

DOI: 10.17076/tm13_16

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ НИГОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

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

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

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

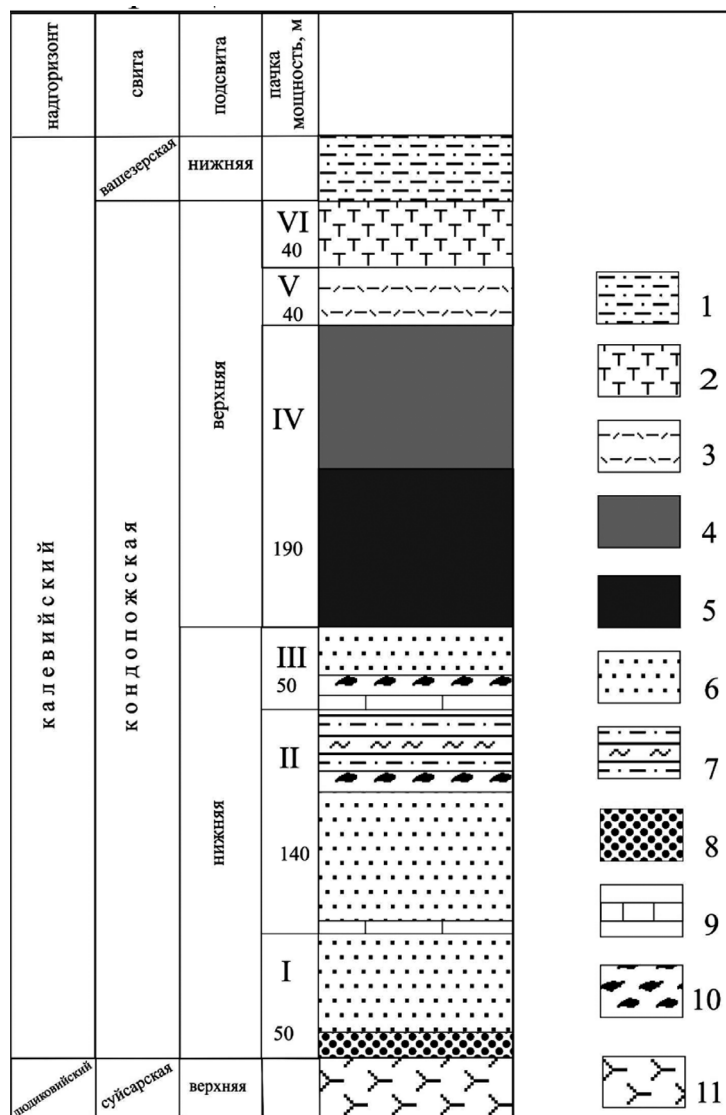
буро-зеленоватой до черной окраски имеют массивную или полосчатую текстуру, присутствует параллельная и реже косая слоистость. Содержание ШВ варьирует от 0.5 до 2.5%, наименьшее содержание ШВ отмечается в песчаниках. В опорном разрезе кондопожской свиты калевийского надгоризонта в ритмично слоистых туфогенных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

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

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

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

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



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

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

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

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

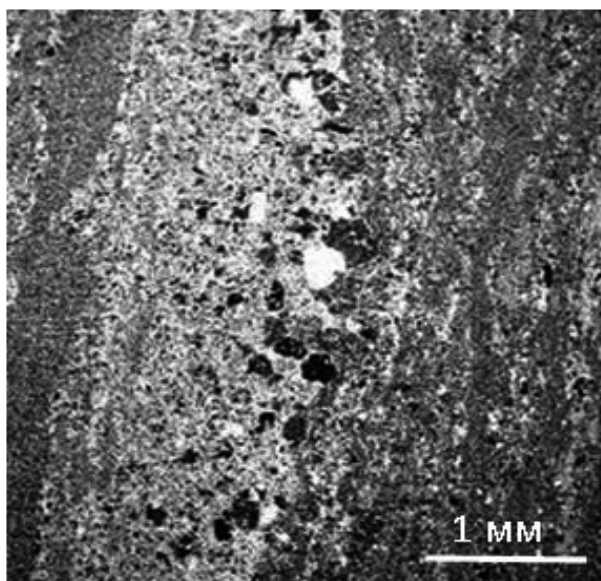


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение туфопесчаника Нигозерского месторождения

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

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

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

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

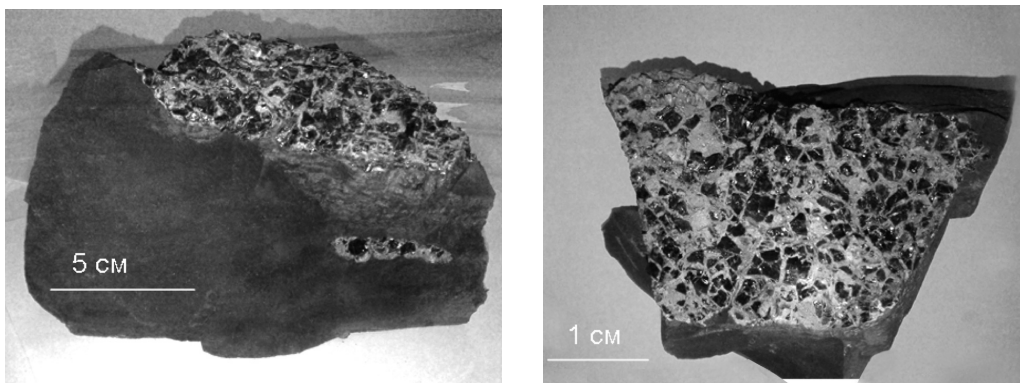


Рис. 3. Антракосолитовые стяжения

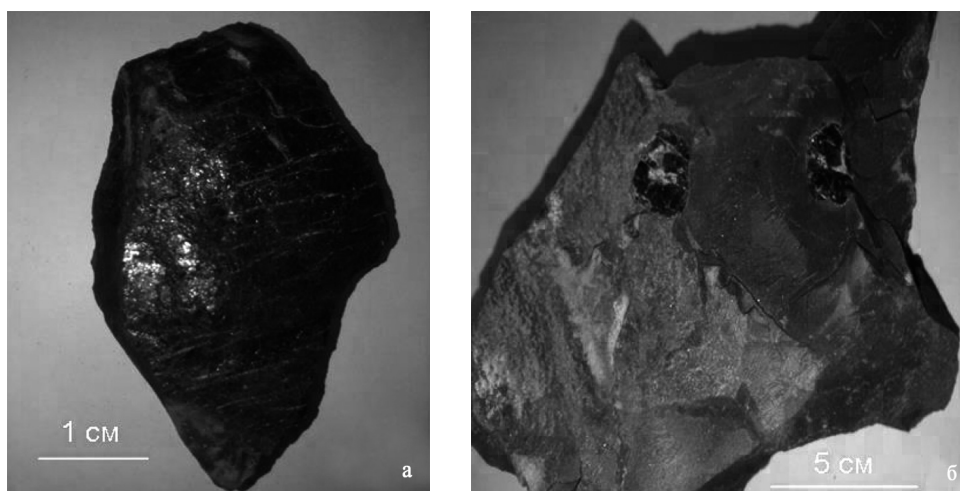


Рис. 4. Пленочная (а) и гнездовая (б) формы антракосолитовых выделений

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

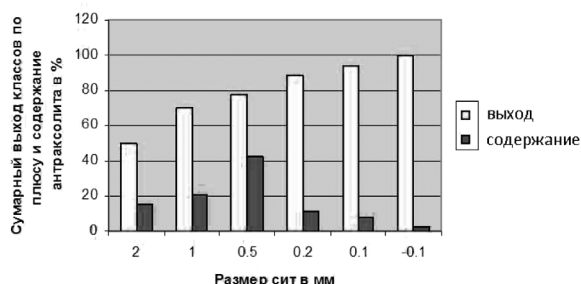


Рис. 5. Характеристика крупности измельчения и содержания антракосолита в классах, %

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

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

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

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

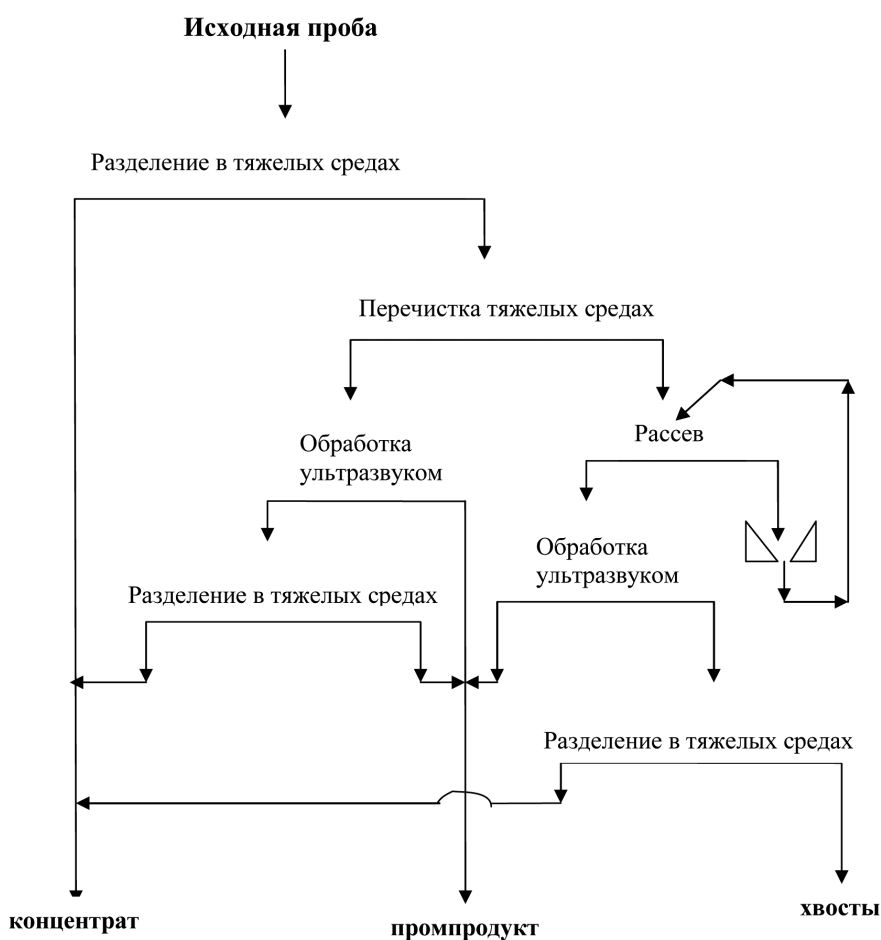


Рис. 6. Схема выделения антраксолита из горизонта туфопесчаников Нигозерского месторождения, содержащего антраксолитовые стяжения

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

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

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

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

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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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