

УДК 553.91(470.22)

ГРАФИТОВЫЕ РУДЫ ИХАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТИПЫ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА



Л. С. СКАМНИЦКАЯ,
старший научный сотрудник, skamnits@krc.karelia.ru



Н. С. БИСКЭ,
старший научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Введение

Графит играет важную роль в жизнедеятельности человека; традиционно наиболее широко он применяется в металлургии в качестве отошающей добавки в производстве огнеупорных материалов и изделий, главным образом в производстве графитокерамических тиглей для выплавки специальных сталей, цветных и благородных металлов. В керамическую массу для таких тиглей вводят от 45 до 65 % крупночешуйчатого графита с помолом до крупности $-0,15$ мм и зольностью до 8,5–11 %. В литейном деле графит применяют в качестве присыпки или подмазки для литейных форм, специальных противопопригарных графитоколлоидных красок и лаков для покрытия постоянных литейных форм [1]. В электротехнике он идет для производства гальванических элементов, щелочных аккумуляторов. В настоящее время в качестве приоритетных направлений использования графита высокой чистоты рассматривают:

- производство литий-ионных аккумуляторов, используемых в качестве источника энергии для транспортных средств, электронных гаджетов, компьютеров, цифровых камер и т. д.; по мнению Allied Market Research, к 2022 г. объем рынка литий-ионных батарей будет оценен более чем в 46 млрд долл. США [2]; спрос на графитовый концентрат, вызванный увеличением производства литий-ионных аккумуляторов, прогнозируют на уровне примерно 200 тыс. т/год;

- получение графена для использования в аэрокосмической индустрии, химической промышленности, атомной и «солнечной» энергетике.

Проведенные ранее исследования показали, что графитовые проявления Карелии, имеющие перспективы промышленного освоения, расположены в Северо-Западном Приладожье, где установлено более 30 объектов различных типов графита – скрытокристаллического (аморфного), плотнокристаллического, мелкочешуйчатого

Установлены природные типы руд месторождения, определены их пространственные и количественные взаимоотношения, изучены особенности вещественного состава и строения.

Ключевые слова: Республика Карелия, графит, месторождение, типы руд, технологическая оценка, обогатимость, концентрат.

DOI: 10.17580/gzh.2019.03.11

и крупночешуйчатого [3–6]. Реальные рыночные возможности связывают в первую очередь с инвестициями в разведку и освоение Ихальского месторождения крупночешуйчатого графита, ввод в эксплуатацию которого намечен на 2022 г.

Характеристика природных типов графитовых руд Ихальского месторождения и их технологическая оценка являются целью данной работы.

Состояние мирового рынка графита

По данным Информационного агентства «Аналитический центр США» [7–9], спрос и цены на чешуйчатый графит будут расти (**рис. 1, табл. 1**). Мировая добыча природного графита к 2020 г. достигнет 1,5 млн т.

Наиболее крупными производителями графита в 2017 г. были Китай, Индия и Бразилия. Россия в 2017 г. произвела 19 тыс. т графита (**рис. 2**) [9].

Монополия на рынке графита создает угрозу безопасности или импортной зависимости для основной массы стран-потребителей графитового сырья [10], в том числе и для России, которая более 50 % потребности восполняет за счет импорта. Учитывая стратегическое значение графита, Европейская Комиссия включила его в список критических сырьевых материалов [11]. В связи с наметившимися приоритетными направлениями использования природного чешуйчатого графита и дефицитом сырья для этих целей особенно актуальны оценка новых месторождений и создание технологий производства высокочистых графитов [11, 12]. Возможности получения

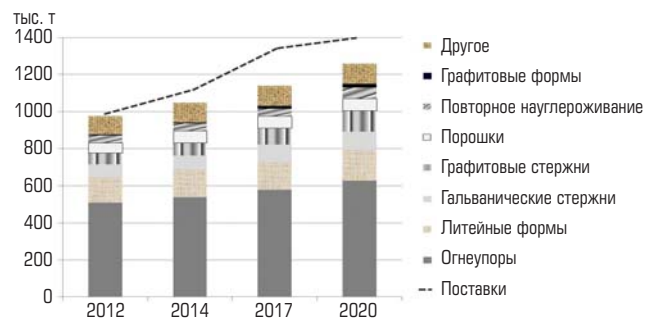


Рис. 1. Мировой прогноз производства графита по видам применения [7]

Таблица 1. Текущие цены на чешуйчатый графит, долл. США/т (94–97 % C) [8]

Марка	Размер чешуй, меш	Стоимость
XXL-чешуйчатый	+32	2200
XL-чешуйчатый	-32+50	1600
Large (крупночешуйчатый)	-50+80	1000
Medium (среднечешуйчатый)	-80+100	900
Small (мелкочешуйчатый)	-100+150	800
Fines (тонкочешуйчатый)	-150	500

высококачественных концентратов в значительной степени определяются составом и текстурно-структурными особенностями руды [13].

Характеристика объекта исследования

Ихальское месторождение графита расположено в Лахденпохском районе Республики Карелия в 5 км к югу от ст. Ихала железной дороги Санкт-Петербург – Сортавала – Петрозаводск. Ихальское месторождение является наиболее перспективным объектом одноименного рудного поля, суммарные прогнозные ресурсы которого составляют свыше 17 млн т кристаллического графита [6]. Структурный план района месторождения определяется сочетанием купольных структур, сложенных диоритами, гранодиоритами, гнейсогранитами и мигматитами и разделяющих их синклиналиных складок изоклинального типа, в строении которых участвуют породы питкьярантской свиты и ладожской серии раннего протерозоя [4–6]. Залегание пород крутое, осложненное мелкой складчатостью. Мощность графитоносной подсвиты достигает 530 м, к ней приурочены крупные линзовидные залежи чешуйчатого графита. В их составе преобладают графитосодержащие биотитовые гнейсы. Характерно присутствие тонких прослоев безрудных или обедненных графитом пород. Содержание графита варьирует от 1–2 до 5–6 %, в отдельных участках до 10–13. Графитоносные пачки мощностью более 20–30 м установлены в области развития образований нерасчлененной питкьярантской свиты, представленных графитоносными, гранат-биотитовыми (с кордиеритом и силлиманитом), биотитовыми, биотит-амфиболовыми сланцам и гнейсами, а также полевошпатовыми амфиболитами и скарноподобными породами пироксен-плаггиоклазового и плаггиоклаз-пироксенового состава. На Государственной карте масштаба 1:200 000 (второе поколение) Ихальское рудное поле расположено в области развития ихальского амфиболит-графит-гнейсового подкомплекса лахденпохского высокометаморфизованного комплекса [14].

Основным природным типом графитовых руд Ихальского месторождения являются мелко- и среднезернистые биотитовые гнейсы с содержанием чешуйчатого графита от 2 до 6 %. По структурно-текстурным особенностям среди графитосодержащих биотитовых гнейсов выделяются две разновидности: однородные мелкозернистые графитосодержащие гнейсы с тонкими, редкими, согласными (реже – секущими) кварцевыми и кварц-полевошпатовыми прожилками и выделениями; полосчатые, линзовидно-полосчатые, пятнисто-полосчатые среднезернистые графитосодержащие гнейсы с прожилками и линзами кварц-полевошпатового состава и порфириобластическими выделениями

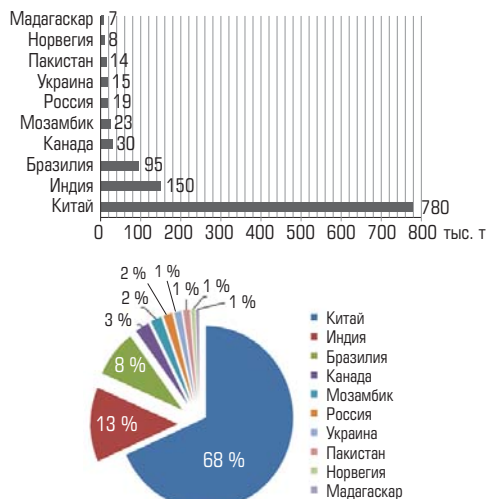


Рис. 2. Страны-лидеры производства графита в 2017 г.

микроклина; содержание жильного материала не превышает 40 %. Графитоносные мигматиты имеют подчиненное развитие и в самостоятельный тип выделены условно. Они слагают небольшие участки среди мигматизированных графитосодержащих биотитовых гнейсов.

На месторождении широко проявлены дислокационно-метасоматические процессы. В узких субсогласных зонах расщепления, брекчирования, катаклаза породы залежи подверглись сульфидизации, хлоритизации, фельдшпатизации, окварцеванию, ослюдению и карбонатизации, значительно обогащены графитом и пирротинном.

Структурные разновидности графитосодержащих гнейсов связаны взаимными переходами и обычно перемежаются друг с другом, что исключает возможность их селективной добычи и раздельного обогащения.

Методика и результаты исследования

Минералого-петрографическое обследование ихальских графитовых руд выполнено на основе изучения более 200 шлифов (изготовленных из керна буровых скважин на интервалах, подвергнутых технологическому опробованию), образцов к технологическим пробам, а также в результате частичного просмотра керна рудных скважин. Технологические исследования проводили на материале более 40 проб с использованием стандартных оптико-минералогических методов, а также современного сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH и микроанализатора INCA ENERGY 350. Анализ поверхности чешуй графита изучали на лазерном анализаторе поверхности Color 3D Laser Microscope VK-9710K (Япония). Минеральный состав технологических проб устанавливали по данным рентгенофазового анализа, термического анализа и определений под микроскопом.

В ходе изучения морфологии графита установлено, что он образует чешуйки, реже – параллельные сростки чешуек размером от 0,01 до 3–4 мм. Прямые, слабеволнистые или изогнутые чешуи утончаются и расщепляются по краям. Значительное количество изогнутых, червеобразных и расщепленных графитовых чешуй наблюдается в микроклинизированных графитосодержащих гнейсах. На границе графита с плаггиоклазом формируется тонкая каемка

калишпата, графитовая чешуя становится неровной. В *однородных мелкозернистых графитосодержащих гнейсах* средний размер графитовых чешуй составляет 0,2–0,4 мм, основная их масса (до 90–95 %) находится в сростании, прежде всего с биотитом. В *биотитовых среднезернистых гнейсах* графит обычно концентрируется в полосы, обогащенные биотитом и плагиоклазом. Графитовые чешуйки и параллельные сростки чешуек (до 10 чешуй) с биотитом ориентированы преимущественно по сланцеватости породы. В участках, обедненных биотитом, преобладают сростки графита с полевыми шпатами и кварцем. В *мигматизированных гнейсах* средний размер графитовых чешуй возрастает до 0,6–0,8 мм и более. Количество свободных чешуй графита, развивающихся между зернами других минералов, здесь выше – до 40 %.

В зонах дислокационно-метасоматических изменений чешуи графита подверглись разнообразным деформациям. На **рис. 3, а** в изогнутых, разорванных и расщепленных чешуйках отчетливо видны полосы дислокаций («кинкбанды»). Крупная графитовая чешуя с включениями пирротина и «кинкбандами» имеет неровные, занозистые края (см. рис. 3, б). В параллельном сростке чешуй графита наблюдается тонкая трещиноватость, включения пирротина по трещинкам и «кинкбанды» (см. рис. 3, в).

Для графитовых руд из локальных узких зон расланцевания, брекчирования и катаклаза весьма характерны сростания графита с хлоритом и сульфидами, прежде всего с пирротином в виде прожилковидных выделений и неправильной формы скоплений (**рис. 4, а, в**). Крупные зерна пирротина нередко импрегнированы чешуйками графита. Хлорит проникает в чешуи графита по трещинкам спайности, образуя пачечки и пучки расщепленных тонких чешуек. Сростки графита с цеолитами имеют сложную форму. В зонах дробления наблюдается ассоциация графита с минералами группы эпидота.

При анализе на сканирующем электронном микроскопе чешуи графита обнаруживают блочное строение (**рис. 5**). Пластинки (кристаллиты?) графита или пакеты слабоизогнутых пластинок толщиной около 1 мкм разбиты поперечными трещинками на блоки высотой от 4 до 10 мкм и более. Блоки пластин в разной степени развернуты относительно друг друга. Границей «кристаллитов» служат зоны дефектной структуры, в составе которых обнаружены примесные элементы (**табл. 2**), определяющие предел обогатимости графита механическими методами.

В ходе исследования осуществлена технологическая оценка графитовых руд Ихальского месторождения. Как показывает мировой опыт, наиболее приемлемым методом обогащения графитовых руд, позволяющим получать графитовый концентрат, отвечающий требованиям стандартов, является флотационный. Находят применение также и другие методы: ручная или радиометрическая сортировка, избирательное измельчение, магнитная сепарация. Возможности метода магнитной сепарации по сравнению с флотацией более ограничены. Однако при обогащении крупнокрапленых руд с большим содержанием магнитных минералов (пирротина, биотита и др.) она может иметь самостоятельное значение. Кроме того, использование магнитной сепарации для контрольной очистки флотоконцентрата позволяет извлечь труднофлотируемые сростки графита с сульфидами. При доводке

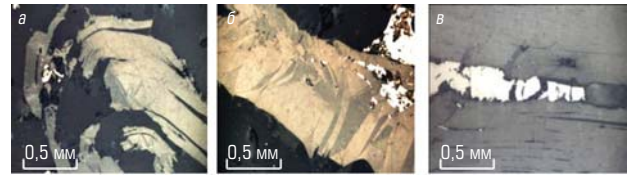


Рис. 3. Морфология чешуй графита из зон дислокационно-метасоматических изменений (аншлиф, отраженный свет, без анализатора)

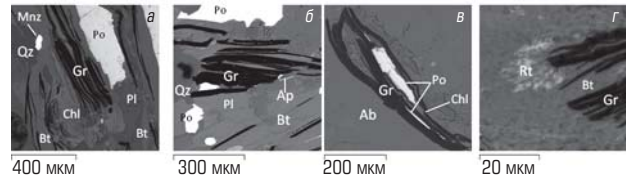


Рис. 4. Парагенетические ассоциации графита. Изображение СЭМ VEGA II LSH, BSE-детектор. Условные обозначения: Ap – апатит, Ab – альбит, Qz – кварц, Gr – графит, Chl – хлорит, Po – пирротин, Pl – плагиоклаз, Rt – рутил, Bt – биотит, Mnz – монацит

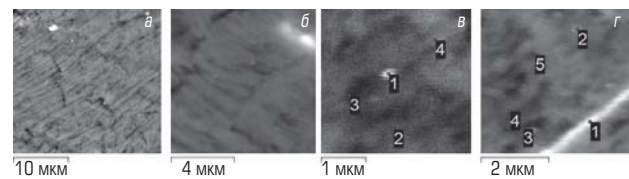


Рис. 5. Электронно-микроскопные изображения структуры чешуи графита. Фото со сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (BSE-детектор)

Таблица 2. Содержание примесных элементов в зонах дефектной структуры, % (масс.)

Микрофото	Спектр	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Zn
рис. 5, в	3				0,38*	0,34*	0,24*		0,34
	4					0,52			
рис. 5, г	1		1,65	1,50	4,14			2,79	
	2				0,35	0,41*			0,24
	3				1,28			0,75	
	4				0,72			0,33*	
	5	0,49				0,36*	0,46*	0,17*	

* Содержание ниже погрешности определения.

флотоконцентрата для получения низкозольного графита используют химический, термический, электростатический, электроосмотический и другие методы прецизионной очистки. Например, в США графитовый концентрат с содержанием углерода 95 % для уменьшения зольности гранулируют и термически очищают (по меньшей мере – до 99,95 % C) в атмосфере азота в высокотемпературных электрических печах [15].

Технологическая оценка руд различных природных типов выполнена в лабораторных условиях на материале рядовых и укрупненных проб. При относительной простоте минерального состава в ихальских графитовых рудах наблюдаются существенные колебания в содержании породообразующих минералов (**табл. 3**).

Таблица 3. Минеральный состав графитовых руд различных природных типов

Природный тип	Число проб	Минеральный состав, % (масс.)						
		Gr	Pl+Mc	Qz	Vt	Chl	Po	Amf, Pух...
Биотитовые гнейсы: неизменные	5	3	36–54	29–42	9–21	≤2	≤5	Ед. зн.
диафторированные	27	3–6	25–40	20–35	15–32	2–3	7–21	≤15
Мигматиты	1	6	51	27	10	–	1	≤5

Примечание. Ед. зн. – единичные значения.

Таблица 4. Средние показатели обогащения ихальских графитовых руд по единой технологической схеме, %

Тип руды	Содержание С в руде	Концентрат		
		Выход	Содержание С	Извлечение С
Биотитовые гнейсы: неизменные	2,97	2,94	92,43	91,57
диафторированные	4,01	4,67	77,39	90,06
Мигматиты	3,98	3,86	95,00	94,58

Плагиоклаз (андезин, реже – олигоклаз) преобладает над микроклином, содержание которого в пробах варьирует от 1–2 до 10–12 %. Сульфиды представлены преимущественно пирротин. В аксессуарных количествах наблюдаются пирит, марказит, сфалерит, халькопирит, халькозин, борнит, молибденит. В выветрелых графитоносных гнейсах пирротин замещен гидроксидами железа, образующими пленки на поверхности графитовых чешуй. В скарноподобных породах встречается скаполит. Пироксен ряда диопсид-геденбергит обрастает бесцветным в шлифах амфиболом (тремолитом). Из аксессуарных минералов наиболее характерны апатит, рутил и монацит. Реже наблюдаются циркон, алланит, а также ильменит и магнетит. В графитоносных породах с амфиболом и пироксеном постоянно присутствует титанит, нередко вместе с лейкоксеном. Вторичные минералы развиты неравномерно. Альбитизация плагиоклаза проявлена повсеместно, но обычно незначительно. Хлорит развивается по биотиту, пироксену, амфиболу, кордиериту, однако содержание его в технологических пробах не превышает, согласно дериватографическим определениям, 2,7 %. В большинстве проб установлен кальцит, который заполняет в породе редкие тонкие трещины. В шлифах в 25 % проб встречены цеолиты, но лишь в одной пробе они присутствуют в заметном количестве.

Основные породообразующие минералы, влияющие на показатели обогащения руд всех природных типов, представлены биотитом и пирротин. Пирротин, количество которого в неизменных биотитовых гнейсах не превышает 5 %, а в диафторированных достигает 21 %, образует ксеноморфные выделения размером от долей микрона до 1,5 мм. Присутствие в руде наряду с графитом более твердых минералов – кварца, полевых шпатов и пирротина, а также дефектность самих чешуй, определяют возможность ошламования и переизмельчения графита в процессе рудоподготовки. Поэтому было принято щадящее измельчение.

Графит (по анализу технологических проб) в неизменных гнейсах и мигматитах распределен равномерно. В диафторированных гнейсах содержание графита закономерно уменьшается от крупных к мелким классам. Обогащение по единой технологической схеме,

включающей основную флотацию с доизмельчением пенного продукта и пятью перечистками, выявило технологическую неоднородность природных типов ихальской руды. Условно выделены три сорта руды, соответствующие установленным природным типам: I – биотитовые гнейсы с рассеянной вкрапленностью отдельных чешуй графита и их параллельных сростаний с биотитом при содержании графита 1,5–5 %; II – биотитовые, реже – амфибол-биотитовые гнейсы с рассеянной вкрапленностью графита в количестве 5–10 %, изредка – 13; III – мигматиты по графитоносным гнейсам с содержанием графита 3–5 %. Наиболее малозольные (до 5 %) концентраты получены при обогащении руд третьего сорта. Неизменные биотитовые гнейсы и мигматиты характеризуются легкой обогатимостью. Содержание углерода в концентратах составляет 92–95 % при извлечении 91,52–94,5 %. Сростки графита представлены параллельными сростаниями с биотитом.

Более сложные и разнообразные по составу и типам сростаний сростки образует графит в диафторированных биотитовых гнейсах. Преобладают труднораскрываемые сростки с пирротин и сложные сростки с биотитом и полевыми шпатами, биотитом и кварцем, которые присутствуют даже при более тонком измельчении (до 80 % класса –0,07 мм). При этом степень раскрытия сростков не превышает 70 %. Графитовые руды из зон диафтореза характеризуются наиболее низкими технологическими показателями. Выделенные сорта соответствуют единому технологическому типу.

Гранулометрический состав и характер распределения графита по фракциям измельченной руды приведен на рис. 6. Содержание класса –0,07 мм в измельченной руде не зависит от технологического сорта руды и колеблется в пределах ±5 %. При этом распределение свободных чешуй графита по классам крупности зависит от крупности самих чешуй и характера сростаний с другими минералами.

Для оптимального раскрытия сростков графита в неизменных биотитовых гнейсах необходимо доводить крупность руды до 30–40 % класса –0,07 мм. Более полного раскрытия сростков следует ожидать при измельчении материала перед флотацией до крупности 50–60 % класса –0,07 мм, что приведет к уменьшению выхода графита тигельной фракции. Средние показатели обогащения сортов ихальской графитовой руды по единой технологической схеме приведены в табл. 4.

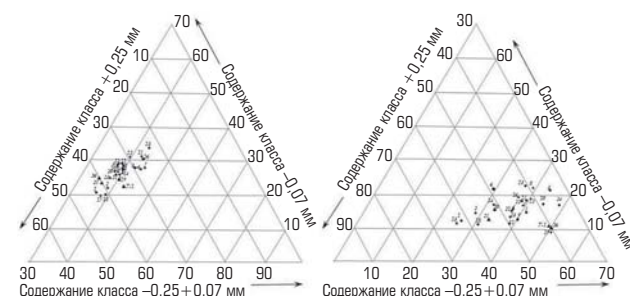


Рис. 6. Гранулометрический состав измельченного по единой схеме материала проб (а) и распределение углерода по классам крупности (б)

В концентратах легкообогатимых типов руд по крупности преобладает класс +0,2 мм с содержанием углерода 94–95,8 % (табл. 5).

Свободные чешуйки графита в крупном (+0,2 мм) классе составляют в среднем примерно 40 % у неизменных биотитовых гнейсов и 48 % – у мигматитов. Преобладают бедные сростки графита с биотитом. В мелких классах (+0,2–0,07 и –0,07 мм) возрастает количество сростков с кварц-полевошпатовым агрегатом, а количество сростков с биотитом уменьшается. Это подтверждает связь крупночешуйчатого графита с биотитом, а мелкочешуйчатый чаще встречается в ассоциации с полевыми шпатами и кварцем.

Форма агрегатов графита в концентрате тигельной фракции разнообразная, преобладают чешуйчатые, шестоватые и пластинчатые агрегаты. Поверхность чешуй графита шероховатая, неровная; превышения по разным классам крупности составляют 15–27 мкм; видны углубления от породообразующих минералов, ступенчатость от присутствия сростков чешуй; в крупных чешуйках наблюдаются включения других минералов. С уменьшением размера чешуй поверхность графита очищается и уплощается (рис. 7).

При химическом дообогащении неизменных биотитовых гнейсов содержание углерода в графитовом концентрате достигает 99,9 % [4].

Полученные данные по технологической оценке являются предварительными, так как разработаны на лабораторном уровне. При обогащении в фабричных условиях они могут быть улучшены. Для уменьшения пределов колебания качественных показателей следует предусмотреть усреднение руды перед обогащением.

По содержанию и разведанным запасам графита Ихальское месторождение превосходит действующее Тайгинское (Урал). Ихальские графитовые руды сравнительно бедные, но по обогатимости превосходят руды значительной части отечественных месторождений чешуйчатого графита (табл. 6).

Заключение

В результате проведенных исследований на Ихальском месторождении выделены графитовые руды трех природных типов, отличающихся текстурно-структурными особенностями и вещественным составом. Графитовые руды легкообогатимы и относятся к одному технологическому типу. Содержание графита в технологических пробах составляет 2,91–6,11 %. Средний размер чешуй варьирует от 0,3–0,4 до 0,6 мм. Во всех пробах наряду с крупночешуйчатым присутствует мелкочешуйчатый графит. Содержание свободных графитовых чешуек обычно невелико – 10–20 %, редко достигает 35–40 %. Характерны сростания графита с биотитом, сульфидами, в меньшей

Таблица 5. Гранулометрическая характеристика концентратов

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание С, %
<i>Биотитовые гнейсы</i>		
+0,2	39,98	94,19
+0,2–0,07	38,80	91,91
–0,07	21,22	89,79
<i>Биотитовые гнейсы диафорированные</i>		
+0,2	19,35	72,38
+0,2–0,07	45,12	67,28
–0,07	35,53	36,59
<i>Мигматиты</i>		
+0,2	48,16	95,40
+0,2–0,07	34,84	93,60
–0,07	17,00	89,30

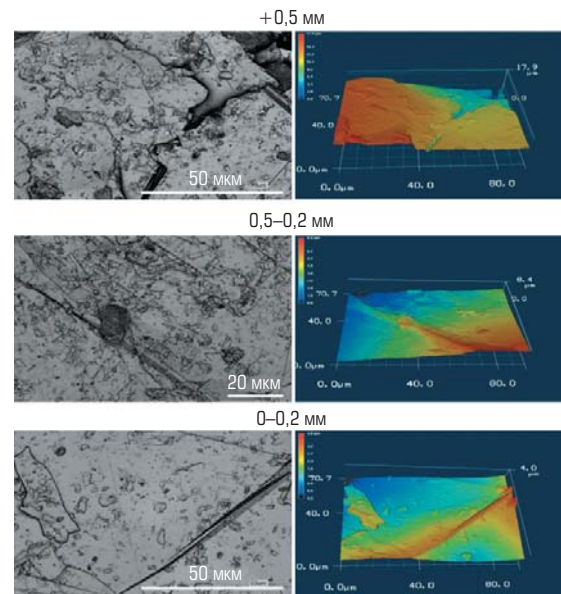


Рис. 7. Характер поверхности чешуй графита в зависимости от крупности. Микрофото с лазерного анализатора поверхности

степени – с полевыми шпатами, кварцем и вторичными минералами: преимущественно – с хлоритом. В зонах дислокационно-метасоматических изменений графитовые чешуи обычно деформированы: изогнуты, смяты, разорваны и расщеплены по краям. Изучение графита на сканирующем электронном микроскопе выявило блочное строение чешуй и наличие зон дефектной структуры, в составе которых обнаружены примесные элементы, определяющие предел обогатимости графита механическими методами. С помощью лазерного анализатора поверхности было установлено, что с уменьшением

Таблица 6. Сравнительная характеристика графитовых руд ряда отечественных месторождений [3, 6, 16–18]

Месторождение	Регион	Содержание графита в руде, % (масс.)	Размеры чешуек (пластинок) графита, мм	Концентрат, %	
				Содержание С	Извлечение С
Тайгинское	Урал	(2,5–2,6)	(0,1–0,5)	92–94	80–82
Мурзинское	Урал	(5,8)	0,18×1,3 ÷ 0,08×1,7	90,5	92,3
Пестпакша	Кольский п-ов	3–46 (5)	(0,05–0,1)	90–94	39,1–91,28
Союзное, Тополихинский участок	Дальний Восток	7–32 (14–16)	0,01–0,25 (0,01)	82–90	80
Ихальское	Карелия	2–9 (3,04)	0,01–4 (0,3–0,6)	86,83–91,01	93,6–97,5

Примечание. В скобках приведены средние значения.


размера чешуй их поверхность выравнивается и очищается. Диафторированные графитовые руды характеризуются наиболее низкими технологическими показателями.

В промышленных условиях графит с такими природными размерами агрегатов по отечественным стандартам (ГОСТ 17022–81.

Графит. Типы, марки и общие технические требования; ГОСТ 17181.2–90. Графит. Метод определения гранулометрического состава) является пригодным для производства крупночешуйчатого (+0,2 мм), среднечешуйчатого (–0,2+0,063 мм) и мелкочешуйчатого (–0,063+0,0 мм) обогащенного графита.

Библиографический список

- Amelchenko V. N., Illarionov I. E., Gilmanshina T. R., Borisyuk V. A. Graphite as a prospective material for metallurgical application // CIS Iron and Steel Review. 2018. Vol. 16. P. 29–32. DOI: 10.17580/cisir.2018.02.06
- Тренды графитовой отрасли. 2017. URL: https://doncarb.com/news/graphite-trends/?sphrase_id=1056 (дата обращения: 09.08.2018).
- Каменева Е. Е., Скamnitskaya Л. С. Обогащение минерального сырья Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. – 230 с.
- Биске Н. С. Графитовое орудение Северного Приладожья (геология и генетические особенности). – Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1987. – 172 с.
- Biske N., Skamnitskaya L., Mikhailov V., Sarapää O. Geology and commercial assessment of graphite deposits in the eastern Fennoscandian Shield // Comprehensive Assessment of Nonmetalliferous Deposits: Proceedings of the Finnish-Soviet symposium. – Helsinki, 1990.
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия / под ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. – Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. – 356 с.
- Graphite: Widespread progress for flake graphite projects / Roskill, 2019. URL: <https://roskill.com/news/graphite-widespread-progress-for-flake-graphite-projects/> (дата обращения: 11.02.2019).
- Mineral commodity summaries 2017 / U. S. Geological Survey, 2017. URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (дата обращения: 19.10.2018).
- Kay A. 10 Top Graphite-mining Countries. 2018. URL: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/top-graphite-producing-countries-china-india-brazil-canada/> (дата обращения: 28.08.2018).
- Дергачев А. Л., Старостин В. И. Тенденции развития минерально-сырьевого комплекса на рубеже веков // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 2018. № 1. С. 3–15.

- Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy / European Commission, 2018. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/27327> (дата обращения: 19.10.2018).
- Кузнецов О. Б., Кузнецова В. Г., Куприянов Е. В., Ахиярова А. В. Минерально-сырьевая база графита России // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2015. С. 149–151.
- Кузнецов О. Б., Кузнецова В. Г., Куприянов Е. В., Ахиярова А. В. Промышленные типы графитовых месторождений России // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2015. С. 152–155.
- Государственная геологическая карта РФ. Масштаб: 1:200 000. Сер. Карельская: Листы Р-35-XXIV, Р-36-XXV / под ред. Ю. Б. Богданова. 2-е изд. – СПб., 2005.
- Graphite Resource Estimates / Graphite One Resources, 2019. URL: <http://www.graphiteoneresources.com/projects/graphite-creek/resource-estimates/> (дата обращения: 19.01.2019).
- Черепанов А. А. Крупнейшее месторождение графита Союзное (новые данные) // Отечественная геология. 2014. № 1. С. 21–32.
- Дуракова А. Б., Павлов В. А., Кузнецов О. Б., Кузнецова В. Г., Лузин В. П. Основные черты геологического строения и графитоносность юго-западного фрагмента Лапландской зоны гранулитов // Отечественная геология. 2010. № 3. С. 33–39.
- Солодкин Н. Ф., Шамриков А. С., Погребенков В. М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности: справ. пособие. – Томск: ТПУ, 2009. – 332 с. 

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 55–60
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.11

Ikhala graphite deposit: Basic ore types and their technological assessment

Information about authors

L. S. Skamnitskaya¹, Senior Researcher, skamnits@krc.karelia.ru

N. S. Biske¹, Senior Researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences

¹Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Abstract

In conditions of steady accelerated growth of the graphite market, most of Russia's demand for crystalline graphite is met through import. In order to provide the local industry with its own high-quality graphite raw materials, new deposits close to consumers should be involved in the development. Karelia has many occurrences of fine – coarse crystalline graphite. Graphite ores of the Ikhala ore field, located in the Northern Ladoga area, South of Lahdenpohya are of industrial interest. The field includes Ikhala deposit and nine occurrences with total reserves and forecast resources of graphite more than 17 million tons. Graphite is crystalline large flake. Natural types of ores are established, their spatial and quantitative interrelations are defined, features of material composition and structure are studied. The main natural type of ore is fine – medium grained biotite-feldspar gneiss with flake graphite content from 2 to 6%. Diaphthorized gneisses are enriched with graphite and pyrrhotite. The graphite bearing migmatite is relatively distinguished as a natural type due to its small areas among migmatized gneisses with graphite.

Ikhala deposit is licensed, it conducts exploration work. The field is characterized by favorable mining and technical conditions (the possibility of open-pit mining) and geographical and economic location: proximity to the industrial centers of the North-West of Russia, developed infrastructure, the border position of the territory. The carbon content and proven reserves of Ikhala deposit exceed current Tayginskiy ones.

Keywords: Republic of Karelia, graphite, deposit, types of ores, technological assessment, dressability, concentrate.

References

- Amelchenko V. N., Illarionov I. E., Gilmanshina T. R., Borisyuk V. A. Graphite as a prospective material for metallurgical application. *CIS Iron and Steel Review*. 2018. Vol. 16. pp. 29–32. DOI: 10.17580/cisir.2018.02.06
- Trends in graphite industry. Doncarb Grafit, 2017. Available at: https://doncarb.com/news/graphite-trends/?sphrase_id=1056 (accessed: 09.08.2018).
- Kameneva E. E., Skamnitskaya L. S. Processing of mineral raw materials of Karelia. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2003. 230 p.

- Biske N. S. Graphite mineralization in the northern Ladoga area (geology and genetic features). Petrozavodsk: Karelskiy filial AN SSSR, 1987. 172 p.
- Biske N., Skamnitskaya L., Mikhailov V., Sarapää O. Geology and commercial assessment of graphite deposits in the eastern Fennoscandian Shield. *Comprehensive Assessment of Nonmetalliferous Deposits: Proceedings of the Finnish-Soviet symposium*. Helsinki, 1990.
- Mikhailov V. P., Aminov V. N. (Eds.). Mineral and raw material base of the Republic Karelia. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. Book 2: Non-metallic mineral resources. Underground waters and mineral muds. 356 p.
- Graphite: Widespread progress for flake graphite projects. Roskill, 2019. Available at: <https://roskill.com/news/graphite-widespread-progress-for-flake-graphite-projects/> (accessed: 11.02.2019).
- Mineral commodity summaries 2017. U.S. Geological Survey, 2017. Available at: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (accessed: 19.10.2018).
- Kay A. 10 Top Graphite-mining Countries. 2018. Available at: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/top-graphite-producing-countries-china-india-brazil-canada/> (accessed: 28.08.2018).
- Dergachev A. L., Starostin V. I. The Tendencies of the Development of the Mineral-Resources Sector at the Turn of the Century. *Moscow University Geology Bulletin. Ser. Geology*. 2018. Vol. 73, No. 2. pp. 109–120.
- Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy. European Commission, 2018. Available at: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/27327> (accessed: 19.10.2018).
- Kuznetsov O. B., Kuznetsova V. G., Kupriyanov E. V., Akhiyarova A. V. Mineral raw materials base of graphite in Russia. *Economic Minerals – Problems of Prediction, Exploration, Appraisal and Innovation Mining Technologies: International Scientific-Practical Conference Proceedings*. Kazan, 2015. pp. 149–151.
- Kuznetsov O. B., Kuznetsova V. G., Kupriyanov E. V., Akhiyarova A. V. Economic types of graphite deposits in Russia. *Economic Minerals – Problems of Prediction, Exploration, Appraisal and Innovation Mining Technologies: International Scientific-Practical Conference Proceedings*. Kazan, 2015. pp. 152–155.
- State geological map of the Russian Federation. Scale: 1:200 000. Ser. Karelian. Sheets R-XXIV, R-36-XXV. Yu. B. Bogdanov (Ed.). 2nd ed. Saint-Petersburg, 2005.
- Graphite Resource Estimates. Graphite One Resources, 2019. Available at: <http://www.graphiteoneresources.com/projects/graphite-creek/resource-estimates/> (accessed: 19.01.2019).
- Cherepanov A. A. The largest deposit of graphite Soyuznoe (new data). *Otechestvennaya geologiya*. 2014. No. 1. pp. 21–32.
- Durakova A. B., Pavlov V. A., Kuznetsov O. B., Kuznetsova V. G., Luzin V. P. The main features of the geological structure and the graphite presence in the south-western fragment of the Lapland granulite zone. *Otechestvennaya geologiya*. 2010. No. 3. pp. 33–39.
- Solodkii N. F., Shamrikov A. S., Pogrebenkov V. M. Minerals and raw materials base of Ural for ceramic, refractory and galss industries: Reference aid. Tomsk: TPU, 2009. 332 p.