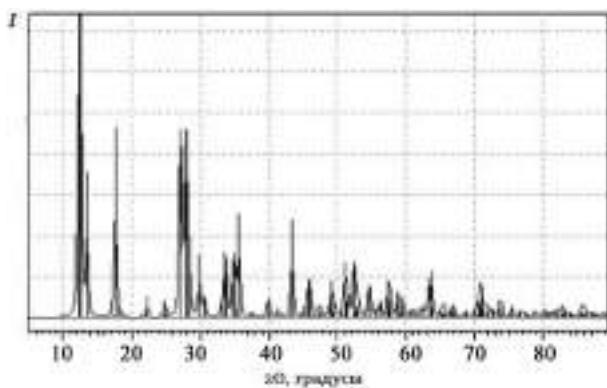


Рис. 3. Дифрактограмма ненадкевичита [5]

Влияние условий получения щелочного титаносиликата, в частности состава ТСО, температурных и концентрационных параметров получения щелочного прекурсора сводятся к следующему (табл. 3). Добавка в щелочную смесь избыточного количества щелочи в виде NaOH и КОН способствует при гидротермальной обработке более полному структурированию титаносиликатного геля в виде кристаллического осадка. При этом температурный режим подготовки прекурсора (20 °С и 50 °С) практически не влияет на фазовый состав конечного продукта. Отсутствие избыточного количества щелочей в геле, полученном из «легкой» фрак-

ции ТСО и пониженная температура его приготовления снижают скорость формирования кристаллического осадка, что обуславливает присутствие в конечном продукте дополнительной рентгеноаморфной фазы.

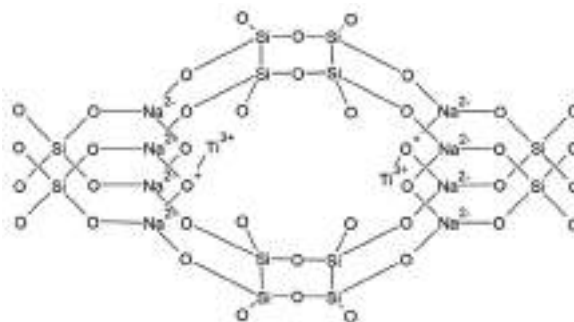


Рис. 4. Структура ненадкевичита

Изучено поведение синтезированных титаносиликатов при их термической обработке (200 °С, 500 °С и 800 °С). Под влиянием температурного воздействия (рис. 5) происходит деградация первичной структуры с ее постепенной амортизацией и последующим формированием новых кристаллических фаз. Отмечено, что при 800 °С начинается спекание частиц образцов. В таблице 3 приведен фазовый состав образцов при различной температуре обработки.

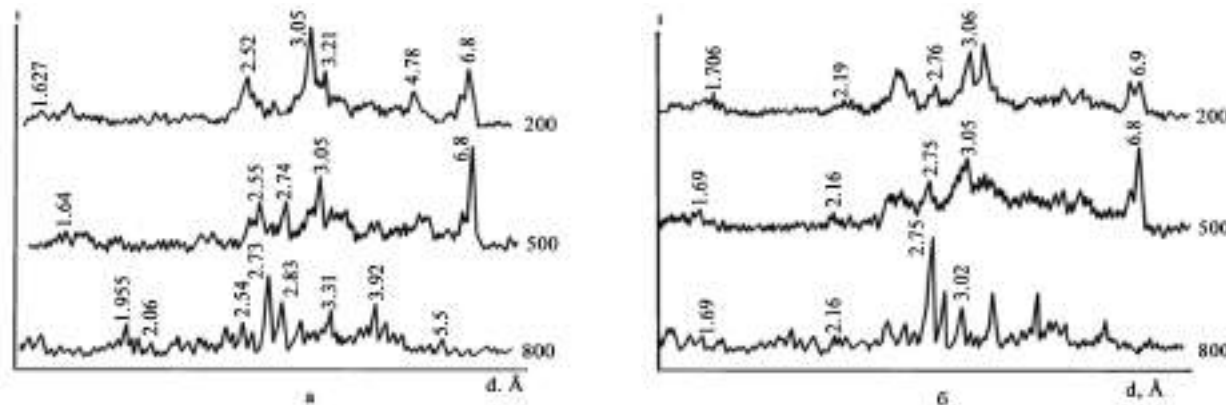


Рис. 5. Изменение фазового состава при термической обработке щелочных титаносиликатов, полученных с использованием а – ТСО (1), б – ТСО (2)

Таблица 3

Характеристика фазового состава образцов при различной термообработке

Образец	Фазовый состав по данным РФА			
	20 °С	200 °С	500 °С	800 °С
1.1	Рентгеноаморфная фаза и аналог минерала коробицынит $\text{Na}_3[\text{Ti}_{0,7}\text{Nb}_{0,3}]\text{Si}_2\text{O}_6\text{O}_{0,38}\text{OH}_{0,61}\cdot 1,85\text{H}_2\text{O}$ d, Å 7.03, 6.5, 5.0, 3.22, 3.15, 3.11, 2.51	Аналог минералу ненадкевичит слабые рефлексы на рентгенограмме	Аналог минералу ненадкевичит слабые рефлексы на рентгенограмме	$\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9 + \text{Na}_2\text{TiSi}_2\text{O}_7 = 1:1$
3.1	Аналог минералу коробицынит $\text{Na}_{0,86}\text{K}_{1,75}[\text{Ti}_{0,7}\text{Nb}_{0,3}]_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{O}_{1,21}\text{OH}_{0,79}\cdot 1,78\text{H}_2\text{O}$ d, Å 7.0, 6.4, 4.93, 3.2, 3.10, 2.48	Аналог минералу ненадкевичит слабые рефлексы на рентгенограмме	Аналог минералу ненадкевичит слабые рефлексы на рентгенограмме	$\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9 + \text{Na}_2\text{TiSi}_2\text{O}_7 = 2:1$

Определена сорбционная способность двух образцов синтезированных щелочных титаносиликатов. Для этого воздушносухие образцы сушили дополнительно при температуре 65 °С в течение 20 ч. Емкость сорбента устанавливали по известной методике [6]. В качестве сорбата использовали раствор хлорида стронция с исходной концентрацией 1.43 г/л по Sr. С помощью атомно-абсорбционного спектрометра AAnalyst 400 установлено, что сорбент № 1.1

сорбирует 62 мг/г, а сорбент № 3.1–112 мг/г Sr. Присутствие в структуре щелочных титаносиликатов переходного элемента в виде ниобия может положительно сказаться на фотокаталитических свойствах титаносиликата.

Вопросы, связанные с изучением поверхностных, сорбционных и фотокаталитических свойств титаносиликатов со структурой подобной минералу коробицынит-ненадкевичит, будут решаться при выполнении дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lue X., Thomas J. K. Synthesis of microporous titanosilicates ETS-10 and ETS-4 using solid TiO_2 as the source of titanium // *Chemical Communication*, 1996. P. 1435.

2. Kim S. D., Noh S. H., Kim W. J. Alkali effect and kinetic studies on the crystallization of a small pored titanium silicate molecular sieve, ETS-4 using different sources of silica and titanium under stirring // *Microporous and mesoporous materials*, 2003. № 65. P. 165–175.

3. Герасимова Л. Г., Петров В. Б., Бычяня Ю. Г., Охрименко Р. Ф. Изучение взаимодействия сфена с соляной кислотой // *Химическая технология*, 2005. № 9. С. 26.

4. Мельник Н. А., Герасимова Л. Г. Николаев А. И. и др. Солянокислотная технология перовскитового концентрата и ее радиационная оценка // *Экология промышленного производства*, 2015. № 1. С. 54–58.

5. Леков И. В., Чуканов Н. В., Хомяков А. П., Цветаева Р. С., Кучериненко Я. В., Неделько В. В. Коробицынит $Na_{3-x}(Ti, Nb)_2[SL,012](OH,0)_2 \cdot 3-4H_2O$ – новый минерал из Ловозерского массива, Кольский полуостров // *ЗВМО*, 1999. № 3. С. 72–79.

6. ГОСТ 33627–2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. М.: Стандартинформ, 2016.

DOI: 10.17076/tm13_16

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ НИГОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кевлич В. И., Первунина А. В., Мاستрюкова С. Р.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

В настоящее время среди выявленных и изученных месторождений низкоуглеродистых шунгитсодержащих пород Карелии разрабатывается Нигозерское месторождение с запасами $A+B+C_1$ – 17.4 млн куб м [5]. Оно расположено в 2 км к северо-востоку от северной оконечности Кондопожской губы Онежского озера. Породы Нигозерского месторождения в соответствии с классификацией М. М. Филиппова относятся к сапробитумолитовым, органическое (шунгитовое) вещество (ШВ) которых является переотложенным в составе терригенных образований. Породы, слагающие Нигозерское месторождение представлены аргиллитами, алевролитами и песчаниками кондопожской свиты калевийского надгоризонта [2, 6]. Песчаники серой, темно-серой,

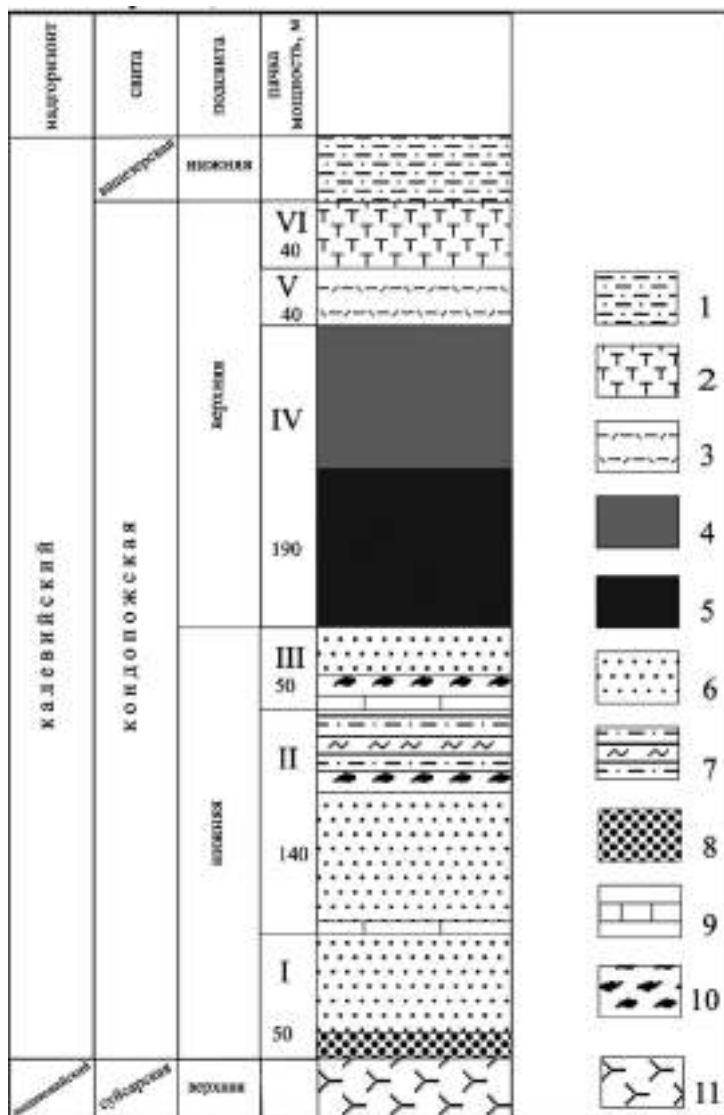
буро-зеленоватой до черной окраски имеют массивную или полосчатую текстуру, присутствует параллельная и реже косая слоистость. Содержание ШВ варьирует от 0.5 до 2.5%, наименьшее содержание ШВ отмечается в песчаниках. В опорном разрезе кондопожской свиты калевийского надгоризонта в ритмично слоистых туфогенных песчаниках В. В. Яковлевой в 1966 году были открыты и впервые детально описаны антраксолитовые стяжения, линзовидные в разрезе и округлые или вытянутые в плане, диаметром 10 см и мощностью не более 5 см. Горизонт туфопесчаников, содержащий антраксолиты, установлен также в керне разведочных скважин и вскрыт в ходе освоения в северно-западной части Нигозерского месторождения. Мощность горизонта около 20 м (рис. 1).

Минералого-аналитические исследования исходных образцов туфопесчаников и полученных концентратов антраксолита осуществлялись в ЦКП КарНЦ РАН с применением оптического микроскопа, лазерного сканирующего микроскопа VK 9700–10K Generatin (увеличение от 3000

и до 180000 раз) и электронного микроскопа VEGA II LSH (Teskan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford Instruments). Технологические эксперименты проведены на лабораторном оборудовании Отдела минерального сырья ИГ КарНЦ РАН.

Рис. 1. Литостратиграфическая колонка образований кондопожской свиты [1]

1 – песчаники и алевролиты; 2 – витрокластические туфы; 3 – сланцы и алевролиты с вулканокластическим материалом; 4 – сланцы и алевролиты; 5 – шунгитосодержащие тонкослоистые сланцы и алевролиты; 6 – туфогенные алевролиты; 7 – грубое переслаивание алевролитов и аргиллитов; 8 – конгломераты; 9 – линзы и прослои карбонатных пород; 10 – горизонты, обогащенные антраксолитовыми стяжениями; 11 – основные и ультраосновные лавы



До недавнего времени основным направлением использования пород Нигозерского месторождения было получение шунгизита – пористого заполнителя для легкого бетона. В связи с ухудшением качества пород (отработаны верхние продуктивные горизонты, а нижние изменены тектоническими деформациями и процессами окисления), а также возросшими требованиями к качеству строительных материалов спрос на сырье существенно снизился, вследствие этого производство шунгизита остановилось. В настоящее время месторождение обрабатывается для получения щебня, как

строительного камня и плиток отдельностей из алевролитов для мощения полов, облицовки внешних фасадов зданий, внутренней отделки интерьеров и др.

Ранее нами рассматривалась возможность извлечения антраксолита из горизонтов туфопесчаников Нигозерского месторождения [4]. Результаты лабораторных испытаний по обогащению показали весьма низкое извлечение антраксолита. Туфопесчаники имеют глобулярно-зернистое строение с редкой вкрапленностью антраксолита. Основная форма нахождения ШВ – пленки на поверхности минералов,

редкие обособления ШВ в межзерновом пространстве и включения в тонкозернистых минеральных агрегатах. Антракосолит присутствует в виде отдельных стяжений и тонких прожилков. Размер зерен антракосолита – 0.2–0.1 мм и менее. Слои мощностью от 1 см до 20 см встречаются по всей продуктивной толще. Обломочный материал представлен преимущественно породами основного состава. Окатанность зерен – средняя, встречаются угловатые обломки. Главными породообразующими минералами являются хлорит (36–65%), плагиоклаз-альбит (10–20%), кварц (1–3%) и карбонаты (до 3%), содержание ШВ достигает 5%. К акцессорным минералам относятся пирит, эпидот, амфибол, гранат, биотит, сфалерит, мусковит, пирротин, антракосолит, апатит, титанит, рутил. Структура пород – бластосаммитовая. Текстура – массивная, полосчатая, отмечается параллельная горизонтальная, реже косая слоистость (рис. 2). Содержание основных петрогенных оксидов в песчаниках варьирует (мас.%): SiO_2 – от 48.7% до 52.9%; Al_2O_3 – от 13.8 до 16.3%; Fe_2O_3 от 14.7 до 17.8%.

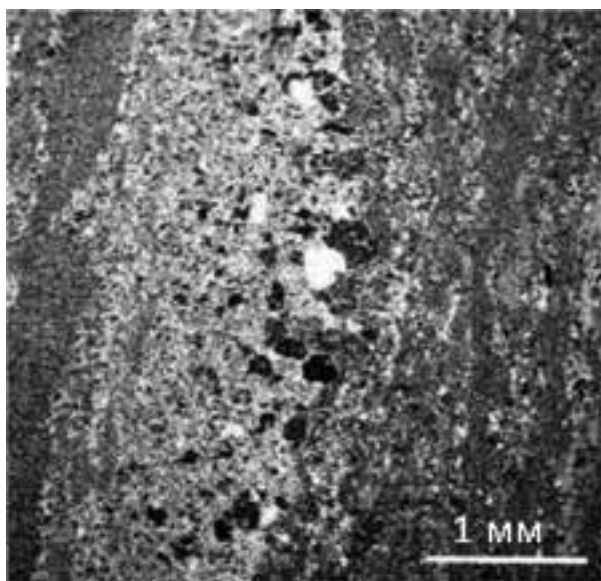


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение туфопесчаника Нигозерского месторождения

В измельченном материале образцов туфопесчаников антракосолит присутствует в виде угловатых, сферических, изометричных форм и обломков. Песчаники не являются типичными коллекторами углеводородов (УВ), антракосолиты в них – продукты локальных высачиваний УВ в прибрежные пески [4]. Генезис антракосолитов Нигозерского месторождения рассматри-

вается как результат высачивания УВ из ловушек сформированных в породах заонежской, суйсарской, петрозаводской свит, и последующего отложения в бассейне калевийского времени осадконакопления [8].

Антракосолит – метаморфизованный природный битум с содержанием С – 96–99%, Н – до 1.5%, а также N, S, O. Нерастворим в хлороформе. По степени преобразования выделены низшие, средние и высшие антракосолиты [7]. Вследствие вариаций содержания углерода и непостоянства молекулярной структуры антракосолиты отнесены к классу минералоидов [9]. Отличительной особенностью высшего антракосолита является то, что при нагревании вещество не плавится и не дает жидких продуктов разложения, а выход бензольного кокса – выше 90%. Плотность 1.8–2.0 г/см³, твердость 3.5–4.5, природный диамагнетик, электропроводен. Встречается в виде жильных включений и гнезд, с кварцем и кальцитом; сорбированная вода удаляется лишь при температуре 150–200 °С.

В ритмичнослоистых туфопесчаниках Нигозерского месторождения антракосолит представлен тонкими линзообразными выделениями, а на плоскостях напластований – стяжениями разного размера остроугольной, округлой формы, а также слоистыми, пленочными и натечными разновидностями. Размеры выделений варьируют от 1.2×1.5 см до 8.5×16 см. (рис. 3, 4). Антракосолит разделен на полигональные участки трещинами синерезиса. Следует отметить, что на поверхности обособлений антракосолита отсутствуют пылеватые и тонкодисперсные частицы. Поверхность имеет металлический блеск и раковистый излом. Визуально похож на антрацит. По данным минералогического анализа минеральный состав заполняющий пространство трещин представлен ШВ, кварцем, полевым шпатом, малахитом, пиритом, кальцитом, гидроокислами железа. Размер зерен от 60 мкм и меньше. В краевой части антракосолитовых стяжений, на границе с туфопесчаниками, отмечается тонкая оторочка, состоящая из минералов, заполняющих трещины синерезиса внутри самого стяжения. На поверхности трещин встречаются примазки, налеты, гидроокисные бурые пленки, округлые, тонкозернистые зеленовато-голубые и белые скопления малахита, карбоната и др., а также отмечены следы схлопывания воздушных пузырьков.

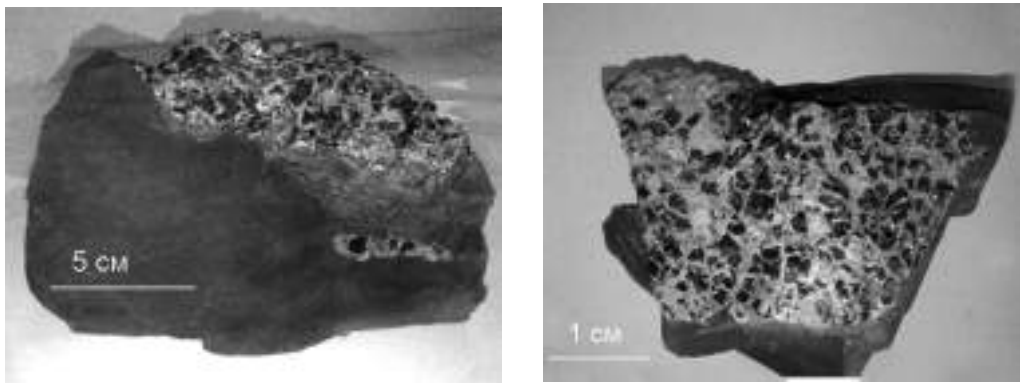


Рис. 3. Антракосолитовые стяжения

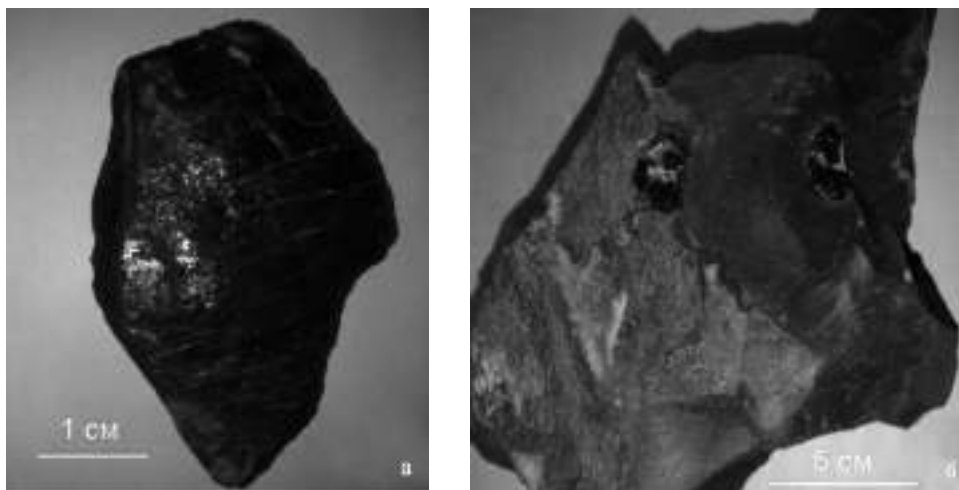


Рис. 4. Пленочная (а) и гнездовая (б) формы антракосолитовых выделений

Из вскрытого на Нигозерском месторождении горизонта туфпесчаников, обогащенного антракосолитовыми стяжениями была отобрана минералого-технологическая проба. Испытания по обогащению предусматривали рудоподготовительный этап, который включал операции выбора крупности дробления, определения фракционного состава измельченного материала пробы и степени раскрытия ценных и породообразующих минералов [3]. Дробление осуществлялось до крупности 5 мм. Характеристика классов крупности приведена на рисунке 5.

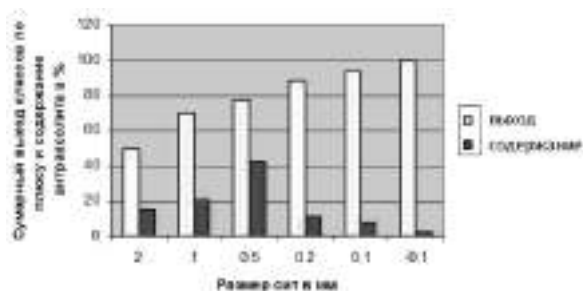


Рис. 5. Характеристика крупности измельчения и содержания антракосолита в классах, %

Анализ раскрытия и возможности извлечения антракосолита проводился на материале различной крупности $-5+2$ мм; $-2+1$ мм; и $-1+0.5$ мм; $-0.5+0.2$ мм; $-0.2+0.1$ мм; 0.1 мм. Исследование включало комплекс обогащительных и специальных минералогических методов [4], в том числе оптическую микроскопию, что позволило выявить степень раскрытия ШВ, учитывая морфологию антракосолита, а также прогнозировать потери ценного компонента. В крупности $-5+2$ мм среди агрегатов отмечается появление свободных зерен антракосолита (рис. 5), содержание которых возрастает и в классе -0.5 мм достигает максимума, а затем в мелких классах существенно убывает. Выбор методов в схеме сепарации антракосолита осуществлялся в соответствии с основными физико-химическими параметрами.

На месторождениях Карелии и других регионов мира отмечается свойственная антракосолитам вариативность состава в зависимости от генезиса [3]. Так, на месторождении Шуньга визуально выделяемые разновидности

антраксолитов (матовые, полублестящие и блестящие) имеют различное содержание углерода: 89.9%, 92.1%, 93.7–96.9%, соответственно. В качестве микропримесей присутствуют V, Ni, Mo, As, Fe, F, а также Cd, Cr, Co, Mn, Zn, U. Для основных свойств, обеспечивающих извлечение антраксолита, характерны низкая плотность, сравнительно высокая электропроводность, флотационная активность и индифферентность практически ко всем растворителям. Наибольшая контрастность линейки свойств антраксолита и минеральных агрегатов (ШВ+кварц+полевоый шпат, хлорит и др.) относится к плотности и электропроводности. В связи с этим в основу технологической схемы для испытаний по обогащению выбран гравитационный метод. Схема разделения

проб представлена на рисунке 6. Измельченный материал до –5 мм поступает на первичное обогащение в тяжелых жидкостях. В легкую фракцию выделяется концентрат антраксолита. Контрольная перемешка тяжелой фракции состоящей из агрегатов (ШВ+кварц+хлорит+карбонаты+полевоый шпат и др) и антраксолита с примазками, микровключениями присыпками в тяжелой жидкости с увеличением плотности и обработкой полученного легкого продукта ультразвуком для обновления поверхности с удалением отсадки класса 0.1 мм, позволяют в легкой фракции получить антраксолит и повысить извлечение и соответственно содержание антраксолита в концентрате. Тяжелая фракция представляет собой промпродукт контрольной перемешки.



Рис. 6. Схема выделения антраксолита из горизонта туфопесчаников Нигозерского месторождения, содержащего антраксолитовые стяжения

В тяжелой фракции первичного обогащения микроанализом выявлено присутствие сростков антраксолита, вследствие чего потребовалось доизмельчение тяжелой фракции до – 1 мм, обработка ультразвуком с отсадкой и вывод класса 0.1 мм, что позволило осушес-

твить раскрытие сростков. Обработка измельченного материала ультразвуком с отсадкой класса 0.1 мм и последующее разделение в тяжелой жидкости обеспечивает получение концентрата с извлечением 50–60%, содержанием 97–98% антраксолита.

Таким образом, минералого-технологические исследования туфопесчаников из горизонта, обогащенного антраксолиновыми стяжениями вскрытого при разработке Нигозерского месторождения позволило определить размеры, осуществить выбор крупности дробления, измельчения проб, содержание в классах и раскрытие антраксолита, и в итоге разработать схему выделения антраксолита. Изучение на макро- и микроуровнях позволило выявить технологические особенности антраксолита, определить морфологию стяжений, границы и размеры микровключений. В результате испытаний показана возможность сепарации проб туфопесчаников с антраксолитом традиционными методами.

По итогам проведенных исследований дана рекомендация осуществлять при вскрыше и отработке нижележащих горизонтов на шунгизитовый гравий, щебень и плитки-отдельности

отбор с привлечением радиометрических радиорезонансных и гамма-методов как коллекционных образцов с антраксолитом, так и на стадии добычи получения товарной руды для обогащения на антраксолит из горной массы. Вместе с тем, антраксолиты выдержанные по составу, свойствам, содержанию углерода, примесям и молекулярной структуре могут рассматриваться в качестве исходного сырья для получения новых конструкционных материалов, в технологиях создания нанокластеров углерода, специальных покрытий, медицинских препаратов, графенов и фуллеренов. Изложенный в работе подход способствует повышению комплексности освоения месторождения.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклинория / Редакторы Филиппов М. М., Мележик В. А. Петрозаводск: «Скандинавия», 2006. 80 с.

2. Жамойда А. И. Общая стратиграфическая шкала, принятая в СССР – России. Ее значение, назначение и совершенствование. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2013. 24 с.

3. Кевлич В. И., Филиппов М. М., Медведев П. В. Особенности рудоподготовки подготовки битумолитовых пород месторождения Загогино // Минералогия, петрология и минерагения докембрийских комплексов Карелии: Материалы юбилейной сессии, посвященной 45-летию Института геологии Карельского НЦ РАН и 35-летию Карельского отделения РМО. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007 г. С. 32–35.

4. Кевлич В. И., Филиппов М. М. Антраксолиты Карелии – перспективы вовлечения в промышленную

переработку // Материалы Российского совещания с международным участием «Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании». Москва, 15–16 мая 2018 г. М.: ВИМС, 2018, 234 с.

5. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Книга 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск: Карелия, 2006. 356 с.

6. Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка, Россия, Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2002. 13 с.

7. Успенский В. А., Радченко О. А., Глебовская А. И. Основы генетической классификации битумов. Л.: Недра, 1964. 266 с.

8. Филиппов М. М. Антраксолиты. СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2013. 296 с.

9. Юшкин Н. П. Глобулярная надмолекулярная структура шунгита: данные растровой туннельной микроскопии // ДАН, 1994. Т. 337. № 6. С. 469.

ХРОНИКА

14-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ (ICAM 2019)

Торжественная церемония открытия 14th ICAM-2019 состоялась 23 сентября 2019 г. под звуки исполненного государственного гимна России в центре высоких технологий Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Его участниками стали ученые и специалисты в области прикладной минералогии из 18 стран мира.

Организаторы конгресса: Минобрнауки РФ, правительство Белгородской области, БГТУ им. В. Г. Шухова, РАН, РААСН, ИМА, РМО, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. Генеральный партнер – горно-металлургический холдинг «Металлоинвест».

Конгресс ICAM впервые проходил на территории Российской Федерации. Его главная тема – «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня». Эстафета была принята из Бари (Италия), при этом, надо отметить, место проведения этого конгресса предложено

комиссией по технологической минералогии РМО в знак успешной работы X семинара по технологической минералогии на белгородской земле в 2014 году.

Международный конгресс по прикладной минералогии выступает площадкой для обмена опытом специалистов горно-металлургических предприятий, научных организаций, инженеринговых компаний, студентов и преподавателей вузов из разных стран мира. Он проводится с целью определения вектора приоритетных научных направлений, укрепления престижа науки, создания новых профессиональных контактов.

С приветственным словом к участникам мероприятия обратился ректор университета С. Н. Глаголев. От имени руководства региона всех присутствующих приветствовала заместитель губернатора Белгородской области О. А. Павлова.



Церемония открытия конгресса ICAM 2019



Участники конгресса И. Н. Бурцев (слева) и академик РАН А. М. Асхабов (справа), ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Участники конгресса обсуждали вопросы в рамках пленарных заседаний и работы научных секций:

1. Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья;

2. Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых;

3. Строительные материалы;

4. Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло;

5. Окружающая среда и энергетические ресурсы;

6. Аналитические методы, приборы и автоматизация;



На Лебединском ГОКе. Справа Maarten Broekmans, председатель ICAM (Норвегия) и В. В. Щипцов, председатель российской комиссии по технологической минералогии РМО (Россия)



Выставка на конгрессе, справа чл.-корр. РАН В. В. Масленников, Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

7. Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия;

8. Культурное наследие, артефакты и их сохранность.

Весомый вклад в развитие научной дискуссии внесли иностранные гости. На заседании Совета ICAM обсуждены итоги совместной работы и планы на ближайшее будущее. Фернандо Роча (Португалия) рассказал об условиях проведения и этапах подготовки 15-го Международного конгресса по прикладной минералогии, который состоится в Айверо (Португалия) в 2021 году. На этом же заседании определена площадка для проведения конгресса в 2023 году – 16-й Международный форум по прикладной минералогии пройдет в Китае.



Доклад В. В. Щипцова во время работы Workshop



Представление следующего конгресса – Авейро (Португалия)

Финальный день конгресса по прикладной минералогии начался с проведения Workshop «Прикладная минералогия при изучении промышленных полезных ископаемых (опыт Комиссии российского минералогического общества по технологической минералогии)». Владимир Щипцов – председатель Комиссии по технологической минералогии РМО, заведующий отделом минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН представил развернутый доклад на русском и английском языках об истории технологической минералогии. Докладчик обратил внимание слушателей на предпосылки и причины развития данного научного направления, выделил основные этапы его формирования, рассказал о главных принципах и тенденциях развития технологической минералогии на сегодняшний день.

Отдельное внимание участников семинара было привлечено к результатам научных иссле-

дований и проектов по поиску и изучению полезных ископаемых, реализованных в данной сфере.

В завершение организаторы и гости мероприятия подвели итоги пяти дней работы конгресса. Иностранцы и отечественные ученые выразили благодарность руководству и сотрудникам опорного Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова за высокий уровень подготовки и проведения мероприятия, за интересные экскурсии по Лебединскому ГОКу, в музее им. И. М. Губкина и музее-заповеднике «Прохоровское поле».

Участники конгресса подчеркнули особую необходимость развития международных отношений в сфере прикладной минералогии, выразили надежду на скорейшую реализацию поставленных целей.

ПОТЕРИ НАУКИ

ПАМЯТИ ТАЛИИ ЗИНУРОВНЫ ЛЫГИНОЙ



09.10.1952–27.08.2019

27 августа 2019 г. ушла из жизни Талия Зинуровна Лыгина, заместитель директора по науке ФГУП «ЦНИИГеолнеруд», доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры технологии неорганических веществ и материалов, заслуженный деятель науки

Республики Татарстан, лауреат Государственной премии Республики Татарстан, заслуженный химик Республики Татарстан. У выпускницы химического факультета Казанского государственного университета всего одна запись в трудовой книжке – Институт геологии нерудных полезных ископаемых (ВНИИГеолнеруд, ныне ЦНИИГеолнеруд). С 1994 г. Т. З. Лыгина являлась руководителем аккредитованного Аналитико-технологического сертификационного испытательного центра (АТСИЦ) ФГУП «ЦНИИГеолнеруд». В 2011 г. по ее инициативе была создана Система добровольной сертификации состава и свойств промышленного минерального сырья «Промсырье» и получен сертификат о ее регистрации в едином реестре систем добровольной сертификации.

Талия Зинуровна была признанным высокоэрудированным ученым-минералогом, отлично понимала современные запросы отраслевого рынка. Ее научная деятельность известна широкому кругу специалистов по выступлениям на многочисленных конференциях, симпозиумах, семинарах различного ранга. Она является автором около 250 научных публикаций, в число которых входит 5 коллективных монографий, а также патенты на изобретение.

Т. З. Лыгина являлась членом бюро Комиссии по технологической минералогии РМО, принимала активное участие в мероприятиях комиссии. Вспоминается проведение 4-го Российского семинара по технологической минералогии на борту теплохода «Борис

Полевой» по маршруту Казань – Нижний Новгород – Чебоксары – Казань. Во время проведения данного мероприятия, главным организатором которого была Т. З. Лыгина, мы ощутили в полной мере переданное нам тепло, уважение и заботу о каждом участнике. Еще один незабываемый пример, когда в Петрозаводске в рамках культурной программы на 6-м семинаре был организован хор Комиссии по технологической минералогии под управлением Т. З. Лыгиной. Такой яркой и неожиданной была всегда наша Талия.

В научных исследованиях Т. З. Лыгиной решались вопросы, связанные с изучением минерально-сырьевой базы неметаллических полезных ископаемых, их эффективного использования, мониторингом геологической среды, разработкой и внедрением в практику лабораторных работ отрасли высокочувствительных и производительных методов и методик. Она участвовала в подготовке профессиональных кадров, осуществляла руководство дипломниками и аспирантами. К студентам у нее было особое отношение и опека выпускников до выхода в научный свет.

За успешную научно-производственную деятельность Т. З. Лыгина награждена медалью «За заслуги перед Отечеством» II степени. Она неоднократно поощрялась ведомственными наградами, удостоена званий «Заслуженный деятель науки Республики Татарстан» и «Заслуженный химик Республики Татарстан», Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники и отмечена знаком «Лучший ученый 2011 года».

Ее жизнь прошла в широком многогранном и увлекательном диапазоне талантливого человека. В одном из интервью она сказала: «Я никогда не жду понедельника или вдохновения, чтобы начать новое дело. Если ты можешь сделать что-то сегодня – сделай это сегодня. Завтра это никому не будет нужно, может быть, даже и тебе самому». Трудно и тяжело осознавать тяжелую потерю дорогого человека.

*Комиссия
по технологической минералогии РМО*

ПАМЯТИ ДРУГА

ЮСУПОВ ТАЛГАТ СУНГАТУЛЛОВИЧ



11.10.1935–16.04.2019

Юсупов Талгат Сунгатуллович родился 11 октября 1935 г. в Казани, доктор технических наук, профессор. В 1958 году окончил Томский политехнический институт, став дипломированным горным инженером-технологом по специальности «Обогащение полезных ископаемых». В последние годы работал в Институте геологии и минералогии им. Соболева СО РАН на должности ведущего научного сотрудника в лаборатории изотопно-аналитических методов. Основными научными направлениями стали технологическая минералогия, обогащение полезных ископаемых, сепарация минералов. Он внес большой научный вклад в развитие этих направлений исследований, в формирование научной школы механоактивации, механохимии. Его исследования процессов измельчения, механизмов механоактивации различных материалов привели к открытию новых возможностей центробежных мельниц при тонком измельчении руд. Изучено влияние механохимической активации на горение углей в факеле. Под его руководством разработан способ получения фосфорных удобрений с высоким содержанием усвояемого растениями P_2O_5 из необогащенного фосфатного сырья (апатита, фосфорита) и предложена новая концепция производства алюминия и его соединений из нетрадиционного алюмосиликатного сырья.

Нас соединяли долгие годы знакомства. В 2001 году специально для Т. С. Юсупова мною была организована поездка в Финляндию с целью ознакомления с крупными горно-обогатительными комплексами северной страны, а также направлениями исследований промышленных минералов, проводимых Геологической службой Финляндии.

Талгат Сунгатуллович участвовал в работе комиссии по технологической минералогии РМО. Остаются в памяти его выступления на семинарах по технологической минералогии и статьи в научных изданиях комиссии. Как член бюро комиссии по технологической минерало-

гии РМО он проявлял активность, его советы и рекомендации всегда были конструктивными.

Награжден медалями «За трудовое отличие» и «За трудовую доблесть в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», медалью им. Рериха «За заслуги в области экологии», орденами «Заслуженный эколог» и «Созидатель планеты», почетным знаком «Горняцкая слава» III степени, Почетной грамотой Президиума СО РАН «За личный вклад в развитие отечественной науки». Приятным событием стало вручение ему Почетной грамоты Президиума СО РАН «За большие достижения в области технологической минералогии и комплексной переработки минерального сырья, плодотворную научную, педагогическую деятельность и в связи с 75-летием со дня рождения». Его заслуги отмечены Государственной научной стипендией для ученых (1998) и стипендией итальянского инженерного общества (2000). Компанией Air Products USA был выдан сертификат *Certificate of Appreciation for the Research Program entitled: CO₂ Gas Adsorption in Chabazites (1995–1997)*. О Т. С. Юсупове, видном российском ученом, можно прочитать в ряде библиографических изданий: «Геологи и горные инженеры России». Энциклопедия. Москва – Санкт-Петербург, 2009 г.; Академия горных наук. Энциклопедия, 2008 г.; Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы. Энциклопедия. Санкт-Петербург, 2000 г.; Татарский энциклопедический словарь. Казань, 1999 г.; газета СО РАН «Наука в Сибири», 2005 г., октябрь и других источниках.

Талгат Сунгатуллович не смог уже принять участие в 14-м Международном конгрессе по прикладной минералогии, который проходил в Белгороде во второй половине сентября 2019 года, но в труды конгресса включена его последняя статья (Т. Yusupov, A. Travin, S. Novikova, D. Yudina. **Mineral preparation in geological research // ICAM 2019, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 172–175).**

В середине апреля 2019 года его земной путь завершился, остается память и научное наследие в опубликованных трудах.

*Председатель Комиссии
по технологической минералогии РМО
В. В. Щипцов*

АННОТАЦИИ

УДК 553.6

Щипцов В. В. Промышленные минералы Фенноскандинавского щита и их роль в развитии минерально-сырьевой базы мировой экономики

// Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 7–30: рис. 20, табл. 7. Библ. назв. 58.

Фенноскандинавский щит – это мегаструктура с длительным активным периодом становления от ранних этапов формирования земной коры (> 3.5 млрд лет) со сменой геологических режимов во всей последующей истории геологического развития и сопутствующим формированием разнотипных месторождений промышленных минералов. В статье показана важная роль промышленных минералов щита, которую они играли на протяжении многих десятилетий в освоении месторождений полезных ископаемых мирового уровня. Раскрыт потенциал промышленных минералов Фенноскандинавского щита и зависимость от социально-экономических условий, экологических требований и потребностей рынка.

The Fennoscandian Shield is a megastructure, which has actively evolved since the early stages of earth crust formation (> 3.5 Ga) and a sequence of geological regimes during subsequent geological evolution paralleled by the formation of various types of industrial mineral deposits. The paper shows the important role of the shield's industrial minerals in the exploitation of global useful mineral deposits played for decades. The industrial mineral potential and its dependence on socio-economic conditions, environmental requirements and market demand are described.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, минерально-сырьевая база, минералогия, месторождения, промышленные минералы.

Keywords: Fennoscandian Shield, mineral resources base, mineralogy, deposits, industrial minerals.

УДК 669.2

Туресебеков А. Х., Шукуров Н. Э., Шарипов Х. Т., Алаберганов Р. Д., Зунунов А. Ч., Шукуров Ш. Р. Техногенные отходы – новый источник сырья цветных, благородных, редких и токсичных металлов Алмалыкского горно-металлургического комбината

// Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 31–35: табл. 4. Библ. назв. 5.

В работе представлены результаты комплексного исследования техногенных отходов Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК). Произведен подсчет запасов цветных, благородных и редких металлов в отходах обогащения и металлургического передела медно-молибденовых и свинцово-цинковых месторождений. Анализ химического

состава, распределения цветных, благородных, редких, токсичных металлов и формы их нахождения в техногенных отходах АГМК показал, что они являются высококомплексными рудами, пригодными для получения дополнительного количества металлов на АГМК.

The results of the integrated study of metal waste from Almalyk Mining-Metallurgical Plant (AMMP) are reported. Non-ferrous, noble and rare-metal reserves in waste from the dressing and metallurgical conversion of copper-molybdenum and lead-zinc deposits were evaluated. Analysis of the chemical composition and distribution of non-ferrous, noble, rare and toxic metals and their mode of occurrence in artificial waste from AMMP has shown that they are highly complex ores which could be used to increase metal production at AMMP.

Ключевые слова: техногенные отходы, обогащение, цветные металлы, благородные металлы, токсичные металлы, комплексные руды.

Keywords: metal waste, processing, non-ferrous metals, noble metals, toxic metals, highly complex ores.

УДК 622.7:669.2

Мелентьев Г. Б. Получение конечных редкометалльных продуктов из природного минерального сырья и техногенных образований с применением инновационных пирохимических методов в качестве альтернативы традиционному // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 35–49: рис. 2, табл. 3. Библ. назв. 23.

Изложена авторская концепция необходимости получения из различных видов российского редкометалльно специализированного сырья конечной химической и металлургической продукции с применением прямых физико-химических методов вместо получения минеральных концентратов традиционными методами обогащения. Обоснованы преимущества термо- и пирохимических способов глубокой переработки различного природного минерального сырья и техногенных образований с применением ликвационной плавки, плазмохимии и пиролиза. Приводятся конкретные примеры использования и эффективности этих методов применительно к переработке редкометалльных ресурсов, включая рекомендации для объектов планируемого промышленного освоения и отходов действующих горно-промышленных предприятий. Рекомендуется системная организация возрождения и развития редкометалльных производств и импортозамещения в нашей стране в условиях активизации роли государства и прикладной науки.

The author's concept, showing the need to manufacture finished chemical and metal-ore products from the various types of Russia's specialized rare-metal raw materials using direct physico-chemical dressing methods instead of producing mineral concentrates by conventional dressing

methods, is presented. Arguments in favour of thermo- and pyrochemical methods for the deep processing of various natural and artificial raw materials using liquation melting, plasma chemistry and pyrolysis, are put forward. Examples, showing the use and efficiency of these methods for processing rare-metal resources, including recommendations for industrial mineral deposits to be exploited and waste from active mining companies, are supplied. The author recommends to revive and develop rare-metal production and to replace foreign products by Russian ones with regard for the increasing role of the state and applied science.

Ключевые слова: редкие металлы, техногенные отходы, обогащение, ликвационная плавка, плазмохимия, пиролиз.

Keywords: rare metals, metal waste, processing, liquation melting, plasma chemistry, pyrolysis.

УДК 553.673+691.273 (470.22)

Фролов П. В., Ильина В. П., Завёрткин А. С., Климовская Е. Е., Савицкий А. И. Тальковое сырьё Карелии, направления практического применения, потенциальная позиция в минерально-сырьевой базе России // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 50–60: рис. 4, табл. 5. Библ. назв. 13.

Talc – уникальный природный материал. Его получают из высокомагнезиальных горных пород: талькита или после флотационного обогащения талькмагнезитовой, стеатитовой, тальккарбонатной руды. К тальксодержащим породам, нашедшим применение, относится тальковый «горшечный» камень. На Фенноскандинавском щите сформированы собственные месторождения талькового сырья. Основные потенциальные ресурсы и запасы этого вида сырья находятся в пределах Карельского кратона, являющегося составной частью щита. На финской территории кратона эксплуатируются месторождения талька в пределах сланцевого пояса Кайнуу и талькового камня зеленокаменного пояса Суомуссалми-Кухмо. Более перспективной на тальксодержащие образования представляется Карельская часть кратона, – здесь шире развиты благоприятные породные комплексы зеленокаменных поясов. Воссоздавая в Карелии экономическую, научную, производственно-техническую базу для изучения, поисков, разведки, оценки и эксплуатации объектов талькового сырья, можно поднять целый пласт российской индустрии и вывести экономику Карелии и России на совершенно новый, более высокий уровень.

Talc is a unique natural material. Some talc-bearing rocks, e. g. soapstone, are also useful minerals. There are talc deposits on the Fennoscandian Shield. The main potential talc resources and reserves are in the Karelian Craton, which is part of the shield. Talc deposits in the Finnish extension of the craton are being mined in the Kainuu Schist Belt and soapstone deposits in the

Suomussalmi-Kuhmo Greenstone Belt. The Karelian portion of the craton seems to be more promising for talc-bearing deposits, because favourable rock complexes of greenstone belts are more common there. The revival of Karelia's economic, scientific and industrial potential for the prospecting, exploration, study, appraisal and exploitation of the talc deposits could provide an impetus to Russia's and Karelia's industrial development on a new higher level.

Ключевые слова: тальксодержащие образования, Карельский кратон, минерально-сырьевая база, тальковые руды, тальковый камень, месторождения и проявления.

Keywords: talc-bearing deposits, Karelian Craton, mineral resources base, talc ore, soapstone, deposits and occurrences.

УДК 549.08:620.22

Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Бондарчук И. Б., Сычева Н. А., Шувалова Ю. Н., Якушина О. А. Минералогическое материаловедение (производство керамических изделий) // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 60–63: рис. 2. Библ. назв. 3.

В статье рассматриваются основы минералогического материаловедения как раздела науки, посвященного изучению принципов выбора и создания материалов из минерального сырья. Описываются результаты изучения керамического кирпича с целью прогнозирования состава шихты и режимов обжига для получения различных эксплуатационных свойств конечного продукта.

Basic mineralogical materials study as a science concerned with the study of the principles of selecting and manufacturing of materials from raw minerals are discussed. The results of the study of ceramic bricks, conducted to forecast blend composition and roasting regime for obtaining the various exploitation properties of the finished product are reported.

Ключевые слова: минералогическое материаловедение, минеральное сырьё, керамические материалы.

Keywords: mineralogical material science, mineral raw materials, ceramics.

УДК 550.8.05+ 553.04+621.31

Потокин А. С., Степенщиков Д. Г., Войтеховский Ю. Л. Применение электроимпульсного метода дезинтеграции для получения чистого гранатового концентрата из мусковит-гранатовых сланцев Западных Кейв // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 63–67: рис. 2, табл. 1. Библ. назв. 8.

Впервые была оценена возможность получения чистого гранатового концентрата из гранато-сланцевого сланца Западных Кейв методом электроимпуль-

снот дезинтеграции материалов. После применения метода электроимпульсной дезинтеграции и последующей отмывки полученного гранатового продукта от слюдяных включений удалось получить 94% чистого гранатового продукта фракции $-0,5+0,25$. Имеются хорошие перспективы технической реализации предлагаемой технологии. У КНЦ РАН достаточно богатый практический опыт создания демонстрационных (опытно-промышленных) установок как для вскрытия и выделения крупнокристаллических минералов, так и измельчения.

The first to evaluate the possibility of obtaining clean garnet concentrate from the garnet-mica schist of West Keyvy using electric pulse disintegration materials method was shown. After electric pulse disintegration of garnet crystals and washing the garnet product from mica inclusions has managed to get 94% clean garnet fraction $-0.5+0.25$. There are good prospects for the technical implementation of the proposed technology. The KSC RAS has a rich practical experience in creating demonstration (pilot-industrial) facilities for both opening and extraction of coarse-grained minerals and grinding.

Ключевые слова: Западные Кейвы, гранатовая руда, гранатовый концентрат, обогащение, электроимпульсная дезинтеграция.

Keywords: West Keyvy, garnet concentrate, garnet ore, processing, electric pulse disintegration.

УДК 622.1.454 (631.427.22)+579.64-606

Щербакова Н. Н., Хапцев З. Ю., Захаревич А. М., Вениг С. Б., Сержантов В. Г. *Биотехнологические основы использования природного минерала глауконита в почвообразовательных процессах при освоении техногенных массивов и ликвидации предприятий по добыче полезных ископаемых* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 68–73: рис. 4, табл. 2. Библ. назв. 10.

Для инициации процесса почвообразования необходимо внести культуру микроорганизмов, способных улучшать минеральное питание, рост и устойчивость растений к неблагоприятным факторам, независимо от минералогического состава поверхности. Преимуществом разработанных способов является многофункциональность сорбента, являющегося абиотическим катализатором: опасный агент связывается физически за счет сформированной тонкопористой структуры, и химически за счет процессов ионообмена, происходящих благодаря природе слоистого силиката глауконита. Жизнеспособность иммобилизованных на глауконите бактериальных клеток *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* биовар *trifolii*, *Flaviobacterium fulvum* L 30, *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, составила не менее 4 мес., в то время как исходные биопрепараты хранятся не более 1 мес.

To initiate the process of soil formation, it is necessary to introduce a culture of microorganisms capable of improving mineral nutrition, plant growth and resistance to adverse factors, regardless of the mineralogical composition of the surface. The advantage of the developed methods is the multifunctionality of the sorbent, which is an abiotic catalyst: the dangerous agent binds physically due to the formed fine-porous structure, and chemically due to the ion exchange processes occurring due to the nature of the layered glauconite silicate. The viability of immobilized glauconite bacterial cells of *Agrobacterium radiobacter* 204, *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*, *Flaviobacterium* L 30 *fulvum*, *Pseudomonas aureofaciens* 1393 BS, amounted to no less than 4 months., while the original biological products are stored no more than 1 month. *Key words:* glauconite, sorbent, sorption capacity, heavy metals, microorganisms, immobilization on inorganic carriers.

Ключевые слова: глауконит, сорбент, сорбционная емкость, тяжелые металлы, микроорганизмы, иммобилизация на неорганических носителях.

Keywords: glauconite, sorbent, sorption ability, high-density metals, microorganisms, immobilized on inorganic carriers.

УДК 553.2

Шмакова А. М. *Характеристика медно-никелевой минерализации метагабброидов (Северный Тиман)* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 73–78: рис. 2, табл. 1. Библ. назв. 3.

В статье рассматриваются в сравнении минералого-технологические свойства минералов и в целом медно-никелевых руд проявлений «Ближнее» и «Дальнее» Бугровской площади. По результатам исследования установлены порообразующие и вторичные минералы рудовмещающих пород. Охарактеризованы сульфидные минералы и их ассоциации. В целом отмечена комплексность руд, в том числе благороднометалльной минерализации. По полученным минералогическим данным спрогнозированы возможные методы обогащения руд.

The article discusses the comparison of the mineralogical and technological properties of minerals and the whole copper-nickel ore manifestations of the «Blizhneye» and «Dal'neye» Bugrovskaya area. According to the results of the study, rock-forming and secondary minerals of ore-bearing rocks were established. Characterized sulfide minerals and their associations. In general, the complexity of ores, including precious metal mineralization, was noted. According to the obtained mineralogical data, possible methods of ore enrichment are predicted.

Ключевые слова: Северный Тиман, медно-никелевые руды, благородная минерализация, комплексные руды.

Keywords: North Timan, copper-nickel ores, precious metal mineralization, complex ores.

УДК 553.67.666.762.34 (470.22)

Ильина В. П., Фролов П. В. *Ультраосновные породы Аганозерского месторождения хромовых руд (Южная Карелия) как нетрадиционное магнийсиликатное сырье для производства новых керамических материалов* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 78–84: рис. 3, табл. 4. Библ. назв. 11.

Ультрамафиты Аганозерского месторождения хромовых руд (южная Карелия) представляют практический интерес как высокомагнезиальное сырье для использования в промышленности. Представлены первые результаты исследований высокомагнезиальных пород и минералов Аганозерского объекта для создания новых материалов. Технологичность и экономическая эффективность разработанных керамических материалов на основе высокомагнезиальных пород и промышленных минералов Карелии обусловлены снижением энергозатрат и упрощением технологического процесса. Практическое использование местных видов минерального сырья позволит расширить сырьевую базу для получения различных видов огнеупоров и технической керамики.

Ultramafic rocks of the Aganozero chromium ore deposit located in South Karelia are of practical interest as a high-Mg raw material for industrial application. The preliminary results of the study of high-Mg rocks and minerals from the Aganozero deposit for the production of new materials are reported. The high technological level and economic efficiency of the ceramic materials produced, based on Karelia's high-Mg rocks and industrial minerals, were achieved by reducing energy consumption and simplifying the technological process. The practical application of local types of mineral products will increase the raw materials potential for the production of various types of refractories and industrial ceramics.

Ключевые слова: ультраосновные породы, минеральное сырье, керамические материалы, механическая прочность, теплопроводность.

Keywords: ultramafic rocks, mineral raw materials, ceramic materials, mechanical strength, thermal conductivity.

УДК 552.54+552.513.3+691.542 (470.2)

Фролов П. В., Мясникова О. В., Савицкий А. И. *Перспективы карельских объектов карбонатного сырья для получения корректирующих добавок к цементной сырьевой смеси на основе верхнедевонских мергелей русской платформы* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 84–89: рис. 2, табл. 4. Библ. назв. 7.

В работе рассмотрены возможности применения карбонатных пород некоторых карельских объектов для получения корректирующих добавок к цементной сырьевой смеси проявлений цементного сырья

Ленинградской и Новгородской областей (на примере объекта «Бабино») с недостаточными кондициями для самостоятельной эксплуатации.

The possible use of carbonate rocks from some Karelian deposits for the production of correcting additives to raw cement blend from cement occurrences in the Leningrad and Novgorod districts (exemplified by the Babino occurrence) with insufficient standards for unaided exploitation are discussed.

Ключевые слова: портландцемент, карбонатные породы, мергели, минеральное сырье, радиационно-гигиеническая оценка.

Keywords: portland cement, carbonate rocks, marls, mineral raw materials, radiation-hygienic assessment.

УДК 553.461:553.76 (470.22)

Савицкий А. И., Ильина В. П., Кевлич В. И. *Предварительная оценка радиационно-гигиенической обстановки Аганозерского комплексного объекта* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 89–93: рис. 2, табл. 1. Библ. назв. 11.

Аганозерское месторождение хромовых руд Пудожского района Карелии является, по сути, комплексным объектом на рудные и нерудные полезные ископаемые (хромовые руды, платиноиды, хромшпинелиды, магнезиальное и высокомагнезиальное сырье – серпентиниты, пироксениты, оливиниты, дуниты, а также строительные материалы). В данной работе на первый план выдвигается оценка радиационно-гигиенической обстановки Бураковско-Шалозерско-Аганозерского массива, включающего Аганозерское месторождение, что актуально и в связи с грядущим в Карелии Мегaproектом, где ключевую роль должен сыграть именно Аганозерский объект. Эта оценка построена на оригинальных материалах авторских полевых и лабораторных исследований, с учетом данных геологоразведочных работ на объекте Карельской геологической экспедиции и результатов работ по оценке радиационно-гигиенической обстановки Пудожского района, проводимых ранее ГПП «Невскгеология», ВСЕГЕИ.

The Aganozero chromium ore deposit, located in the Pudozh District, Karelia, is a complex object for ore and non-metalliferous useful minerals such as chromium ores, platinoids, chrome spinellids as well as Mg-bearing and high-Mg raw materials, e. g. serpentinite, olivinite, dunite and building materials. The primary goal of the present paper is to assess the radiation-hygienic situation at the Burakovian-Shalozero-Aganozero massif, which comprises the Aganozero deposit. Our assessment is essential in connection with the Megaproject to be launched in Karelia, where the Aganozero deposit will play the key role. Our assessment is based on the field and laboratory studies conducted by the authors with regard for the data obtained for this deposit by the Karelian Geological Survey and the appraisal of the radiation-

hygienic situation in the Pudozh District done earlier by Nevskgeologia GTP, VSEGEI.

Ключевые слова: Аганозерское месторождение, хромовые руды, комплексный объект, полезные ископаемые, радиационно-гигиеническая обстановка.

Keywords: Aganozero deposit, chromium ores, complex object, useful minerals, radiation-hygienic situation.

УДК: 549.514.51: 622.357.6

Светова Е. Н., Шанина С. Н. *Анализ газожидких включений в жильном кварце месторождения Фенькина-Лампи методом газовой хроматографии* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 93–97: рис. 4, табл. 1. Библ. назв. 7.

Обсуждаются полученные методом газовой хроматографии данные о составе и содержании газожидких включений в основных структурно-технологических типах жильного кварца месторождения Фенькина-Лампи. Показано, что в составе газовой фазы, выделяющейся из кварца при нагревании до 1000 °С доминирует H₂O, в меньшем количестве отмечаются CO₂, CO, N₂ и углеводородные газы. Для кварца характерно повышенное газовыделение в высокотемпературном интервале (600–1000 °С), сопоставимое с газовыделением в низкотемпературной области (100–600 °С), что негативно характеризует его как сырье для получения высококачественных стекол. Для данного кварца необходима разработка специальной технологии очистки, учитывающей особенности его насыщенности газожидкими включениями.

The composition and content of fluid inclusions in the main structural and technological types of vein quartz of the Fenkina-Lampi deposit were studied by gas chromatography. It is shown that H₂O dominates (90–99%) in the gases composition released from quartz under heating to 1000 °C, CO₂, CO, N₂ and hydrocarbon compounds contents are much less. Quartz is characterized by high gassing in the high-temperature region (600–1000 °C) comparable to gassing in the low-temperature interval (100–600 °C), which is a negative indicator of the quality of quartz as a raw material for high-quality glass melting. It is necessary to develop a special purification technology for this quartz, which will take into account the features of its saturation with gas-liquid inclusions.

Ключевые слова: Фенькина-Лампи, жильный кварц, газожидкие включения, газовая хроматография.

Keywords: Fenkina-Lampi, vein quartz, fluid inclusion, gas chromatography.

УДК 54.057

Герасимова Л. Г., Николаев А. И., Самбуров Г. О., Щукина Е. С., Маслова М. В. *Получение синтетического титаносиликата со структурной коробицынита* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 97–100: рис. 5, табл. 3. Библ. назв. 6.

В статье приводятся результаты исследований по получению композиционного гидратированного титаносиликатного осадка и его использованию для синтеза щелочных титаносиликатов.

The article presents the study results of obtaining a composite hydrated titanosilicate precipitate and its use for the synthesis of alkaline titanosilicates.

Ключевые слова: Титаносиликатный осадок, сферный концентрат, щелочной титаносиликат, коробицынит, ненадкевичит.

Keywords: titanosilicate precipitate, sphen concentrate, alkaline titanosilicate, korobitsynite, nenadkevichite.

УДК 553.985.3+549.8+622.7

Кевлич В. И., Первунина А. В., Матрюкова С. Р. *К вопросу о рациональном использовании пород при отработке Нигозерского месторождения* // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 100–105: рис. 6. Библ. назв. 9.

На основе минералого-технологических исследований обогащенных антраксолитовыми стяжениями туфопесчаников Нигозерского месторождения разработана схема выделения антраксолита. Дана рекомендация при дальнейшей комплексной разработке месторождения привлекать радиометрические методы с целью получения товарной руды для обогащения на антраксолит.

A scheme of anthraxolite extraction, based on the mineralogo-technological studies of Nigozero tuffaceous sandstone, enriched in anthraxolite concretions, was proposed. The authors recommend using radiometric methods to produce commercial ore to be dressed for anthraxolite during the subsequent integrated exploitation of the deposit.

Ключевые слова: Нигозерское месторождение, туфопесчаник, антраксолит, обогащение.

Keywords: Nigozero deposit, tuffaceous sandstone, anthraxolite, processing.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Щипцов В. В. Промышленные минералы Фенноскандинавского щита и их роль в развитии минерально-сырьевой базы мировой экономики	7
Турсебеков А. Х., Шукуров Н. Э., Шарипов Х. Т., Алабергенов Р. Д., Зунунов А. Ч., Шукуров Ш. Р. Техногенные отходы – новый источник сырья цветных, благородных, редких и токсичных металлов алмалыкского горно-металлургического комбината	31
Мелентьев Г. Б. Получение конечных редкометалльных продуктов из природного минерального сырья и техногенных образований с применением инновационных пирохимических методов в качестве альтернативы традиционному обогащению	35
Фролов П. В., Ильина В. П., Завёрткин А. С., Климовская Е. Е., Савицкий А. И. Тальковое сырье Карелии: направления практического применения, потенциальная позиция в минерально-сырьевой базе России	50
Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Бондарчук И. Б., Сычева Н. А., Шувалова Ю. Н., Якушина О. А. Минералогическое материаловедение (производство керамических изделий)	60
Потокин А. С., Степенщиков Д. Г., Войтеховский Ю. Л. Применение электроимпульсного метода дезинтеграции для получения чистого гранатового концентрата из мусковит-гранатовых сланцев Западных Кейв	63
Щербакова Н. Н., Хапцев З. Ю., Захаревич А. М., Вениг С. Б., Сержантов В. Г. Биотехнологические основы использования природного минерала глауконита в почвообразовательных процессах при освоении техногенных массивов и ликвидации предприятий по добыче полезных ископаемых	68
Шмакова А. М. Характеристика медно-никелевой минерализации метагабброидов (Северный Тиман)	73
Ильина В. П., Фролов П. В. Ультраосновные породы Аганозерского месторождения хромовых руд (Южная Карелия) как нетрадиционное магнийсиликатное сырье для производства новых керамических материалов	78
Фролов П. В., Мясникова О. В., Савицкий А. И. Перспективы карельских объектов карбонатного сырья для получения корректирующих добавок к цементной сырьевой смеси на основе верхнедевонских мергелей русской платформы	84
Савицкий А. И., Ильина В. П., Кевлич В. И. Предварительная оценка радиационно-гигиенической обстановки аганозерского комплексного объекта	89
Светова Е. Н., Шанина С. Н. Анализ газово-жидких включений в жильном кварце месторождения Фенькина-Лампи методом газовой хроматографии	93
Герасимова Л. Г., Николаев А. И., Самбуров Г. О., Щукина Е. С., Маслова М. В. Получение синтетического титаносиликата со структурой коробицынита	97
Кевлич В. И., Первунина А. В., Мастрюкова С. Р. К вопросу о рациональном использовании пород при обработке Нигозерского месторождения	100
ХРОНИКА	
14-й Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM 2019).....	106
ПОТЕРИ НАУКИ	
Памяти Талии Зинуровны Лыгиной	109
Памяти друга	110
АННОТАЦИИ	111

CONTENTS

PREFACE	5
Shchiptsov V. V. Industrial minerals of the Fennoscandian Shield and their contribution to progress in the mineral-raw materials balance of global economy	7
Turesebekov A. Kh., Shukurov N. E., Sharipov Kh. T., Alabergenov R. D., Zununov A. Ch., Shukurov Sh.R. Artificial waste as a new source of non-ferrous, noble, rare and toxic metals of Almalyk mining and metallurgical combine	31
Melentyev G. B. Manufacturing finished rare-metal products from natural raw minerals and artificial formations using innovation pyrochemical methods instead of conventional techniques	35
Frolov P. V., Ilyina V. P., Zavertkin A. S., Klimovskaya E. E., Savitsky A. I. Karelian talc as a raw material: practical application and potential contribution to Russian mineral raw material reserves	50
Zhukova V. E., Ozhogina E. G., Bondarchuk I. B., Sycheva N. A., Shuvalova Yu. N., Yakushina O. A. Mineralogical materials study (manufacturing ceramic products)	60
Potokin A. S., Stepenshchikov D. G., Voytekhovskiy Y. L. Application of the electric pulse disintegration method for obtaining a clean garnet concentrate from mica-garnet schist of West Keyvy	63
Shcherbakova N. N., Haptsev Z. Yu., Zakharevich A. M., Venig S. B., Serzhantov V. G. Biotechnological bases of use of natural mineral glauconite in soil-forming processes at development of technogenic massifs and liquidation of enterprises on extraction of minerals	68
Shmakova A. M. Characterization of copper-nickel mineralization of metagabbroids (North Timan)	73
Ilyina V. P., Frolov P. V. Ultramafic rocks of the Aganozero chromium ore deposit (South Karelia) as a non-conventional magnesium-silicate raw material for the production of new ceramic materials	78
Frolov P. V., Myasnikova O. V., Savitsky A. I. Prospects of Karelian carbonate deposits for the production of correcting additives to cement blend based on upper devonian marls from the russian platform	84
Savitsky A. I., Ilyina V. P., Kevlich V. I. Preliminary assessment of the radiation-hygienic situation at the Aganozero complex deposit	89
Svetova E. N., Shanina S. N. Analysis of fluid inclusions in vein quartz of the Fenkina-Lampi deposit by gas chromatography	93
Gerasimova L. G., Nikolaev A. I., Samburov G. O., Shchukina E. S., Maslova M. V. Obtaining of synthetic titanosilicate with the korobitsenite structure	97
Kevlich V. I., Pervunina A. V., Masrtryukova S. R. On the rational use of rocks upon the exploitation of the Nigozero deposit	100
CHRONICLES	
14 th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019)	106
LOSSES IN THE SCIENTIFIC COMMUNITY	
In commemoration of Taliya Lygina	109
In commemoration of friend	110
ABSTRACTS	111

Научное издание

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
НОВЫХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Сборник статей по материалам докладов
XII Российского семинара по технологической минералогии

Под редакцией

д. г.-м. н. В. В. Щипцова, к. г.-м. н. Е. Н. Световой

*Печатается по решению Ученого совета
Института геологии КарНЦ РАН*

Издано в авторской редакции


На обложке: Мраморный карьер Рускеала (Карелия)

Подписано в печать 28.11.2019 г. Формат 60×84¹/₈.
Гарнитура Times. Уч.-изд. л. 13,27. Усл.-печ. л. 13,72.
Тираж 120 экз. Заказ № 587

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
Редакционно-издательский отдел
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50


Аудит **Высокое качество**
Дробление **Истирание**
Обучение **Стандартные образцы**
Сервис **Пробоподготовка**
Акции и скидки



Оборудование
для подготовки
горных проб  **ROSKLABS**

- Дробление •
- Истирание •
- Надежность •
- Уникальность •
- Сервис •



Стандартные образцы
 **ROSKLABS** и  **MINSTANDART**

- В наличии на складе •
- Оперативная поставка •
- Низкая цена •
- Высокое качество •
- Отсрочка оплаты •



info@anakon.ru



8 800 707 88 38



г. Санкт-Петербург
г. Москва
г. Красноярск

WWW.ANAKON.RU

