

УДК 553.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ВО ВСЕМ ПРОСТРАНСТВЕ

В. В. Щипцов¹, О. Б. Котова², Е. Г. Ожогина³, Б. И. Пирогов³

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина,
ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья
им. Н. М. Федоровского (ФГБУ «ВИМС»), Москва, Россия

Представлен обзор научно-практических исследований в области технологической минералогии с обращением к истокам истории до современного состояния. Приводится и анализируется оригинальный библиографический список отечественных публикаций по различным направлениям технологической минералогии. Рассмотрена роль и значение технологической минералогии как самостоятельной дисциплины, определяющей технологическую оценку минерального сырья с целью получения конечного продукта. На отдельных примерах показано, что технологическая минералогия с каждым годом приобретает все большее значение в комплексе геологоразведочных работ с разработкой новых методов технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов, приведены морфолого-конституционные особенности малых частиц и их роль при технологической переработке минерального сырья, раскрыты возможности направленного изменения технологических свойств минерального сырья на наноуровне и получения новых материалов. Подчеркнута роль технологической минералогии в решении задач комплексного использования минерального сырья при добыче и переработке на примере отходов горно-обогатительной и металлургической промышленности Южного Урала, которые могут эффективно использоваться на горных предприятиях при создании искусственных массивов разного техногенного происхождения. Обращено внимание на развитие системы геолого-технологического моделирования при картировании месторождений полезных ископаемых различных генетических типов.

Ключевые слова: технологическая минералогия; металлы; промышленные минералы; метод; оценка; комплексное использование; направленные изменения; моделирование.

V. V. Shchiptsov, O. B. Kotova, E. G. Ozhogina, B. I. Pirogov. TECHNOLOGICAL MINERALOGY COMPREHENSIVELY

A review of basic and applied research in the field of technological mineralogy from its early history to the present time is given. An original bibliographic listing of Russian publications on various aspects of technological mineralogy is presented and analyzed. The role and significance of technological mineralogy as an independent discipline which underlies the technological assessment of mineral raw materials for obtaining the final product are considered. Specific examples are given to show that over years technological mineralogy is becoming increasingly important in the complex of geological exploration activities as new technological mineralogy methods are developed for the assessment

of metal ores and industrial minerals. The morphological and constitutive traits of small particles and their role in the technological processing of mineral raw materials are specified, the possibilities for targeted modification of the processing properties of mineral raw materials at the nanoscale and for the production of new materials are revealed. The role of technological mineralogy in enabling a comprehensive utilization of mineral raw materials in mining and processing is highlighted, using the example of wastes from the South Urals mining and smelting industry, which can be efficiently used at mining enterprises for creating artificial massifs of various technogenic origins. Attention is drawn to the development of a system of geological and technological modeling when mapping mineral deposits of various genetic types.

Key words: technological mineralogy; metals; industrial minerals; method; assessment; comprehensive use; targeted changes; modeling.

Введение

Время и пространство являются определяющими факторами геологической среды, генерирующей в себе разнообразные источники минерального сырья. С годами ощутимо меняется методология технологической минералогии, находясь в прямой зависимости от современных методов прогноза и оценки руд металлов и промышленных минералов, инновационных технологий и эколого-экономических факторов. Технологическая минералогия суммирует геологические и минералого-технологические исследования, связанные с изучением вещественного состава, текстурно-структурных признаков полезных ископаемых, технологических свойств минералов, направленные на разработку рациональных схем их обогащения, комплексное использование минерального сырья.

В данной статье представлен всесторонний обзор технологической минералогии от истоков до современного состояния. В основу обзора положена деятельность Комиссии по технологической минералогии РМО, которая на протяжении уже нескольких десятилетий осуществляет координирующую роль по данному направлению. Также много внимания вопросам технологической минералогии уделяется на ежегодных конференциях «Плаксинские чтения».

Технологическая минералогия вчера

Технологическая минералогия началась с учебника, составленного академиком Василием Михайловичем Севергиным (рис. 1) в 1798 г., под названием «Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел» [Севергин, 1798]. В этом фундаментальном труде обобщены накопленные к тому моменту минералогические знания и со-

держатся сведения о минералах и полезных ископаемых Российской империи. На протяжении трех последующих десятилетий по нему учились студенты российских университетов. Формулируя задачи минералогии в целом, связанные с изучением строения и состава минералов, выяснением их взаимоотношений в месторождениях, установлением возможности практического использования, В. М. Севергин впервые ввел понятия «технологическая и экономическая» минералогия, что и определило дальнейшую традиционную практическую на-



Рис. 1. Академик В. М. Севергин (1765–1826)

Fig. 1. Academician V. M. Severgin (1765–1826)

правленность российской минералогии. Он не был одинок в своей деятельности по разработке и распространению прогрессивных приемов технологии производства и использования отечественного минерального и сельскохозяйственного сырья [Ушакова, Фигуровский, 1981]. Такого же рода работу вели его современники и коллеги, как по Императорской Академии наук – академики Т. Е. Ловиц, Я. Д. Захаров, И. Ф. Гмелин, К. Г. Кирхгофф, так и другие ученые России.

Ярким примером интуитивного использования технологической минералогии является выполнение заказа российского военного ведомства по производству артиллерийских запалов на основе высокообогащенного вольфрама в 1916 г., с которым успешно справились Г. О. Чечотт, обогатитель по профессии, совместно с обогатителем-технологом С. Е. Андреевым и механиком-конструктором Л. Б. Левенсоном. Именно этот комплексный подход к решению проблемы в цепочке «исследование – проектирование – оборудование», в которой технологической минералогии отводится главная роль [К 100-летию..., 2016], заложен ими в основу создания в 1916 г. компании «Механобр» (механическая обработка полезных ископаемых).

Период 1921–1955 гг. был существенным в плане разработки основ геолого-минералогической оценки руд месторождений полезных ископаемых. В первые годы после Великой Октябрьской социалистической революции в отечественной минералогии возникло новое научное направление – прикладная минералогия [Федоровский, 1935]. Создание ее тесно связано с именем блестящего организатора и крупного ученого-минералога Николая Михайловича Федоровского [Парамонов, Коробочкин, 1979]. Он создал минералогическую школу Института прикладной минералогии (его видные представители – В. В. Аршинов, Н. Е. Веденева, А. А. Глаголев, Е. В. Рожкова, Я. Д. Готман, Е. В. Копченова, Ф. В. Сыромятников и др.).

В этот период и в течение следующего этапа открываются институты, крупные лаборатории геологического и технологического профиля, зарождение которых сыграло большую роль в развитии минерально-сырьевой базы страны. Среди них – ВИМС (1935 г.); Научно-исследовательский геологоразведочный институт золотой промышленности (1935 г.); ЦНИИГеолнеруд (1945 г.); Казахский институт минерального сырья (1956 г.); ИМГРЭ (1956 г.); ЦНИГРИ (1957 г.); Красноярский НИИ геологии и минерального сырья (1957 г.); Дальневосточный ин-

ститут минерального сырья (1957 г.); с 1918 г. начал работу Гинцветмет, в 1929–1934 гг. созданы его филиалы в Ленинграде, Свердловске, Иркутске; с 1923 г. активизировалась деятельность «Механобра», с 1929 г. работает «Уралмеханобр»; с 1931 г. – Центральная научно-исследовательская лаборатория химической промышленности «Гиредмет», с 1943 г. – ГИГХС; в 1932 г. создан Государственный экспериментальный институт стекла; в 1951 г. – ВНИИХТ; в 1954 г. – ВНИИСИМС; в 1955 г. – «Механобрчермет»; в 1957 г. – ГИС и др.

Формирование основ прикладной минералогии было одобрительно встречено академиком В. И. Вернадским. Он писал, что истекшее десятилетие одновременно выдвинуло в минералогии цикл крупных и интереснейших задач, связанных с проблемами прикладной минералогии как минералогической основы учения о рудных ископаемых [Вернадский, 1954].

Началось широкое внедрение принципов прикладной минералогии в практику геологоразведочных работ и горнорудного производства (1956–1982 гг.) [Гинзбург, Александрова, 1974]. Особенно важно заметить, что они нашли конкретное решение в практике работы крупнейших ГОКов страны по добыче железных руд – на Южном, Ингулецком, Ново-Криворожском, Центральном и Северном – в Криворожском бассейне; Соколовско-Сарбайском – в Северном Казахстане; Ковдорском и Оленегорском – в Мурманской области; Качканарском – на Среднем Урале; и марганцевых руд – в Никопольском и Чиатурском бассейнах и др. Большая роль на этом этапе отводится ВИМСу.

Вовлечение в сферу практического интереса использования какого-либо минерала или отыскание новых областей применения минералов, уже используемых в народном хозяйстве, зачастую сравнимо по своему технико-экономическому эффекту с открытием и освоением нового месторождения. Как подчеркивал А. И. Гинзбург [1954], не существует минералов, не имеющих практического значения, мы просто не умеем еще все их использовать. В 1980-е годы трудами отечественных геологов и технологов была сформирована самостоятельная научная дисциплина «технологическая минералогия» и определены ее основные направления [Гинзбург и др., 1981; Пирогов, 1982; Ревнивцев, 1982].

Технологическая минералогия сегодня

В 1982 г. в Ленинграде под эгидой АН СССР, ВМО, Министерства цветной металлургии, ин-

ститута «Механобр» и ЛОП НТО цветной металлургии прошел VI съезд ВМО. Во вступительном слове президента ВМО акад. А. В. Сидоренко был рассмотрен широкий круг вопросов, в котором он особо обратил внимание на тот факт, что новые знания о минералах, тонких особенностях их конституции, текстурных и структурных особенностях руд могут послужить научной основой для совершенствования существующих и создания новых методов обогащения, гидрометаллургии и других технологических приемов и, как следствие, приведут в перспективе к созданию безотходной технологии.

С целью объединения усилий ученых и производственников по проблемам технологической минералогии съезд принял решение о создании комиссии по технологической минералогии. Возглавил комиссию директор «Механобра» В. И. Ревнивцев и руководил ею в период с 1983 по 1989 г. Под его руководством исследования по различным направлениям технологической минералогии приобрели четкий системный характер, объединив усилия исследователей прикладных НИИ многих министерств, АН СССР, геологов-разведчиков и работников ГОКов. Они обеспечили дальнейшее развитие технологической минералогии, разработку ее теоретических основ, внедрение конкретных достижений в производство [Проблемы..., 1985; Применение..., 1987; Технологическая..., 1987].

В этот период большое внимание уделяется разработке принципов геолого-технологической оценки руд с учетом закономерностей изменчивости технологических свойств минералов в единой геолого-технологической системе. Один из примеров – это монография коллектива авторов «Технологическая минералогия железных руд» [Пирогов и др., 1988], в которой рассмотрены проблемы технологической минералогии руд на современном ГОКе. К этому же периоду относится появление учебного пособия по принципам и методам геолого-технологического картирования месторождений полезных ископаемых [Пирогов и др., 1989]. С участием Б. И. Пирогова проведены минералого-технологические исследования железных и марганцевых руд крупнейших месторождений СССР, а также медно-молибденовых руд монгольского месторождения Эрдэнэт.

Необходимо отметить большой вклад проф. Г. А. Сидоренко (ВИМС). Ее работы по комплексированию методов минералогических исследований послужили фундаментальной основой для развития нового направления технологической минералогии [Сидоренко, 1996; Борискин, Сидоренко, 1997 и др.]. Помимо это-

го, по ее инициативе получило развитие и внедрение метрологическое обеспечение минералогических исследований как средства повышения качества, достоверности и точности результатов минералогических работ по диагностике и оценке типоморфных свойств минералов, фазового анализа и др.

В 1980-е создана лаборатория современных методов минералогического анализа веществ в Криворожском горнорудном институте и открыта межотраслевая геолого-технологическая лаборатория на Алмалыкском ГКМ. В январе 1990 г. в Ленинграде состоялось расширенное заседание комиссии с проведением научного семинара на тему «Безотходная технология и использование техногенных месторождений». Совместно с комиссией по рудной минералогии изданы труды советских ученых к XV съезду IMA в Пекине [Geologic-technological..., 1990]. На VIII съезде РМО (1992 г.) В. М. Изoitко выступила с пленарным докладом на тему «Проблемы и достижения технологической минералогии», в котором было освещено применение достижений и методов технологической минералогии для решения задач полноты и комплексности использования добываемого минерального сырья и утилизации отходов. В 1997 году выходит в свет книга «Технологическая минералогия и оценка руд» [Изоитко, 1997]. Эта работа является настольной книгой для геологов-технологов. В ней содержится информация по классификации процессов обогащения и типоморфным особенностям минералов и руд, методам их исследования, отмечены особенности геолого-технологической оценки руд важнейших промышленных типов месторождений. В. М. Изoitко разработала методики выделения природных и технологических типов по необходимому и достаточному количеству признаков, характеризующих руду.

С 1977 года ежегодно проводятся конференции «Плаксинские чтения». Уже более двух десятилетий в сборниках материалов конференции существует рубрика «Технологическая минералогия» [Развитие..., 2000; Направленное..., 2003; Современные..., 2004, 2005, 2007, 2012, 2017; Новые..., 2011; Инновационные..., 2013, 2020; Проблемы..., 2019 и др.]. В трудах юбилейной конференции «Плаксинские чтения – 2000», посвященной 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР И. Н. Плаксина, первый раздел именован «Технологическая минералогия» [Развитие..., 2000] и содержит две ключевые публикации [Кушпаренко, 2000; Чантурия, Башлыкова, 2000]. Можно привести и другие примеры работ в сборниках материалов «Плаксинских чтений» различных лет [Ко-

това и др., 2012; Горбатова и др., 2019; Лихникевич и др., 2019 и мн. др.]. В г. Петрозаводске в ИГ КарНЦ РАН проведены три конференции «Плаксинские чтения» [Проблемы..., 1998; Направленное..., 2003; Современные..., 2012], а также всесоюзное совещание «Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-Запада СССР (европейская часть)» [Комплексное..., 1990].

За последние 25 лет в области технологической минералогии состоялись защиты целого ряда докторских и кандидатских диссертаций, таких как: Остащенко Б. А. «Направленное изменение технологических свойств минералов» [1998]; Щипцов В. В. «Геолого-минералогические основы технологической оценки индустриальных минералов Карелии» [2000]; Котова О. Б. «Кристаллохимические и кристаллофизические процессы в приповерхностной области тонкодисперсных минеральных систем» [2000]; Лыгина Т. З. «Методические основы комплексной оценки состава и свойств неметаллических полезных ископаемых» [2001]; Ожогина Е. Г. «Технологическая минералогия труднообогатимых марганцевых руд России» [2002]; Левченко Е. Н. «Научно-методическое обоснование минералого-технологической оценки редкометалльно-титановых россыпей» [2011]; Якушина О. А. «Методика и технология изучения природного и техногенного минерального сырья методом рентгеновской томографии» [2012]; Горбатова Е. Н. «Минералого-технологическая оценка отходов обогащения колчеданных руд Южного Урала» [2013]; Лихникевич Е. Г. «Опережающие минералогические исследования руд редких металлов – основа для прогнозирования технологических свойств и выбора оптимальных технологических решений» [2021].

В Петрозаводске, в Институте геологии КарНЦ РАН с 2005 года размещается Комиссия по технологической минералогии РМО. Начиная с 2006 года указанная комиссия организует и проводит в разных городах страны российские семинары по технологической минералогии; такие мероприятия уже состоялись в Белгороде, Казани, Магнитогорске, Москве, Нижнем Новгороде, Петрозаводске, Санкт-Петербурге, Сыктывкаре, Чебоксарах. Издаются труды комиссии. Помимо этого, в программах таких научных форумов, как «Годичные собрания РМО», «Ферсмановские чтения» и «Плаксинские чтения», действуют секции по технологической минералогии, в журнале «Обогащение руд» существует рубрика «Технологическая минералогия». В 2019 г. на базе Белгородского государственного технологического универси-

тета им. В. Г. Шухова впервые на территории Российской Федерации проведен XIV Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM-2019) [Пирогов, Щипцов, 2016; Щипцов, Светова, 2020; Shchiptsov, 2021].

Развитие направлений технологической минералогии

С полным правом можно утверждать, что технологическая минералогия объединяет геолого-минералогические и технологические исследования [Ревнивцев, 1982; Пирогов и др., 1988; Изоитко, 1997; Юсупов, 1997; Остащенко, 1998; Щипцов, 2000; Юшкин, 2002; Пирогов, 2006, 2013; Роль..., 2018; Фундаментальные..., 2018].

В настоящее время технологическая минералогия занимает позицию самостоятельной дисциплины, служащей мостом между геологией рудопроявлений и месторождений и методами переработки минерального сырья с целью получения конечного продукта. Изучается взаимосвязь состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами, что определяет технологическую оценку минерального сырья. Все эти данные влияют на особенности дезинтеграции и подготовки минерального сырья к обогащению, выбор оптимальных вариантов раскрытия минералов в процессах дробления и измельчения, роль направленного изменения физических свойств минеральных компонентов, т. е. образуется научная основа для управления качеством сырья, выбора материалов, реагентов. В этой цепочке последовательно обосновываются физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов природного и техногенного происхождения, что дает возможность принимать правильные решения по обезвоживанию, окускованию, брикетированию, транспортированию и складированию полезных ископаемых и продуктов их обогащения. Актуальным становится вопрос, как не дробить, не обогащать и не добывать ничего лишнего.

Современная технологическая минералогия закрепляет за собой право расширять использование новых технологических методов для оценки перспективных участков и площадей при геологическом изучении недр [Кушпаренко, 2000; Пирогов, 2006; Котова и др., 2012].

Одной из основных проблем недропользования в текущий момент является сокращение воспроизводства минерально-сырьевой базы, в том числе черных, цветных, легирующих металлов, многих видов нерудного сырья.

Одновременно в настоящее время резко возросла роль прикладных минералогических исследований, которые позволяют с достаточно высокой степенью достоверности проводить прогнозную технологическую оценку полезных ископаемых на разных стадиях изучения и освоения месторождений. Совершенно очевидно, что технологическая минералогия с каждым годом приобретает все большее значение в комплексе геологоразведочных работ, в первую очередь новых видов сырья. Ее методы и приемы позволяют с минимальными затратами проводить оценку технологических свойств сырья и способствуют созданию эффективных технологий их переработки, предусматривающих максимально возможное извлечение всех полезных ископаемых. Например, вопрос об использовании попутных компонентов углей Восточного Донбасса и отходов их переработки поднимался в течение многих лет [Большенко, 2006; Попова, 2012 и др.]. Исследования сотрудников ВИМСа [Ожогина, Рогожин, 2006] показали, что в отвалах Восточного Донбасса содержится 22,3 % Al_2O_3 , 55,45 % SiO_2 , 6,7 % Fe_2O_3 . Минералого-технологические данные характеризуют «спек» угля как достаточно однородный материал скрытокристаллического строения, в котором неравномерно распределены вкрапленники рудных фаз различной формы и размеров.

Наряду с кварцем, являющимся главной минеральной фазой, установлены индивидуализированные зерна муллита и кордиерита, в подчиненном количестве присутствует полевой шпат.

Изучение образцов угольного «спека» под электронным микроскопом показало, что рентгеноаморфная фаза большей частью сложена плотно упакованными округлыми выделениями размером от сотых долей до 1 мкм, полыми внутри, имеющими алюминий-кремнистый и кремнисто-алюминиевый составы (рис. 2). Содержание алюминия в них варьирует от 9,8 до 30,6 %, а кремния – от 11,9 до 46,9 % [Ожогина, Рогожин, 2006].

Полученные данные позволяют говорить о потенциальной возможности использования угольных отвалов в качестве алюминиевого сырья. Однако форма нахождения алюминия и размер выделений требуют разработки специальных технологий получения глиноземистых продуктов.

Перспективы и приоритеты развития технологической минералогии применительно к различным стадиям геологоразведочных работ, освоения и эксплуатации месторождений минерального сырья, а также возможностям химико-металлургических переделов, обогащения и модификации в соответствии с задачами инновационного совершенствования технологических процессов и создания дистанционных и геотехнологических методов [Борискин, Сидоренко, 1997; Цукерман, Николаев, 1999; Юшкин, 2002; Конеев, 2006; Юсупов, 2010; Новые..., 2011; Якушина, 2012; Инновационные..., 2013, 2020; Ожогина и др., 2019; Лихникевич, 2021 и др.]. В Петрозаводске в октябре 2008 года проводился семинар по новым методам технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. В начале следующего года был издан сборник научных статей с аналогичным названием [Новые..., 2009].

К показательным примерам относится кварц. Это один из чистейших минералов на Земле. Все его модификации и разновидности составляют 12,6 вес. % земной коры. Микроэлементы являются важными при выявлении обстановки зарождения кварца, что определяет подходы по очистке кварца и направления использования в промышленности.

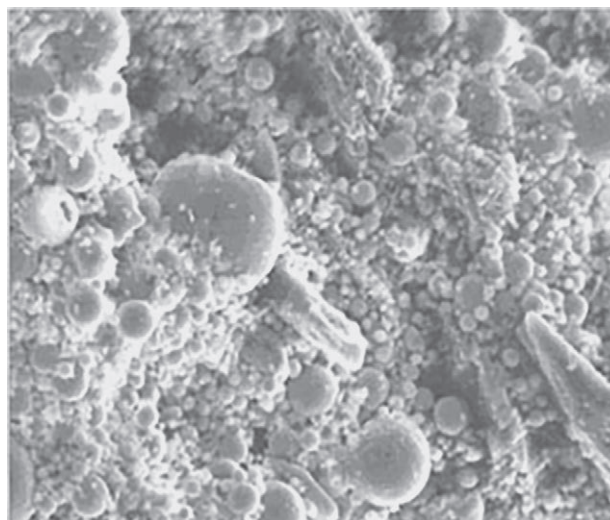


Рис. 2. Кремнисто-алюминиевые и алюминийкремнистые образования. Растровый электронный микроскоп [Ожогина, Рогожин, 2006]

Fig. 2. Siliceous-aluminum and aluminum-siliceous formations. Scanning electron microscope [Ozhogina, Rogozhin, 2006]

Наиболее низкие значения содержания микроэлементов в кварце отмечаются в температурном диапазоне 480–530 °С. На примере кварца Карело-Кольской провинции показано, что содержание рассеянных примесей Al, Ti, Ga, Fe, Ge и других элементов в них, по данным ПЭМ, различно. Наиболее загрязнены ими демпферные зоны, куда примеси сбрасываются кремнеземом в процессе формирования кристаллитов. Демпферные зоны, как правило, не содержат кристаллитов. По тем пустотам, которые образуются в кварце после обработки в HF, можно судить об их форме и размерах (рис. 3).

Области кристаллического кварца чередуются с областями дефектной, практически аморфной структуры, обогащенной микропримесями. Размеры каждой из областей могут варьировать от пяти до нескольких десятков нанометров и более. Форма, размеры кристаллитов в кварце отражают преимущества использованных приемов оценки исходного сырья и технологий очистки кварца [Раков и др., 2016, 2017].

Оценены как традиционные, так и другие виды кварцевого сырья с использованием новейших методик в области геолого-технологического изучения кварца. Метод технологического и эффективного способа оценки качества

кварцевого сырья позволяет достоверно, на предварительной стадии оценки прогнозировать качество кварцевого сырья и направления его использования. Техническим результатом предлагаемого способа является повышение точности и экспрессности, а также упрощение процесса оценки качества кварцевого сырья.

Запатентованный способ очистки кварца является более продуктивным за счет интенсификации процесса очистки кварца от примесей, снижения энергоемкости, длительности, упрощения технологии обогащения, обеспечения высокой экологичности, что позволяет отнести его к высокотехнологичным, экологически безопасным и энергосберегающим технологиям.

Полученные результаты ложатся в основу аргументов в пользу расширения минерально-сырьевой базы кварцевого сырья [Щипцов и др., 2020].

Морфолого-конституционные особенности малых частиц и их роль при технологической переработке минерального сырья

К концу XX столетия технологическая минералогия вступила в новую фазу развития в связи расширением границ минерального мира за

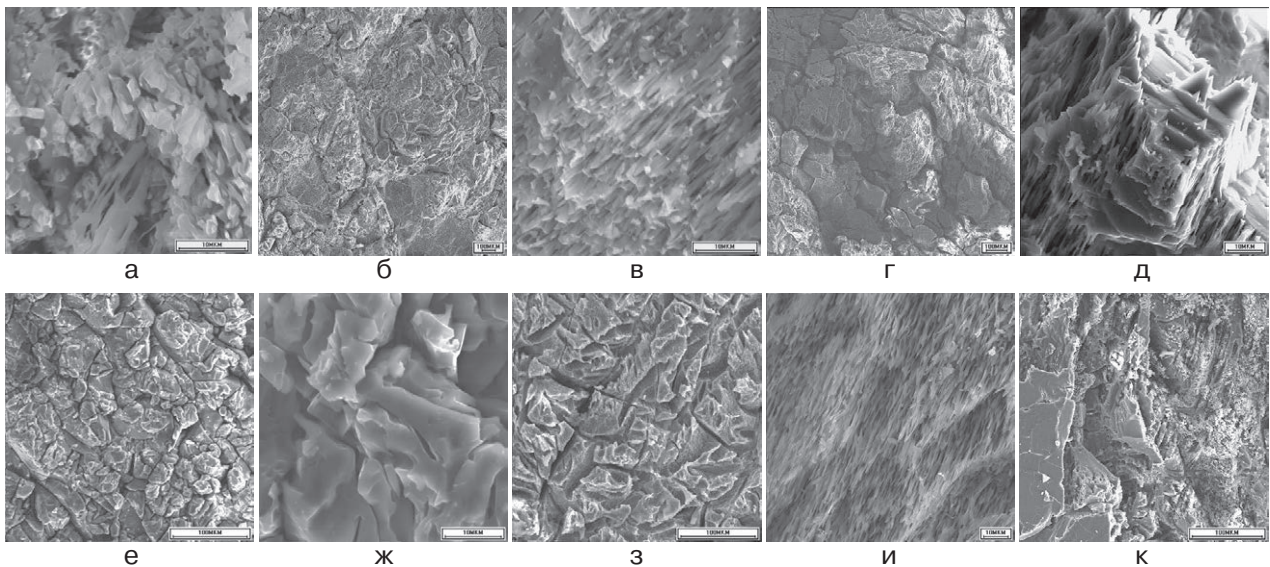


Рис. 3. Поверхность зерен кварца месторождений Кюрьяла (а, б), Фенькина Лампи (в, г), Меломайс (д, е), Перчатка (ж, з), Майское (и, к): протравленная, после обработки в HF – а, в, д, ж, и; кристаллиты в зернах кварца – б, г, е, з, к (РЭМ).

Исследования проведены с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH и микроанализатора INCA ENERGY 350 (аналитическая лаборатория ИГ КарНЦ РАН)

Fig. 3. Surface of quartz grains of the Kyuryala (a, б), Fenkina Lampi (в, г), Melomays (д, е), Perchatka (ж, з), Mayskoe (и, к) deposits: etched, after processing in HF – а, в, д, ж, и; crystallites in quartz grains – б, г, е, з, к (REM).

Studies were performed using a VEGA II LSH scanning electron microscope and INCA ENERGY 350 microanalyzer (analytical laboratory of IG KarRC RAS)

счет познания ультрадисперсного состояния вещества. Академик Н. П. Юшкин одним из первых подчеркнул значение интервенции минералогического познания во все области естествознания. В современной обстановке важную нишу заняли микро- и наноминералогия, что привело к значительному расширению представлений о дисперсных объектах. Как отметил Б. И. Пирогов [2010], к ним относятся не только фазовоиндивидуализированные малые и сверхмалые частицы с отчетливыми поверхностными ограничениями, но и внутрифазные структурированные элементы (многоядерные соединения, молекулярные и надмолекулярные группировки, кластеры и т. п.). Таким образом, современной тенденцией стало распространение исследований на все более и более глубокие уровни дисперсности, переход традиционных объектов околомикронной величины к ультрадисперсным объектам, т. е. изменение механических, электрических, термодинамических и других свойств в классической и квантовой областях. Микромир стал источником многих открытий в сфере минералогии и дальнейших направлений развития технологической минералогии, что сформулировано в работах Н. П. Юшкина, А. М. Асхабова, Б. И. Пирогова, В. И. Ревнивцева, В. Л. Таусона, В. А. Чантурии и других. Комиссия по технологической минералогии РМО уделяет большое внимание этому вопросу, о чем свидетельствуют сборники статей по технологической минералогии и другие публикации [Юшкин, Ракин, 1999; Котова, 2004; Новые..., 2009; Технологическая..., 2010; Результаты..., 2017; Фундаментальные..., 2018].

Хорошим объектным примером для этого подраздела служат шунгитоносные породы, получившие свое название от карельского села Шуньга, которые привлекают внимание на протяжении многих десятилетий. Шунгитоносные породы представляют собой природные углерод-минеральные композиты, содержащие шунгитовое вещество и широкий спектр микро- и наноминералов. Шунгитовое вещество – это уникальный природный углерод, некристаллический, неграфитируемый, фуллереноподобный. Уникальность шунгита проявляется на различных структурно-вещественных уровнях: а) надмолекулярном; б) молекулярном; в) электронно-энергетическом; г) структурно-физическом; д) геолого-генетическом (парагенетическом) [Калинин, Ковалевский, 2011]. Шунгиты не имеют аналогов в геологической истории нашей планеты по форме проявлений и суперкрупным запасам сырья в Заонежье, необычны по генезису, структуре входящего в их состав углерода, а также по структуре и текстуре самих

пород. Шунгитоносные породы Карелии имеют палеопротерозойский возраст. Основные их залежи отмечаются в составе вулканогенно-осадочных комплексов Онежской структуры заонежской свиты людиковийского надгоризонта с возрастным интервалом 2,1–1,92 млрд лет, выделено 9 горизонтов шунгитоносных пород с высоким содержанием $C_{орг} > 20\%$. Зажогинское рудное поле представлено несколькими десятками месторождений и проявлений высокоуглеродистых шунгитовых пород, в т. ч. разрабатываются два крупных месторождения (Максовское и Зажогинское).

В шунгитоносных породах роль некристаллической матрицы выполняет шунгитовое вещество в виде микрокристаллов с размерностью около 1 мкм, нанокристаллов (до 10 нм), а также слоев и кластеров как результат интеркаляции аморфного углерода. Такая структура активна в окислительно-восстановительных реакциях и обуславливает сорбционные и каталитические свойства материала. В составе высокоуглеродистых шунгитовых пород Зажогинского рудного поля преобладают шунгитовое вещество и кремнезем. Кремнезем представлен обычно частицами кварца или присутствует в составе различных силикатных образований. Вещественный состав также включает второстепенные минералы, такие как пирит, биотит, калиевый полевой шпат, альбит, фторapatит, хлорит, кальцит, среди акцессорных минералов отмечаются арсенопирит, рутил, циркон, титанит и др. Средняя плотность шунгитоносных пород обратно пропорциональна содержанию свободного углерода и колеблется в пределах 2,23–2,57 г/см³, водопоглощение – от 0,1 до 3,6 %, пористость – от 0,9 до 10,8 %. Высокоуглеродистые шунгитоносные породы характеризуются высокой биологической активностью, химической стойкостью, электропроводностью, свойствами адсорбции, радиоэкранизации и др. В табл. 1 приводятся основные параметры высокоуглеродистых пород [Калинин, Ковалевский, 2011; Kovalevski, Shchiptsov, 2019].

Области применения шунгитоносных пород определяются физико-механическими свойствами (плотность, пористость, удельная поверхность, механическая и оптическая характеристики, электропроводность, теплопроводность, теплоемкость, термостойкость, взаимодействие с кислотами, щелочами, водой и другими жидкостями). Шунгитоносные породы с околомикронными углеродистыми частицами имеют широкий диапазон областей их использования с заданными свойствами, что находит применение в таких товарных продуктах, как

Таблица 1. Характеристика высокоуглеродистых шунгитоносных пород

Table 1. Description of high-carbon shungite-bearing rocks

Параметры Parameters	Зажогоно Zazhogino	Максово Maksovo	Подсосонье Podsosonie	Карнаволок Karnavolok	Лебещина Lebeshchina
структура structure	тонкокristаллическая thin-crystal				
текстура texture	массивная прожилковая massive veined	массивная брекчиевая прожилковая massive breccia veined	массивная брекчиевая massive breccia	прожилковая veined	массивная massive
содержание углерода, % carbon content, %	29,9–33,8	25,0–38,10	26,2–50,00	17,5–26,6	22,1–45,9
Na ₂ O	0,04–0,08	0,1–0,38	0,14–0,56	0,06–0,08	3,04–7,20
K ₂ O	1,31–2,35	1,28–2,47	1,29–2,50	1,72–1,97	0,1–4,08

сорбционный шунгитовый материал (очистка сточных вод, содержащих нефтепродукты и органические соединения, водоподготовка, очистка питьевой воды), шунгитовый наполнитель (изготовление открытопористых минералополлимерных материалов, резинотехническая промышленность, шинная промышленность), спецнаполнители (получение электропроводящих материалов, красок, паст, радиоэкранирующих покрытий и материалов), пигмент (крашение в массе синтетических волокон, лакокрасочная промышленность, окраска искусственных кож, полимерминеральные композиты) и прочее [Калинин и др., 2008].

В качестве другого примера рассматриваются существующие технологии обогащения титаномагнетитовых руд. Вовлечение титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд с высоким содержанием TiO₂ в промышленное освоение напрямую зависит от: особенностей морфологии рудных минералов, их гранулярного состава, наличия тонких выделений, структурной и фазовой неоднородности микроагрегатов титаномагнетита, т. е. степени перекристаллизации структур распада твердого раствора ряда магнетит-ильменит, гетерогенности химического состава магнетита, присутствия примесных элементов, относительной интенсивности амфиболизации, хлоритизации и мартитизации минералов руд. Кристаллохимические и морфоструктурные характеристики минералов титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд определяют их технологические свойства [Холоднов и др., 2012; Колкова, 2020 и др.].

Благодаря исследованиям, проведенным в ВИМСе на вкрапленных титаномагнетитовых и ильменит-титаномагнетитовых рудах Медведевского месторождения Кусинско-Копанского габбрового массива Южного Урала, прослеже-

на эволюция продуктов распада твердого раствора ряда магнетит-ильменитовых руд [Колкова, 2020]. Она выражена в изменении строения и состава микроагрегатов титаномагнетита в процессе их собирательной перекристаллизации. Окислительный обжиг микроагрегатов титаномагнетита позволяет уменьшить степень неоднородности их минерального и химического состава в силу перераспределения элементов в процессе диффузии и образования более устойчивых минеральных фаз – гематита, псевдобрукита и рутила. Установлено, что с уменьшением крупности материала интенсивность процесса твердофазного превращения увеличивается [Горбатова и др., 2020].

Направленное изменение технологических свойств минерального сырья на наноуровне и получение новых материалов

Идеи находят согласование с новой научной парадигмой минералогии – изучением и оценкой минерального вещества, кроме макроуровня, на микро- и наноуровне с учетом структурной организации дискретности, эволюции (онтогенез, сингенез и филогенез) во взаимодействии с живым веществом [Юшкин, 2002].

В настоящее время уделяется большое внимание направленному изменению технологических свойств минералов, горных пород и руд, что позволяет в некоторых случаях существенно модифицировать схемы извлечения полезных ископаемых за счет улучшения физико-химических характеристик сырья при различных нетрадиционных способах переработки [Проблемы..., 1985; Осташенко, 1998; Направленное..., 2003; Лыгина, 2007; Пирогов, 2010; Ожогина, Рогожин, 2010; Раков и др., 2016; Роль..., 2018; Инновационные..., 2020 и др.]. К таким способам можно отнести механоактивацию

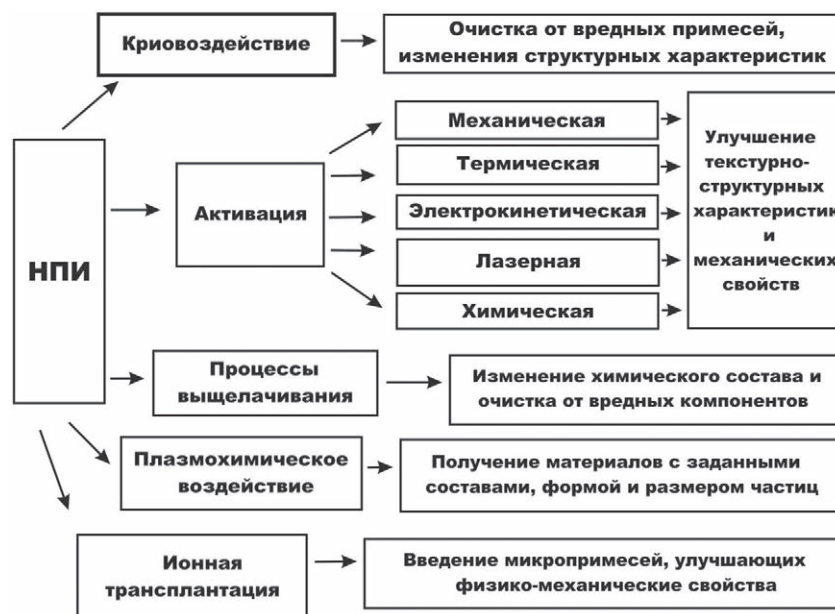


Рис. 4. Перспективные технологии комплексной переработки неметаллических полезных ископаемых

Fig. 4. Promising technologies for complex processing of non-metallic minerals

и модификацию в энергонапряженном режиме, электрохимическую активацию, пульсационное, лазерное обогащение, криовоздействие и др. На рис. 4 показаны перспективные технологии комплексной переработки неметаллических полезных ископаемых, включая промышленные минералы. Эта схема разработана Т. З. Лыгиной. В ней сделан акцент на существенные изменения в структуре всех слагающих горную породу минеральных фаз, что приводит к расширению сфер использования минерального сырья [Лыгина, 2007].

Одним из эффективных методов создания дефектного состояния в диспергировании состояния в твердых телах является активационное измельчение [Юсупов и др., 1999; Юсупов, 2010]. В исследованиях по механоактивации используются центробежные мельницы периодического и непрерывного действия, вибрационные мельницы, атриторы и другие механизмы. Стадии механического активирования минералов указаны в табл. 2.

Роль технологической минералогии в решении задач комплексного использования минерального сырья при добыче и переработке

Фактически большинство месторождений твердых полезных ископаемых являются комплексными, содержащими несколько ми-

нералов и химических элементов (основные и попутные). В настоящее время происходит интенсивное развитие направлений технологической минералогии, связанных с задачами комплексных исследований минерального сырья на различных стадиях: а) оценка месторождения, б) добыча полезных ископаемых, в) использование отходов производства (вскрышные породы, отходы в хвостохранилищах). Комплексное использование месторождений в процессе их разработки имеет наибольшее распространение на горнодобывающих предприятиях черной и цветной металлургии. При этом, надо отметить, ценность сопутствующих полезных компонентов иногда превышает ценность основных.

Развитие минералого-технологических исследований стимулирует рациональное недропользование. Уровень современных технологических предложений позволяет эффективно перерабатывать руды с достаточно низким содержанием отдельных компонентов. Во всех случаях требуется максимально взвешенное и обоснованное технико-экономическими расчетами решение. Проектные разработки должны учитывать технологическую возможность и эффективность извлечения попутного полезного компонента с учетом экономики и экологии [Комплексное..., 1990; Дудкин, 1996; Сидоренко, 1996; Проблемы..., 1998; Цукерман, Николаев, 1999; Левченко, 2004; Современные...,

Таблица 2. Стадии механического активирования минералов [Юсупов, 2010]

Table 2. Stages of mechanical activation of minerals [Yusupov, 2010]

Стадии и величина удельной поверхности (S) Stages and specific surface area (S)	Характерные дефекты и структурные изменения. Степень аморфизации (X) Characteristic defects and structural changes. Degree of amorphization (X)	Процессы, в которых могут использоваться эффекты активации Processes in which activation effects can be used	Типы руд, к которым перспективно применение мех. активирования. Ориентировочный расход эл. энергии (N), кВт·ч/т Types of ores to which the use of mech. activation is promising. Approximate consumption of electric energy (N), kWh/t
I стадия S до 1–2 м ² /г Stage I S up to 1–2 m ² /g	Электронные и атомные дефекты. Дислокации всех видов. X до 3–5 Electronic and atomic defects. Dislocations of all types. X up to 3–5	Флотация. Магнитная сепарация. Другие методы, основанные на поверхностных свойствах Flotation. Magnetic separation. Other methods based on surface properties	Кварц-полевошпатовые, касситеритовые, фосфатные, сподуменовые, шеелитовые, магнетитовые руды. N до 10 Quartz-feldspar, cassiterite, phosphate, spodumene, scheelite, magnetite ores. N up to 10
II стадия S до 10–15 м ² /г Stage II S up to 10–15 m ² /g	Дефекты I стадии. Уменьшение размеров кристаллитов и наведение микроискажений. X до 25 % (реже более) Stage I defects. Reducing the size of crystallites and inducing micro-distortions. X up to 25 % (more – less common)	Химическое и термохимическое обогащение. Бактериальное и автоклавное выщелачивание. Другие гидрохимические процессы Chemical and thermochemical enrichment. Bacterial and autoclave leaching. Other hydrochemical processes	Бокситы и каолиновые руды шеелитовые, вольфрамитовые, хромитовые, титано-магнетитовые. Сульфиды и сульфаты. Фосфаты. Руды редкоземельных элементов. N > 1000 Bauxite and kaolinite ores are scheelite, wolframite, chromite, titanium-magnetite. Sulfides and sulfates. Phosphates. Ores of rare earth elements. N > 1000
III стадия S – переменная величина ввиду агрегации зерен Stage III S is a variable value due to grain aggregation	Дефекты I и II стадии. Распространение и нарастание микроискажений на основную часть объема. Превращение преобладающей части вещества в рентгеноаморфное состояние Defects of the I and II stages. The spread and increase of micro-distortions per the main part of the volume. Transformation of the predominant part of the substance into an X-ray amorphous state	Вскрытие и фазовые превращения минеральных веществ перед гидрометаллургическими процессами Opening and phase transformations of mineral substances before hydrometallurgical processes	Сподуменовые, лепидолитовые, пирохлоровые, касситеритовые концентраты руды. N > 1000 Spodumene, lepidolite, pyrochlore, cassiterite ore concentrates. N > 1000

2005, 2012; Дорошенко, Башлыкова, 2007; Лыгина, 2007; Калинин и др., 2008; Лыгина, Корнилов, 2010; Ожогина, Рогожин, 2010; Турсебеков и др., 2014; Технологические..., 2015; Роль..., 2018; Горбатова и др., 2020; Инновационные..., 2020] и другие.

В качестве примера можно указать, что сотрудники ВИМСа получили ценную информацию по редкометалльным рудам Чуктуконского, Томторского месторождений и Алгаминского рудопоявления благодаря исследованиям в области технологической минералогии. Ими выявлены особенности состава и строения руд, разработаны технологии комплексной переработки вышеназванных объектов.

Отходы горнообогатительной и металлургической промышленности, накопленные на Южном Урале [Горбатова, Емельяненко, 2019], могут эффективно использоваться на горных предприятиях при создании искусствен-

ных массивов разного техногенного генезиса. На основе системного анализа проведено комплексное сравнение и осуществлен выбор оптимальных альтернатив, эффективно реализуемых в единой геолого-техногенной системе (ЕГТС) [Горбатова и др., 2020]. Данная система весьма актуальна при управлении горнопромышленными отходами. Единая геолого-техногенная многоуровневая система иерархической структуры показана на рис. 5. Она имеет четыре уровня иерархии: отрасль промышленности → производство → технологический процесс → агрегаты.

Другой пример охватывает Карельский регион и связан с Тикшеозерско-Елетьозерским магматическим комплексом. Он трактуется нами как два пространственно разобщенных массива, генетически связанные с одним мантийным источником. Возрастные данные приводятся на рис. 6 и 7. Комплекс входит в состав

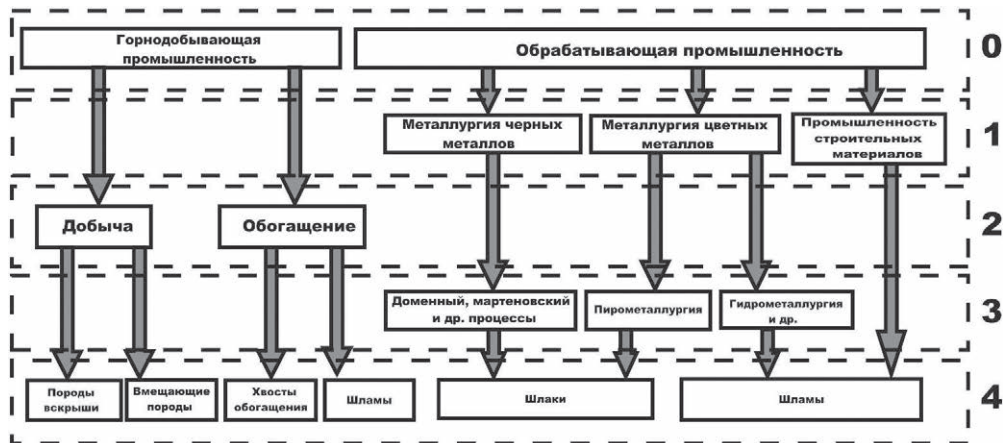


Рис. 5. Иерархическая структура единой геолого-технологической системы (ЕГТС):
 1 – Уровень отрасли промышленности; 2 – Уровень производства; 3 – Уровень технологического процесса; 4 – Уровень агрегатов

Fig. 5. Hierarchical structure of the Unified geological and technological system (EGTS):
 1 – Industry level; 2 – Production level; 3 – Technological process level; 4 – Level of aggregates

палеопротерозойской ятулийско-людиковийской крупной изверженной провинции в восточной части Фенноскандинавского щита. Этот комплекс является одним из древнейших подобных интрузивов с двухстадийным воздействием мантийного плюма [Shchiptsov, 2013; Sharkov et al., 2019 и другие]. Тикшеозерский массив образован преимущественно клинопироксенитами при существенной роли карбонатов и фойдолитов площадью 24 км², а Еletzозерский массив – сиенит-габбровыми породами на площади около 100 км².

В отличие от большинства ультрамафит-щелочно-карбонатитовых комплексов, имеющих штокообразное или концентрически-зональное строение, Тикшеозерский интрузив представляет лополит, интродированный крупным карбонатитовым телом (рис. 8). В целом ситуация напоминает взаимоотношения между ферро-

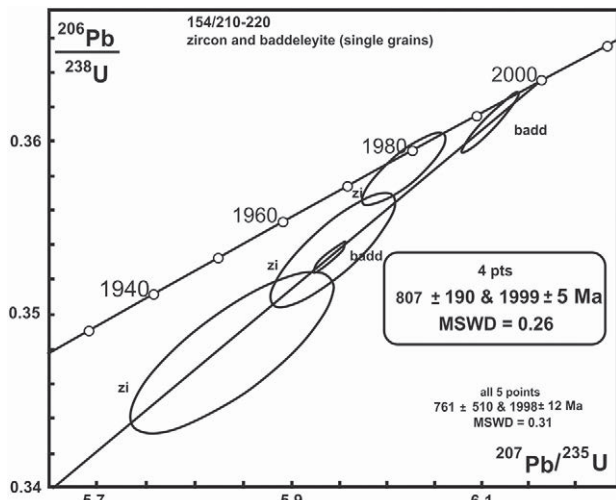


Рис. 6. Диаграмма конкордии с возрастными данными по U-Pb методу для карбонатита Тикшеозеро [Corfu et al., 2011]

Fig. 6. Concordia diagram with U-Pb data for the Tikshezero carbonatite [Corfu et al., 2011]

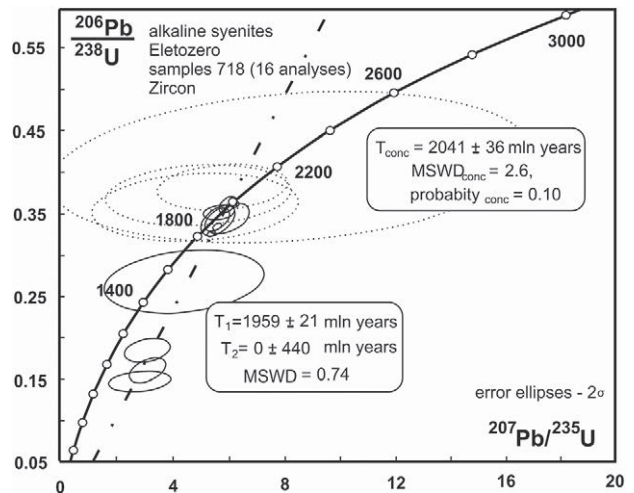


Рис. 7. Диаграмма конкордии циркона из сиенитов Ti-несущего Еletzозерского слоистого комплекса (16 анализов). Пунктирные эллипсы соответствуют измерениям изотопного состава циркона во время первого аналитического сеанса, сплошные эллипсы показывают результаты измерений второго сеанса [Sharkov et al., 2015]

Fig. 7. Concordia diagram for zircon from syenites of the Ti-bearing Eletozero layered complex (16 analyses). Dashed ellipses correspond to the measurements of zircon isotope composition during the first analytical session, solid ellipses show the measurement results of the second session [Sharkov et al., 2015]

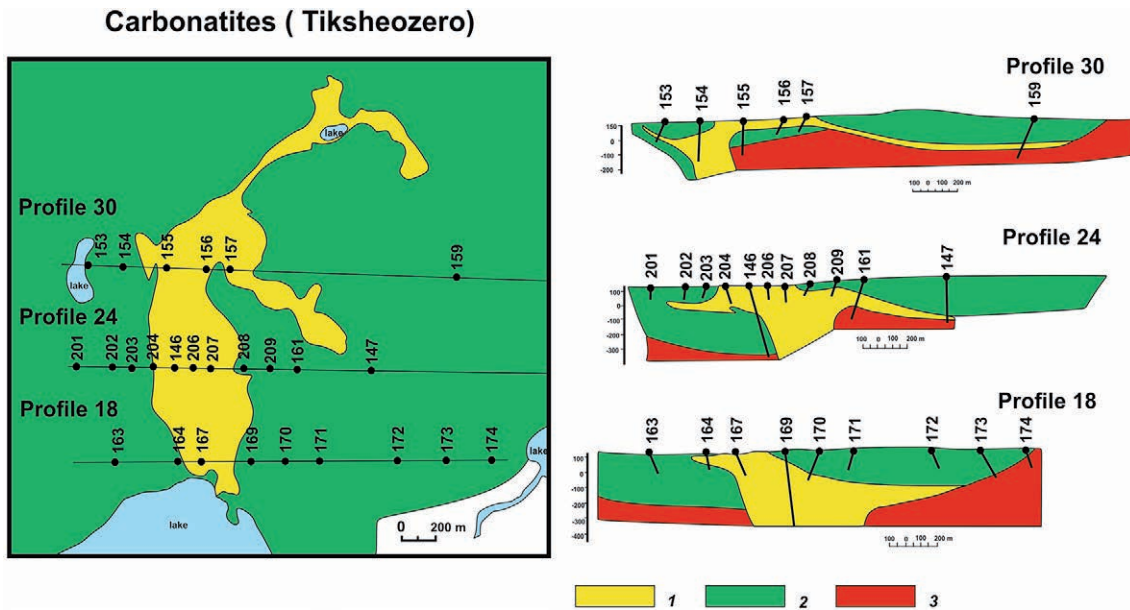


Рис. 8. Карбонатиты и ультрабазит-базиты (три профиля – 30, 24, 18):

1 – карбонатиты; 2 – ультрабазиты и базиты; 3 – гранодиориты. Отверстия для сверления и их номера по профилям отмечены черными кружками

Fig. 8. Carbonatites and ultrabasite-basites (three profiles – 30, 24, 18):

1 – carbonatites; 2 – ultrabasites and basites; 3 – granodiorites. Drilling holes and their numbers by profiles are marked with black circles

габброидами и сиенитами в сиенит-габбровых комплексах Елетьозерского массива.

Крупные месторождения второй фазы Тикшеозерско-Елетьозерского комплекса представлены промышленными минералами, имеющими практическое значение, такими как полевой шпат, нефелин, апатит, кальцит. Они представляют собой потенциальную базу для добычи и использования в различных областях народного хозяйства. В этом отношении их перспективы подкрепляются Постановлением о вхождении северных районов Республики Карелия в Арктическую зону.

Развитие системы геолого-технологического моделирования при картировании месторождений полезных ископаемых различных генетических типов

Геолого-технологическое (минералого-технологическое) картирование рассматривается как заключительный этап изучения месторождения. В основу такого картирования положен многолетний опыт по оценке руд разных генетических типов месторождений крупных ГОКов и обобщения материалов многих работ по данной проблеме. Помимо этого, в настоящее время используются современные подходы и методы компьютерного, в частности блочно-го, моделирования в практику геолого-техно-

логического картирования при эффективном планировании добычи. Опыт геолого-технологического моделирования в ходе опробования и картирования рудных месторождений изложен в ряде публикаций [Петров и др., 2010; Козлова, Рябцев, 2017; Мальцев, 2019; Мишулович, Петров, 2019 и др.]. В основе всех методов построения блочных моделей лежит привязка показателей изменчивости к фактическим данным опробования с использованием известных алгоритмов интерполяции для заполнения «межскважинного» пространства прогнозными значениями. Важное место занимает крикинг («kriging interpolation», или так называемый метод Wiener – Kolmogorov prediction). Способы подхода показаны в табл. 3 [Мальцев, 2019].

Построение блочной геолого-технологической модели месторождения полезных ископаемых относится к наиболее перспективному инструменту прогнозирования технологических и экономических показателей работы горнодобывающих предприятий. Важно отметить, что сегодня заложены методологические основы прогнозирования технологических и экономических показателей, которые определяются горнодобывающими предприятиями. Таким образом осуществляется трансформация геологической базы данных в геолого-технологическую, а на основе последней создается геолого-технологическая модель.

Таблица 3. Способы моделирования изменчивости технологических показателей

Table 3. Methods for modeling the variability of technological indicators

Способ подхода Approach method	Достоверность Reliability	Затратность Cost-effectiveness	Экспрессность Expressness
Прямой Straight	Высокая High	Высокая High	Низкая Low
Косвенный вещественный Indirect real	Средняя Average	Средняя Average	Средняя Average
Косвенный типизированный Indirect typed	Низкая Low	Низкая Low	Высокая High

Технологическая минералогия завтра

Задачи технологической минералогии в XXI веке определяются объективной необходимостью совершенствовать технологические процессы, разрабатывать и научно обосновывать новые технологические подходы и технические решения в связи с вовлечением в промышленную сферу совершенно новых металлов и химических элементов, минерального сырья техногенного происхождения. Значительно повышается и усиливается внимание к комплексному использованию минерального сырья.

Современные стратегии освоения отдельных месторождений должны предусматривать возможность предотвращения и компенсации негативных воздействий внешней среды, а также быстро реагировать на благоприятные экономические ситуации.

Основной принцип предусматривает освоение месторождений в том виде, в каком их создала природа. Георесурсы надо довести до состояния, наиболее приемлемого для извлечения с использованием современных технологий.

Новый принцип, способствующий инновациям, заложен в основу семантического понятия «доступность». Доступность минерально-сырьевых ресурсов – это свойство системы «общество – минеральные ресурсы», характеризующее возможность их эффективного и безопасного использования в зависимости от состояния ресурсов, потребности в них и достигнутого технологического уровня.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР 210 ИГ КарНЦ РАН 121040600173–1.

Литература

Большенко В. В. Эколого-экономическая оценка использования техногенных месторождений: на примере Восточного Донбасса: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Ростов-на-Дону, 2006. 24 с.

Борискин В. П., Сидоренко Г. А. Достижения и направления развития технологической минералогии в ВИМСе // Мин. сырье (вопросы фундаментальной и прикладной минералогии). № 1. М.: ВИМС, 1997. С. 181–190.

Вернадский В. И. Избранные сочинения. М.: АН СССР, 1954. Кн. 1. 700 с.

Гинзбург А. И. О минералах – геохимических индикаторах и их значении при поисках руд редких металлов в пегматитах // ДАН СССР. 1954. Т. 98, № 2. С. 233–235.

Гинзбург А. И., Александрова И. Т. Технологическая минералогия – новое направление минералогических исследований // Разведка и охрана недр. 1974. № 3. С. 36–40.

Гинзбург А. И., Кузьмин В. И., Сидоренко Г. А. Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. М.: Недр, 1981. 237 с.

Горбатова Е. Н. Минералого-технологическая оценка отходов обогащения колчеданных руд Южного Урала: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2013. 44 с.

Горбатова Е. А., Емельяненко Е. А. Новый концептуальный подход к управлению горнопромышленными отходами // Вестник геонаук. 2019. № 6. С. 46–52.

Горбатова Е. А., Пирогов Б. И., Раков Л. Т., Колкова М. С. Особенности оценки магнитных свойств титаномагнетитов вкрапленных руд Медведевского месторождения // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения – 2019). Иркутск: Репроцентр А1, 2019. С. 64–67.

Горбатова Е. А., Емельяненко Е. А., Зарецкий М. В. Системный анализ в управлении горнопромышленными отходами с позиции минералогии // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2020). Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2020. С. 268–269.

Дорошенко М. В., Башлыкова Т. В. Технологические свойства минералов: справочник для технологов. М.: Теплоэнергетик, 2007. 296 с.

Дудкин О. Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. 134 с.

Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. 532 с.

Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксин-

ские чтения – 2013) / Отв. ред. В. А. Чантурия. Томск, 2013. 535 с.

Инновационные процессы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2020) / Науч. ред. В. А. Чантурия, Д. В. Макаров, Т. Н. Матвеева. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2020. 367 с.

К 100-летию «Механобра»: Андреев С. Н. Горный институт и Механобр (статья из «Юбилейного сборника. 1773–1923» Ленинградского горного института. Л., 1926 // Обогащение руд. 2016. № 3. С. 63–64.

Калинин Ю. К., Калинин А. И., Скоробогатов Г. А. Шунгиты Карелии – для новых стройматериалов, в химическом синтезе, газоочистке, водоподготовке и медицине. СПб.: УНЦХ СПбГУ, ВВМ, 2008. 219 с.

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.

Козлова М. А., Рябцев Д. А. Современный подход к геолого-технологическому картированию рудных месторождений // Горные науки и технологии. 2017. № 1. С. 23–30.

Колкова М. С. Минералого-технологические особенности железо-титановых руд Медведевского месторождения: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2020. 25 с.

Комплексное освоение минеральных ресурсов севера и северо-запада СССР (европейская часть): Матер. всесоюз. совещ. 1–4 июня 1989 г. / Отв. ред. В. А. Чантурия. Петрозаводск, 1990. 232 с.

Конев Р. И. Наноминералогия золота. СПб.: Delta, 2006. 220 с.

Котова О. Б. Кристаллохимические и кристаллофизические процессы в приповерхностной области тонкодисперсных минеральных систем: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. СПб.: РИЦ СПГГИ, 2000. 46 с.

Котова О. Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с.

Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Требования к минералогическим исследованиям при оценке качества полезных ископаемых // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012) / Ред. В. А. Чантурия, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 21–24.

Кушпаренко Ю. С. Технологическая минералогия – основной метод технологической оценки потенциальных полезных ископаемых на ранних стадиях геологического изучения недр // Развитие идей И. Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии (Плаксинские чтения – 2000) / Отв. ред. В. А. Чантурия. М., 2000. С. 8–9.

Левченко Е. Н. Влияние вещественного состава на технологические свойства титан-циркониевых россыпей // Разведка и охрана недр. 2004. № 11. С. 42–47.

Левченко Е. Н. Научно-методическое обоснование минералого-технологической оценки редкоче-

тально-титановых россыпей: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2011. 49 с.

Лихникевич Е. Г., Ожогина Е. Г., Фатов А. С. Минералогическое обоснование необходимости применения гидро-пиро-металлургического передела при переработке редкометаллического сырья // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения – 2019). Иркутск: Репроцентр А1, 2019. С. 51–54.

Лихникевич Е. Г. Опережающие минералогические исследования руд редких металлов – основа для прогнозирования технологических свойств и выбора оптимальных технологических решений: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2021. 49 с.

Лыгина Т. З. Методические основы комплексной оценки состава и свойств неметаллических полезных ископаемых: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М.: ВИМС, 2001. 50 с.

Лыгина Т. З. Комплексная переработка неметаллических полезных ископаемых как основа инновационных проектов // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 28–34.

Лыгина Т. З., Корнилов А. В. Минералого-технологическая оценка нерудного сырья: прогноз обогатимости и качества готовой продукции // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 31–36.

Мальцев Е. Н. Полезный опыт геолого-технологического моделирования в ходе технологического опробования и картирования рудных месторождений // Золотодобыча. Геология, горное дело, обогащение, металлургия, консалтинг. 2019. URL: <https://zolotodb.ru/article/12213/?page=all> (дата обращения: 01.08.2021).

Мишулович П. М., Петров С. В. Методологические аспекты создания геолого-технологических моделей месторождений полезных ископаемых // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2019. Т. 64, вып. 2. С. 249–265.

Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых (Плаксинские чтения – 2003) / Отв. ред. В. А. Чантурия. М.: Альтекс, 2003. 145 с.

Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов / Отв. ред. В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 187 с.

Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2011) / Отв. ред. В. А. Чантурия. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2011. 580 с.

Ожогина Е. Г. Технологическая минералогия труднообогатимых марганцевых руд России: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2002. 49 с.

Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Технологическая минералогия в решении проблем комплексного освоения полезных ископаемых // Результаты фундамен-

тальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 17–21.

Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Основные направления минералогических исследований руд при создании технологий их комплексной переработки // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 27–31.

Ожогина Е. Г., Пирогов Б. И., Горбатова Е. А. Минералого-технологическая оценка труднообогатимого рудного сырья (на примере железных руд и отходов обогащения) // Горный журнал. 2019. № 4. С. 59–64.

Остащенко Б. А. Направленное изменение технологических свойств минералов: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 1998. 43 с.

Парамонов И. В., Коробочкин Н. П. Николай Михайлович Федоровский (1886–1956). М.: Наука, 1979. 166 с.

Петров С. В., Мишулович П. М., Смоленский В. В. Принципы создания блочной геолого-технологической модели месторождения // Обогащение руд. 2010. № 6. С. 34–38.

Пирогов Б. И. Роль минералогических исследований в обогащении руд // Минералогический журнал. 1982. № 1. С. 81–92.

Пирогов Б. И., Поротов Г. С., Холошин И. В., Тарасенко В. Н. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. 304 с.

Пирогов Б. И., Тарасенко В. Н., Холошин И. В. Принципы и методы геолого-технологического картирования месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие. Киев: УМК ВО Минвуза УССР, 1989. 64 с.

Пирогов Б. И. Методология технологической минералогии и природа технологических свойств минералов // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 7–17.

Пирогов Б. И. Современные проблемы технологической минералогии // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 7–23.

Пирогов Б. И. История становления и развития технологической минералогии // Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 7–37.

Пирогов Б. И., Щипцов В. В. История комиссии по технологической минералогии РМО (ВМО) с прологом // Зап. РМО. 2016. Ч. 1, вып. 7. С. 84–103.

Полова Э. М. Методы обоснования инновационных направлений развития угольных компаний: на примере Восточного Донбасса: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Ростов-на-Дону, 2012. 24 с.

Применение технологической минералогии для повышения эффективности использования минерального сырья // Сб. науч. трудов. М.: МинГео СССР, ВИМС, 1987. 146 с.

Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения – 2019) / Науч. ред. В. А. Чантурия. Иркутск: Репроцентр А1, 2019. 467 с.

Проблемы комплексной переработки минерального сырья и охраны окружающей среды (Плаксинские чтения – 1998). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998.

Проблемы направленного изменения технологических и технических свойств минералов / Отв. ред. В. И. Ревнивцев. Л.: Механообр, 1985. 136 с.

Развитие идей И. Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии (Плаксинские чтения – 2000) / Отв. ред. В. А. Чантурия. М., 2000. 272 с.

Раков Л. Т., Дубинчук В. Т., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Подвижные примеси в кварце Карело-Кольского региона // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 10. С. 100–118. doi: 10.17076/geo377

Раков Л. Т., Скамницкая Л. С., Дубинчук В. Т., Ружицкий В. В. Технологические свойства кварца Карело-Кольского региона // Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 96–104.

Ревнивцев В. И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // Зап. ВМО. 1982. Вып. 4. С. 4–20.

Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии / Отв. ред. В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 164 с.

Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании: Матер. рос. совещ. с международ. участием. М.: ВИМС, 2018. 234 с.

Севергин В. М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. Кн. 1–2. СПб.: при Императорской Академии Наук, 1798. 800 с.

Сидоренко Г. А. Современный фазовый анализ как средство оценки качества и обоснования путей технологической переработки минерального сырья // Обогащение руд. 1996. № 1. С. 32–35.

Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2007) / Отв. ред. В. А. Чантурия. Апатиты: КНЦ РАН, 2007. Ч. 1. 228 с.

Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их переработки (Плаксинские чтения – 2004) / Отв. ред. В. А. Чантурия. М.: Альтекс, 2004. 232 с.

Современные методы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012) / Под общ. ред. В. А. Чантурия и В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 397 с.

Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерально-

го сырья (Плаксинские чтения – 2005) / Отв. ред. В. А. Чантурия. СПб.: Роза Мира, 2005. 423 с.

Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017) / Отв. ред. В. А. Чантурия, А. П. Козлов, Т. В. Чекушина. Красноярск: СФУ, 2017. 452 с.

Технологическая минералогия главнейших промышленных типов месторождений / Отв. ред. В. И. Ревнивцев. Л.: Наука, 1987. 200 с.

Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы / Отв. ред. В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 192 с.

Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны / Ред. Т. В. Башлыкова, Ю. С. Карабасов. М.: МИСиС, 2005. 576 с.

Турсебеков А. Х., Шарипов Х. Т., Василевский Б. Б., Исоков У. М. Технологическая минералогия металлоносных горючих сланцев палеогена Узбекистана // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 93–103.

Ушакова Н. Н., Фигуровский Н. А. Василий Михайлович Севергин (1765–1826). М.: Наука, 1981. (Научные биографии). 160 с.

Федоровский Н. М. Наши достижения в области прикладной минералогии. М.-Л.: Гл. ред. геол.-развед. и геодез. лит., 1935. 160 с.

Фундаментальные и прикладные аспекты технологической минералогии / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 118 с.

Цукерман В. А., Николаев А. И. Инновационная политика комплексной переработки промышленных минералов Кольского полуострова // Месторождения промышленных минералов Фенноскандии: Матер. междунар. конф. Петрозаводск, 1999. С. 125–126.

Чантурия Е. Л., Башлыкова Т. В. Перспективы использования технологической минералогии для определения рациональной глубины дезинтеграции и обогащения труднообогатимых руд // Развитие идей И. Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии (Плаксинские чтения – 2000) / Отв. ред. В. А. Чантурия. М., 2000. С. 10–11.

Холоднов В. В., Бочарникова Т. Д., Шагалов Е. С. Состав, возраст и генезис магнетит-ильменитовых руд среднерифейского стратифицированного Медведевского массива (Кусинско-Копанский комплекс Южного Урала) // Литосфера. 2012. № 5. С. 145–165.

Щипцов В. В. Геолого-минералогические основы технологической оценки промышленных минералов Карелии: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. СПб.: РИЦ СПГГИ, 2000. 46 с.

Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Светова Е. Н., Сканницкая Л. С. Кварцевое сырье Карело-Кольского региона: основные итоги исследований // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 10. С. 5–25. doi: 10.17076/geo1231

Щипцов В. В., Светова Е. Н. Комиссия по технологической минералогии Российского минералогического общества // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 6. С. 117–121.

Юсупов Т. С. Технологическая минералогия // Горные науки, освоение и сохранение недр земли. М.: Академия горных наук, 1997. С. 392–411.

Юсупов Т. С., Шумская Л. Г., Болдырев В. В. Механохимическое взаимодействие природных цеолитов с фосфатами кальция // ДАН. 1999. Т. 364, № 4. С. 508–511.

Юсупов Т. С. Новые технологические решения переработки и использования минерального сырья на основе изменения структуры и свойств минералов // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы / Под ред. В. В. Щипцова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 23–27.

Юшкин Н. П. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Новые идеи и концепции в минералогии: Матер. III Междунар. семинара. Сыктывкар, 2002. С. 8–9.

Юшкин Н. П., Ракин В. И. Микро- и нанодисперсные структуры минерального вещества. Сыктывкар: Геопринт, 1999. 216 с.

Якушина О. А. Методика и технология изучения природного и техногенного минерального сырья методом рентгеновской томографии: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2012. 45 с.

Corfu F., Bayanova T., Shchiptsov V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshozero carbonatite: expression of the 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // Cent. Eur. J. Geosci. 2011. No. 3. P. 302–308.

Geologic-technological assessment of ore minerals, samples and deposits. Leningrad: Mekhanobr, 1990. 152 p.

Kovalevski V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential // ICAM-2019 / S. Glagolev (ed.). Switzerland: SPEES, 2019. P. 202–204.

Sharkov E. V., Belyatsky B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepikhina E. N. Genesis and 879 Age of zircon from alkali and mafic rocks of the Elet'ozero Complex, North Karelia // Petrology. 2015. No. 23. P. 259–280.

Sharkov E. V., Chistyakov A. V., Bogina M. M., Bogatikov O. A., Shchiptsov V. V., Belyatsky B. V., Frolov P. V. Ultramafic – alkaline – carbonatite complexes as a result of two-stage melting of a mantle plume: Evidence from the Mid-Paleoproterozoic Tikshezero Intrusion, Northern Karelia, Russia // Doklady Earth Sciences. 2019. P. 638–643.

Shchiptsov V. V. Industrial minerals of the Tikshezero-Eletozero alkaline ultramafic-carbonatitic and alkaline gabbroic complexes in Karelia, Russia // Mineral deposit research for a high-tech world, Proceed. 12th SGA Meeting, Uppsala, Sweden. 2013. No. 4. P. 1781–1789.

Shchiptsov V. V. Technological mineralogy: from Academician V. M. Severgin to the present day // Вестник геонаук. 2021. № 4. С. 20–24.

Поступила в редакцию 08.08.2021

References

- Bol'shenko V. V.* Ekologo-ekonomicheskaya otsenka ispol'zovaniya tekhnogennykh mestorozhdenii: na primere Vostochnogo Donbassa [Ecological and economic assessment of the use of technogenic deposits: On the example of the Eastern Donbass]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Rostov-on-Don, 2006. 24 p.
- Boriskin V. P., Sidorenko G. A.* Dostizheniya i napravleniya razvitiya tekhnologicheskoi mineralogii v VIMSe [Achievements and directions of development of technological mineralogy in VIMS]. *Min. syr'e (voprosy fund. i priklad. mineralogii)* [Min. raw materials (questions of fund. and appl. mineralogy)]. No. 1. Moscow: VIMS, 1997. P. 181–190.
- Chanturia E. L., Bashlykova T. V.* Perspektivy ispol'zovaniya tekhnologicheskoi mineralogii dlya opredeleniya ratsional'noi glubiny dezintegratsii i obogashcheniya trudnoobogatimyykh rud [Prospects of using technological mineralogy to determine the rational depth of disintegration and enrichment of hard-to-enrich ores]. *Razvitie idei I. N. Plaksina v oblasti obogashcheniya poleznykh iskopaemykh i gidrometallurgii (Plaksinskie chteniya – 2000)* [Development of I. N. Plaksin's ideas in the field of mineral processing and hydrometallurgy (The Plaksin readings – 2000)]. Ed. V. A. Chanturia. Moscow, 2000. P. 10–11.
- Doroshenko M. V., Bashlykova T. V.* Tekhnologicheskie svoystva mineralov: spravochnik dlya technologov [Technological properties of minerals: a reference book for technologists]. Moscow: Teploenergetik, 2007. 296 p.
- Dudkin O. B.* Tekhnologicheskaya mineralogiya kompleksnogo syr'ya na primere mestorozhdenii shchelochnykh plutonov [Technological mineralogy of complex raw materials on the example of deposits of alkaline plutons]. Apatity: KSC RAS, 1996. 134 p.
- Fedorovskii N. M.* Nashi dostizheniya v oblasti prykladnoi mineralogii [Our achievements in the field of applied mineralogy]. Moscow-Leningrad, 1935. 160 p.
- Fundamental'nye i prikladnye aspekty tekhnologicheskoi mineralogii* [Fundamental and applied aspects of technological mineralogy]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2018. 118 p.
- Ginzburg A. I.* O mineralakh – geokhimicheskikh indikatorakh i ikh znachenii pri poiskakh rud redkikh metallov v pegmatitakh [On minerals – geochemical indicators and their significance in the search for rare metal ores in pegmatites]. *DAN SSSR [Dokl. Acad. Sci. USSR]*. 1954. Vol. 98, no. 2. P. 233–235.
- Ginzburg A. I., Alexandrova I. T.* Tekhnologicheskaya mineralogiya – novoe napravlenie mineralogicheskikh issledovaniy [Technological mineralogy – a new direction of mineralogical research]. *Razvedka i okhrana nedr [Exploration and Conservation of Mineral Resources]*. 1974. No. 3. P. 36–40.
- Ginzburg A. I., Kuzmin V. I., Sidorenko G. A.* Mineralogicheskie issledovaniya v praktike geologorazvedochnyykh rabot [Mineralogical research in the practice of geological exploration]. Moscow: Nedra, 1981. 237 p.
- Gorbatova E. N.* Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka otkhodov obogashcheniya kolchedannykh rud Yuzhnogo Urala [Mineralogical and technological assessment of the wastes from the enrichment of pyrite ores of the Southern Urals]: Summary of DSC (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow, 2013. 44 p.
- Gorbatova E. A., Emel'yanenko E. A.* Novyi kontseptual'nyi podkhod k upravleniyu gornopromyshlennymi otkhodami [A new conceptual approach to the management of mining waste]. *Vestnik geonauk [Bull. Geosciences]*. 2019. No. 6. P. 46–52.
- Gorbatova E. A., Pirogov B. I., Rakov L. T., Kolkova M. S.* Osobennosti otsenki magnitnykh svoystv titanomagnetitov vkraplennykh rud Medvedevskogo mestorozhdeniya [Features of the assessment of the magnetic properties of titanomagnetites disseminated ores of the Medvedevskoye deposit]. *Problemy i perspektivy effektivnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya v 21 veke (Plaksinskie chteniya – 2019)* [Issues and prospects of effective processing of mineral raw materials in the 21st century (The Plaksin readings – 2019)]. Irkutsk: Reprintsentr A1, 2019. P. 64–67.
- Gorbatova E. A., Emel'yanenko E. A., Zaretskii M. V.* Sistemnyi analiz v upravlenii gornopromyshlennymi otkhodami s pozitsii mineralogii [System analysis in the management of mining and industrial waste from the standpoint of mineralogy]. *Sovr. probl. teor., eksperiment. i priklad. mineralogii (Yushkinskie chteniya – 2020)* [Modern probl. of theor., experimental and appl. mineralogy (The Yushkinsky readings – 2020)]. Syktyvkar: IG KomiNTs UrO RAN, 2020. P. 268–269.
- Innovatsionnye protsessy kompleksnoi i glubokoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2013)* [Innovative processes of complex and deep processing of mineral raw materials (The Plaksin readings – 2013)]. Ed. V. A. Chanturia. Tomsk, 2013. 535 p.
- Innovatsionnye protsessy kompleksnoi pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2020)* [Innovative processes of complex processing of natural and technogenic mineral raw materials (The Plaksin readings – 2020)]. Eds. V. A. Chanturia, D. V. Makarov, T. N. Matveeva. Apatity: KSC RAS, 2020. 367 p.
- Izoitko V. M.* Tekhnologicheskaya mineralogiya i otsenka rud [Technological mineralogy and ore evaluation]. St. Petersburg: Nauka, 1997. 532 p.
- K 100-letiyu "Mekhanobra": Andreev S. N.* Gornyi institut i Mekhanobr (stat'ya iz "Yubileinogo sbornika. 1773–1923" Leningradskogo gornogo instituta. L., 1926 [To the 100th anniversary of "Mechanobr": Andreev S. N. Mining Institute and Mechanobr (from the Anniversary proceed. 1773–1923. Leningrad Mining Institute. Leningrad, 1926)]. *Obogashchenie rud [Ore Enrichment]*. 2016. No. 3. P. 63–64.
- Kalinin Yu. K., Kalinin A. I., Skorobogatov G. A.* Shungity Karelii – dlya novyykh stroimaterialov, v khimicheskoy sinteze, gazoochistke, vodopodgotovke i meditsine [Shungite of Karelia – for new building materials, in chemical synthesis, gas treatment, water treatment and medicine]. St. Petersburg: UNTSKh SPbGU, VVM, 2008. 219 p.
- Kalinin Yu. K., Kovalevsky V. V.* Shungitovye porody – 50 let nauchno-tekhnologicheskikh issledovaniy v Institute geologii [Shungite rocks – 50 years of scientific and technological research at the Institute of Geology].

Geol. Karelii ot arkheya do nashikh dnei [Geol. of Karelia from the Archean to the present day]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 172–179.

Kolkova M. S. Mineralogo-tehnologicheskie osobennosti zhelezo-titanovykh rud Medvedevskogo mestorozhdeniya [Mineralogical and technological features of iron-titanium ores of the Medvedevsky deposit]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Novosibirsk: IGM SB RAS, 2020. 25 p.

Kompleksnoe osvoenie mineral'nykh resursov severa i severo-zapada SSSR (evropeiskaya chast'): Mater. vsesoyuz. soveshch. 1–4 iyunya 1989 g. [Complex development of mineral resources of the North and North-West of the USSR (European part): Materials of the All-Union. meeting. June 1–4, 1989]. Ed. V. A. Chanturia. Petrozavodsk, 1990. 232 p.

Koneev R. I. Nanomineralogiya zolota [Nanomineralogy of gold]. St. Petersburg: Delta, 2006. 220 p.

Kotova O. B. Kristallokhimicheskie i kristallofizicheskie protsessy v pripoverkhnostnoi oblasti tonkodispersnykh mineral'nykh system [Crystal-chemical and crystal-physical processes in the near-surface region of finely dispersed mineral systems]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. St. Petersburg: RIC SPGGI, 2000. 46 p.

Kotova O. B. Poverkhnostnye protsessy v tonkodispersnykh mineral'nykh systemakh [Surface processes in finely dispersed mineral systems]. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2004. 194 p.

Kotova O. B., Ozhogina E. G., Rogozhin A. A. Trebovaniya k mineralogicheskimi issledovaniyam pry otsenke kachestva poleznykh iskopaemykh [Requirements for mineralogical research in assessing the quality of minerals]. *Sovr. metody tekhnol. mineralogii v protsessakh kompleksnoi i glubokoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2012)* [Current methods of technological mineralogy in the processes of complex and deep processing of mineral raw materials (The Plaksin readings – 2012)]. Eds. V. A. Chanturia, V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. P. 21–24.

Kozlova M. A., Ryabtsev D. A. Sovremenniy podkhod k geologo-tehnologicheskomu kartirovaniyu rudnykh mestorozhdenii [Modern approach to geological-and-metallurgical mapping of ore deposits]. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2017. No. 1. P. 23–30.

Kushparenko Yu. S. Tekhnologicheskaya mineralogiya – osnovnoi metod tekhnologicheskoi otsenki potentsialnykh poleznykh iskopaemykh na rannikh stadiyakh geologicheskogo izucheniya nedr [Technological mineralogy – the main method of technological assessment of potential deposits at the early stages of geological study of subsoil]. *Razvitie idei I. N. Plaksina v oblasti obogashcheniya poleznykh iskopaemykh i gidrometallurgii (Plaksinskie chteniya – 2000)* [Development of I. N. Plaksin's ideas in the field of mineral processing and hydrometallurgy (The Plaksin readings-2000)]. Ed. V. A. Chanturia. Moscow, 2000. P. 8–9.

Levchenko E. N. Vliyaniye veshchestvennogo sostava na tekhnologicheskie svoystva titan-tsirkonievnykh rossypei [Influence of the material composition on the technological properties of titanium-zirconium placers]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Conservation of Mineral Resources]. 2004. No. 11. P. 42–47.

Levchenko E. N. Nauchno-metodicheskoe obosnovanie mineralogo-tehnologicheskoi otsenki redkometall'no-titanovykh rossypei [Scientific and methodological substantiation of mineral and technological assessment of rare-metal-titanium placers]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow, 2011. 49 p.

Likhnikovich E. G., Ozhogina E. G., Fatov A. S. Mineralogicheskoe obosnovanie neobkhodimosti primeneniya gidro-pyro-metallurgicheskogo peredela pry pererabotke redkometall'nogo syr'ya [Mineralogical substantiation of the need to use hydro-pyro-metallurgical conversion in the processing of rare metal raw materials]. *Problemy i perspektivy effektivnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya v 21 veke (Plaksinskie chteniya – 2019)* [Issues and prospects of effective processing of mineral raw materials in the 21st century (The Plaksin readings – 2019)]. Irkutsk: Reprocenter A1, 2019. P. 51–54.

Likhnikovich E. G. Operezhayushchie mineralogicheskie issledovaniya rud redkikh metallov – osnova dlya prognozirovaniya tekhnologicheskikh svoystv i vybora optimal'nykh tekhnologicheskikh reshenii [Advanced mineralogical studies of rare metal ores – the basis for predicting technological properties and choosing optimal technological solutions]: DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow, 2021. 49 p.

Lygina T. Z. Metodicheskie osnovy kompleksnoi otsenki sostava i svoystv nemetallicheskykh poleznykh iskopaemykh [Methodological foundations of a comprehensive assessment of the composition and properties of non-metallic minerals]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow: VIMS, 2001. 50 p.

Lygina T. Z. Kompleksnaya pererabotka nemetallicheskykh poleznykh iskopaemykh kak osnova innovatsionnykh proektov [Complex processing of non-metallic minerals as the basis of innovative projects]. *Znachenie issled. tekhnol. mineralogii v reshenii zadach kompleksnogo osvoeniya mineral'nogo syr'ya* [The significance of technol. mineralogy research in solving problems of a complex development of mineral raw materials]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 28–34.

Lygina T. Z., Kornilov A. V. Mineralogo-tehnologicheskaya otsenka nerudnogo syr'ya: prognoz obogatimosti i kachestva gotovoi produktsii [Mineral and technological assessment of non-metallic raw materials: forecast of enrichment and quality of finished products]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye materialy* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials and new materials]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 31–36.

Maltsev E. N. Poleznyy opyt geologo-tehnologicheskogo modelirovaniya v khode tekhnologicheskogo oprobovaniya i katrirovaniya rudnykh mestorozhdenii [Useful experience of geological and technological modeling in the course of technological testing and mapping of ore deposits]. *Zolotodobycha. Geol., gornoe delo, obogashchenie, metallurgiya, konsalting* [Gold mining, mining, enrichment, metallurgy, consulting]. 2019. URL: <https://zolotodb.ru/article/12213/?page=all> (accessed: 01.08.2021).

Mishulovich P. M., Petrov S. V. Metodologicheskie aspekty sozdaniya geologo-tehnologicheskikh mode-

lei mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Methodological aspects of creating geological and technological models of mineral deposits]. *Vestnik of St. Petersburg St. Univ. Earth Sci.* 2019. Vol. 64, iss. 2. P. 249–265.

Napravlennoe izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv mineralov v protsessakh obogashcheniya poleznykh iskopaemykh (Plaksinskie chteniya – 2003) [Directed change of physical and chemical properties of minerals in the processes of mineral enrichment (The Plaksin readings – 2003)]. Ed. V. A. Chanturia. Moscow: Altex, 2003. 145 p.

Novye metody tekhnologicheskoi mineralogii pri otsenke rud metallov i promyshlennykh mineralov [New methods of technological mineralogy in the evaluation of metal ores and industrial minerals]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. 187 p.

Novye tekhnologii obogashcheniya i kompleksnoi pererabotki trudnoobogatimogo prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2011) [New technologies of enrichment and complex processing of difficult-to-enrich natural and technogenic mineral raw materials (The Plaksin readings – 2011)]. Ed. V. A. Chanturia. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset, 2011. 580 p.

Ozhogina E. G. Tekhnologicheskaya mineralogiya trudnoobogatimyykh margantsevykh rud Rossii [Technological mineralogy of hard-to-enrich manganese ores of Russia]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow, 2002. 49 p.

Ozhogina E. G., Rogozhin A. A. Osnovnye napravleniya mineralogicheskikh issledovaniy rud pri sozdaniy tekhnologii ikh kompleksnoi pererabotki [The main directions of mineralogical studies of ores when creating technologies for their complex processing]. *Rezultaty fund. i priklad. issled. po razrabotke metodik tekhnol. otsenki rud metallov i promyshlennykh mineralov na rannikh stadiyakh geologorazvedochnykh rabot* [Results of fund. and appl. research on the development of methods for technol. evaluation of metal ores and industrial minerals at the early stages of geological exploration]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk, 2010. P. 27–31.

Ozhogina E. G., Pirogov B. I., Gorbatova E. A. Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka trudnoobogatimogo rudnogo syr'ya (na primere zheleznykh rud i otkhodov obogashcheniya) [Mineralogical and technological assessment of hard-to-enrich ore raw materials (on the example of iron ores and processing waste)]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2019. No. 4. P. 59–64.

Ostashchenko B. A. Napravlennoe izmenenie tekhnologicheskikh svoystv mineralov [Directed change of technological properties of minerals]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Syktyvkar: IG Komi NTs UrO RAN, 1998. 43 p.

Paramonov I. V., Korobochkin N. P. Nikolai Mikhailovich Fedorovsky (1886–1956). Moscow: Nauka, 1979. 166 p.

Petrov S. V., Mishulovich P. M., Smolenskii V. V. Printsipy sozdaniya blochnoi geololo-tekhnologicheskoi modeli mestorozhdeniya [Principles of creating a block geological and technological model of the field]. *Obogashchenie rud* [Ore Enrichment]. No. 6. P. 34–38.

Pirogov B. I. Rol' mineralogicheskikh issledovaniy v obogashchenii rud [The role of mineralogical research

in ore enrichment]. *Mineralogicheskii zhurn.* [Mineralogical J.]. 1982. No. 1. P. 81–92.

Pirogov B. I., Porotov G. S., Kholoshin I. V., Tarasenko V. N. Tekhnologicheskaya mineralogiya zheleznykh rud [Technological mineralogy of iron ores]. Leningrad: Nauka, 1988. 304 p.

Pirogov B. I., Tarasenko V. N., Kholoshin I. V. Printsipy i metody geologo-tekhnologicheskogo kartirovaniya mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Principles and methods of geological and technological mapping of mineral deposits]. Textbook. Kiev: UMK VO Minvuza USSR, 1989. 64 p.

Pirogov B. I. Metodologiya tekhnologicheskoi mineralogii i priroda tekhnologicheskikh svoystv mineralov [Methodology of technological mineralogy and the nature of technological properties of minerals]. *Rezultaty fund. i priklad. issled. po razrabotke metodik tekhnol. otsenki rud metallov i promyshlennykh mineralov na rannikh stadiyakh geologorazvedochnykh rabot* [Results of fund. and appl. research on the development of methods for technol. evaluation of metal ores and industrial minerals at the early stages of geological exploration]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. P. 7–17.

Pirogov B. I. Sovremennyye problemy tekhnologicheskoi mineralogii [Modern problems of technological mineralogy]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye materialy* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials and new materials]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 7–23.

Pirogov B. I. Istoriya stanovleniya i razvitiya tekhnologicheskoi mineralogii [History of formation and development of technological mineralogy]. *Prognoznaya otsenka tekhnol. svoystv poleznykh iskopaemykh metodami priklad. mineralogii* [Predictive assessment of technological properties of minerals by methods of applied mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 7–37.

Pirogov B. I., Shchiptsov V. V. Istoriya komissii po tekhnologicheskoi mineralogii RMO (VMO) s prologom [History of the Commission on technological Mineralogy of the RMS (WMO) with a prologue]. *Zap. RMO* [Proceed. RMS]. 2016. Pt. 1, iss. 7. P. 84–103.

Popova E. M. Metody obosnovaniya innovatsionnykh napravleniy razvitiya ugol'nykh kompaniy na primere Vostochnogo Donbassa [Methods of substantiation of innovative directions of development of coal companies: on the example of Eastern Donbass]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Rostov-on-Don, 2012. 24 p.

Primenenie tekhnologicheskoi mineralogii dlya povysheniya effektivnosti ispolzovaniya mineral'nogo syr'ya [Application of technological mineralogy for increasing the efficiency of the use of mineral raw materials]: Proceed. Moscow: MinGeo USSR, VIMS, 1987. 146 p.

Problemy i perspektivy effektivnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya v XXI veke (Plaksinskie chteniya – 2019) [Issues and prospects of effective processing of mineral raw materials in the 21st century (The Plaksin readings – 2019)]. Ed. V. A. Chanturia. Irkutsk: Reprocenter A1 LLC, 2019. 467 p.

Problemy kompleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya i okhrany okruzhayushchei sredy (Plaksinskie chteniya – 1998) [Problems of complex processing

of mineral raw materials and environmental protection (The Plaksin readings – 1998)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998.

Problemy napravlenogo izmeneniya tekhnologicheskikh i tekhnicheskikh svoystv mineralov [Problems of directed changes in technological and technical properties of minerals]. Ed. V. I. Revnitssev. Leningrad: Mehanobr, 1985. 136 p.

Razvitie idei I. N. Plaksina v oblasti obogashcheniya poleznykh iskopaemykh i gidrometallurgii (Plaksinskie chteniya – 2000) [Development of I. N. Plaksin's ideas in the field of mineral processing and hydrometallurgy (The Plaksin readings – 2000)]. Ed. V. A. Chanturiya. Moscow, 2000. 272 p.

Rakov L. T., Dubinchuk V. T., Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S. Podvizhnye primesi v kvartse Karelo-Kol'skogo regiona [Mobile impurities in quartz of the Karelo-Kola region]. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2016. No. 10. P. 100–118. doi: 10.17076/geo377

Rakov L. T., Skamnitskaya L. S., Dubinchuk V. T., Ruzhitsky V. V. Tekhnologicheskie svoystva kvartsa Karelo-Kol'skogo regiona [Technological properties of quartz of the Karelo-Kola region]. *Rezultaty mezhdistsiplinarnykh issled. v tekhnol. mineralogii* [Results of interdisciplinary research in technol. mineralogy]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 96–104.

Revnitssev V. I. Rol' tekhnologicheskoi mineralogii v obogashchenii poleznykh iskopaemykh [The role of technological mineralogy in the enrichment of minerals]. *Zap. VMO* [Proceed. RMS]. 1982. Vol. 4. P. 4–20.

Rezultaty mezhdistsiplinarnykh issledovaniy v tekhnologicheskoi mineralogii [Results of interdisciplinary research in technological mineralogy]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. 164 p.

Rol' tekhnologicheskoi mineralogii v ratsional'nom nedropol'zovanii [The role of technological mineralogy in rational subsurface use]: Proceed. Russ. conf. with int. part. Moscow: VIMS, 2018. 234 p.

Severgin V. M. Pervye osnovaniya mineralogii ili estestvennoi istorii iskopaemykh tel [The first foundations of mineralogy or the natural history of fossil bodies]. B. 1–2. St. Petersburg, 1798. 800 p.

Shchiptsov V. V. Geologo-mineralogicheskie osnovy tekhnologicheskoi otsenki industrial'nykh mineralov Karelii [Geological and mineralogical bases of technological assessment of industrial minerals of Karelia]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. St. Petersburg: RIC SPGGI, 2000. 46 p.

Shchiptsov V. V., Bubnova T. P., Svetova E. N., Skamnitskaya L. S. Kvartsevoe syr'e Karelo-Kol'skogo regiona: osnovnye itogi issledovaniy [Quartz raw materials of the Karelo-Kola region: the main results of research]. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2020. No. 10. P. 5–25. doi: 10.17076/geo1231

Shchiptsov V. V., Svetova E. N. Komissiya po tekhnologicheskoi mineralogii Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva [Commission on Technological Mineralogy of the Russian Mineralogical Society]. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2020. No. 6. P. 117–121.

Sidorenko G. A. Sovremenniy fazoviy analiz kak sredstvo otsenki kachestva i obosnovaniya putei tekhnologi-

cheskoi pererabotki mineral'nogo syr'ya [Modern phase analysis as a means of assessing the quality and justification of ways of technological processing of mineral raw materials]. *Obogashchenie rud* [Ore Enrichment]. 1996. No. 1. P. 32–35.

Sovremennye metody kompleksnoi pererabotki rud i netraditsionnogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2007) [Modern methods of complex processing of ores and unconventional mineral raw materials (The Plaksin readings – 2007)]. Pt. 1. Ed. V. A. Chanturia. Apatity: KSC RAS, 2005. 228 p.

Sovremennye metody otsenki tekhnologicheskikh svoystv trudnoobogatimogo i netraditsionnogo mineral'nogo syr'ya blagorodnykh metallov ialmazov i progressivnyye tekhnologii ikh pererabotki (Plaksinskie chteniya – 2004) [Modern methods of assessing the technological properties of difficult-to-enrich and unconventional mineral raw materials of precious metals and diamonds and progressive technologies of their processing (The Plaksin readings – 2004)]. Ed. V. A. Chanturia. Moscow: Altex, 2004. 232 p.

Sovremennye metody tekhnologicheskoi mineralogii v protsessakh kompleksnoi i glubokoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2012) [Modern methods of technological mineralogy in the processes of complex and deep processing of mineral raw materials (The Plaksin readings – 2012)]. Eds. V. A. Chanturia, V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. 397 p.

Sovremennye problemy kompleksnoi pererabotki prirodnogo i tekhnogen'nogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2005) [Modern problems of complex processing of natural and technogenic mineral raw materials (The Plaksin readings – 2005)]. Ed. V. A. Chanturia. St. Petersburg, 2005. 423 p.

Sovremennye problemy kompleksnoi pererabotki trudnoobogatimyykh rud tekhnogen'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2017) [Modern problems of complex processing of hard-to-enrich ores and technogenic raw materials (The Plaksin readings – 2017)]. Eds. V. A. Chanturia, A. P. Kozlov, T. V. Chekushina. Krasnoyarsk: SFU, 2017. 452 p.

Tekhnologicheskie aspekty ratsional'nogo nedropol'zovaniya: rol' tekhnologicheskoi otsenki v razvitiy i upravlenii mineral'no-syr'evoi bazoi strany [Technological aspects of rational subsurface use: the role of technological assessment in the development and management of the country's mineral resource base]. Eds. T. V. Bashlykova, Yu. S. Karabasov. Moscow: MISiS, 2005. 576 p.

Tekhnologicheskaya mineralogiya glavneishikh promyshlennykh tipov mestozhdenii [Technological mineralogy of the main industrial types of deposits]. Ed. V. I. Revnitssev. Leningrad: Nauka, 1987. 200 p.

Tekhnologicheskaya mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye materialy [Technological mineralogy, methods of processing mineral raw materials and new materials]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 192 p.

Tsukerman V. A., Nikolaev A. I. Innovatsionnaya politika kompleksnoi pererabotki industrial'nykh mineralov Kol'skogo Polyostrova [Innovative policy of complex processing of industrial minerals of the Kola Peninsula]. *Mestorozhdeniya industrial'nykh mineralov Fennoskan-*

dii: Mater. mezhdunar. konf. [Deposits of industrial minerals of Fennoscandia: Proceed. int. conf.]. Petrozavodsk, 1999. P. 125–126.

Turesebekov A. Kh., Sharipov Kh. T., Vasilevsky B. B., Isokov U. M. Tekhnologicheskaya mineralogiya metallonosnykh goryuchykh slantsev paleogena Uzbekistana [Technological mineralogy of metal-bearing goryuchy shales of the Paleogene of Uzbekistan]. *Tekhnol. mineralogiya v optimizatsii protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya mineral'nogo syr'ya* [Technol. mineralogy in the optimization of ore preparation and mineral processing processes]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. P. 93–103.

Ushakova N. N., Figurovskii N. A. Vasily Mikhailovich Severgin (1765–1826). Moscow: Nauka, 1981. (Scientific biographies). 160 p.

Vernadsky V. I. Izbrannye sochineniya [Selected works]. Moscow: AN SSSR, 1954. Book. 1. 700 p.

Yusupov T. S. Tekhnologicheskaya mineralogiya [Technological mineralogy]. *Gornye nauki, osvoenie i sokhranenie nedr zemli* [Mining sciences, development and preservation of the Earth's interior]. Moscow, 1997. P. 392–411.

Yusupov T. S., Shumskaya L. G., Boldyrev V. V. Mekhanokhimicheskoe vzaimodeistvie prirodnykh tseolitov s fosfatami kal'tsiya [Mechanochemical interaction of natural zeolites with calcium phosphates]. *DAN [Dokl. Acad. Sci.]*. 1999. Vol. 364, no. 4. P. 508–511.

Yusupov T. S. Novye tekhnologicheskie resheniya pererabotki i ispolzovaniya mineral'nogo syr'ya na osnove izmeneniya struktury i svoystv mineralov [New technological solutions for processing and using mineral raw materials based on changes in the structure and properties of minerals]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye materialy* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials and new materials]. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 23–27.

Yushkin N. P., Rakin V. I. Mikro- i nanodispersnye struktury mineral'nogo veshchestva [Micro- and nanodisperse structures of mineral matter]. Syktyvkar: Geoprint, 1999. 216 p.

Yushkin N. P. Sovremennaya mineralogiya i novye tendentsii ee razvitiya [New ideas and concepts in mineralogy]. Syktyvkar, 2002. P. 8–9.

Yakushina O. A. Metodika i tekhnologiya izucheniya pryrodnogo i tekhnogennogo syr'ya metodom rentgenovskoi tomografii [Methodology and technology of studying natural and man-made mineral raw materials by X-ray tomography]: Summary of DSc (Dr. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow, 2012. 45 p.

Corfu F., Bayanova T., Shchiptsov V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshozero carbonatite: expression of the 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia. *Cent. Eur. J. Geosci.* 2011. No. 3. P. 302–308.

Geologic-technological assessment of ore minerals, samples and deposits. Leningrad: Mekhanobr, 1990. 152 p.

Kovalevskiy V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential. *ICAM-2019*. S. Glagolev (ed.). Switzerland: SPEES, 2019. P. 202–204.

Sharkov E. V., Belyatsky B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepikhina E. N. Genesis and 879 Age of zircon from alkali and mafic rocks of the Elet'ozero Complex, North Karelia. *Petrology*. 2015. No. 23. P. 259–280.

Sharkov E. V., Chistyakov A. V., Bogina M. M., Bogatikov O. A., Shchiptsov V. V., Belyatsky B. V., Frolov P. V. Ultramafic – alkaline – carbonatite complexes as a result of two-stage melting of a mantle plume: Evidence from the Mid-Paleoproterozoic Tiksheozero Intrusion, Northern Karelia, Russia. *Dokl. Earth Sciences*. 2019. P. 638–643.

Shchiptsov V. V. Industrial minerals of the Tiksheozero-Eletozero alkaline ultramafic-carbonatitic and alkaline gabbroic complexes in Karelia, Russia. *Mineral deposit research for a high-tech world*, Proceed. 12th SGA Meeting, Uppsala, Sweden. 2013. No. 4. P. 1781–1789.

Shchiptsov V. V. Technological mineralogy: from Academician V. M. Severgin to the present day. *Vestnik geonauk [Bull. Geosciences]*. 2021. No. 4. P. 20–24.

Received August 08, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

заведующий отделом минерального сырья, д. г.-м. н., старший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: vv.shchiptsov@gmail.com
тел.: +79216240981

Котова Ольга Борисовна

главный научный сотрудник, д. г.-м. н., старший научный сотрудник
Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина, Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр УрО РАН»
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167962
эл. почта: kotova@geo.komisc.ru
тел.: (8212) 245160

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vv.shchiptsov@gmail.com
tel.: +79216240981

Kotova, Olga

Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch,
Russian Academy of Sciences
54 Pervomaiskaya St., 167982 Syktyvkar, Komi, Russia
e-mail: kotova@geo.komisc.ru
tel.: (8212) 245160

Ожогина Елена Германовна

заведующая отделом минералогии, д. г.-м. н., проф.
Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н. М. Федоровского
Старомонетный пер., 31, Москва, Россия, 117017
эл. почта: vims-ozhogina@mail.ru
тел.: +79161653479

Пирогов Борис Иванович

главный научный сотрудник, д. г.-м. н., проф.
Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н. М. Федоровского
Старомонетный пер., 31, Москва, Россия, 117017
эл. почта: pirogov_bi@inbox.ru
тел.: (495) 9515043

Ozhogina, Elena

All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources
named after N. M. Fedorovsky (VIMS)
31 Staromonetny Per., 117017 Moscow, Russia
e-mail: vims-ozhogina@mail.ru
tel.: +79161653479

Pirogov, Boris

All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources
named after N. M. Fedorovsky (VIMS)
31 Staromonetny Per., 117017 Moscow, Russia
e-mail: pirogov_bi@inbox.ru
tel.: (495) 9515043