УДК 622.767:535.2

Шибаева Дарья Николаевна
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН,
184209 г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24;
руководитель научно-исследовательской лаборатории,
Филиал Мурманского арктического государственного университета (МАГУ) в г. Апатиты,
184209 г. Апатиты, ул. Лесная, 29
e-mail: Shibaeva_goi@mail.ru;

Аверин Антон Алексеевич
студент, Филиал МАГУ г. Апатиты

Асанович Данил Алексеевич
студент, Филиал МАГУ г. Апатиты

Заболотний Владислав Сергеевич
студент, Филиал МАГУ г. Апатиты

ОЦЕНКА ПРЕДПОСЫЛОК ОБОГАЩЕНИЯ ВЕРМИКУЛИТ-СУНГУЛИТОВОЙ РУДЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ

Аннотация:

Показана возможность использования фотометрической сепарации вермикулит-сунгулитовых отходов открытой добычи ООО «Ковдорслюда» крупностью +10 мм, способствующая повышению экономической привлекательности вовлечения их в переработку и извлечения из них продукта с повышенным содержанием вермикулита и сунгулита, являющихся природными сорбентами, обладающими высокими адсорбционными, каталитическими и ионообменными свойствами. Его использование в природоохранных технологиях позволяет эффективно снижать антропогенную нагрузку на окружающую среду в районах действия горно-перерабатывающих предприятий и др. По результатам минералого-петрографического анализа исследуемой пробы вермикулит-сунгулитовых отходов открытой добычи ООО «Ковдорслюда» крупностью +10 мм сформировано 5 групп, различных по окраске, текстурному облику и составу слагающих минералов. Полученные для каждой из групп цветовые палитры и их числовые представления – характеристики по красному, зеленому и синему каналам, зарегистрированные блоком детектирования диффузно-отраженные световые потоки с поверхности исследуемых образцов, позволили оценить возможность разделения по RGB-значениям. Установлены различия между максимальным значением показателей RGB в группах 1 и 2 и минимальным значением в группах 3, 4 и переходной, позволившие оценить применение кускового обогащения вермикулит-сунгулитовой руды фотометрическим методом. Лабораторными исследованиями показано, что при использовании комбинации цветовых характеристик по каналам R и B в породный продукт можно выделить 35 % кускового материала, представленного оливином, пироксеном, флогопитом и слюдистыми минералами.

Ключевые слова: отходы горного производства, вермикулит-сунгулитовая руда, фотометрический метод, RGB-характеристики

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.130

Shibaeva Darya N.
Candidate of Engineering Sciences,
Senior Researcher,
Mining Institute of KSC RAS,
184209, Apatity, 24 Fersmana Str.;
Head of Research Laboratory,
Branch of Murmansk Arctic State University,
184209, Apatity, 29 Lesnaya Str.
e-mail: Shibaeva_goi@mail.ru

Averin Anton A.
Student, Branch of Murmansk Arctic State University, Apatity

Asanovich Danil A.
Student, Branch of Murmansk Arctic State University, Apatity

Zabolotny Vladislav S.
Student, Branch of Murmansk Arctic State University, Apatity

ASSESSMENT OF PRECONDITIONS FOR ENRICHMENT OF VERMICULITE-SUNGULITE ORE BY PHOTOMETRIC SEPARATION METHOD

Abstract:

The paper has shown the possibility for using the photometric separation of vermiculite-sungulite waste of open-pit mining at the mine OOO Kovdorslyuda with a size of +10 mm, which contributes to increase of economic attractiveness for involving them in the processing and extraction of products with high content of vermiculite and sungulite, which are natural sorbents with high adsorption, catalytic and ion exchange properties. Its use in environmental technologies allows to effectively reduce anthropogenic pressure on the environment in the operation areas of mining and processing enterprises, etc. The results of mineralogical and petrographic analysis of the test sample of vermiculite sungulite waste of open-pit mining at the mine OOO Kovdorslyuda with a size of + 10 mm have allowed to form 5 groups different in color, texture and composition of the composing minerals. The color palettes obtained for each of the groups and their numerical representations being the characteristics of the red, green and blue channels as well as the diffuse-reflected light fluxes from the surface of the studied samples recorded by the detection unit have allowed to estimate the possibility of separation by RGB-values. The authors have determined the differences between the maximum value of RGB indicators in groups No. 1 and 2 and the minimum value in groups No. 3 and 4 and transition group, which allowed to evaluate the application of lump-enriched vermiculite-sungulite ore by the photometric method. Laboratory studies have shown that using a combination of color characteristics on the R and B channels allows to select 35% of the lump material represented by olive, pyroxene, phlogopite and mica minerals into rock product.

Key words: mining waste, vermiculite-sungulite ore, photometric method, RGB-characteristics

Введение

На территории Кольского горнопромышленного комплекса расположено более десяти горнодобывающих и перерабатывающих предприятий с годовым объемом добычи от нескольких тысяч до десятков миллионов тонн. Общий годовой объем извлекаемой горной массы превышает 200 млн т, и только 1 – 40 % (в зависимости от типа сырья) – это конечный продукт. Остальные материалы в виде породы от вскрышных и проходческих работ, хвостов обогащения, шлаков и кеков, а также зол ТЭС размещаются в хвостохранилищах и отвалах, занимающих сотни квадратных километров поверхности. Сформированные техногенные образования содержат попутные полезные компоненты, на долю которых в объемном выражении приходится до 50 – 60 %, а в стоимостном – 25 – 30 %. Их освоение обеспечит получение дополнительного источника минерального сырья с относительно низкой себестоимостью, а также снижение отрицательного воздействия на уязвимую природную среду северных территорий страны [1].

Вермикулит и сунгулит являются природными сорбентами, обладающими высокими адсорбционными, каталитическими и ионообменными свойствами, позволяющими их использование в природоохранных технологиях. Поэтому вовлечение в переработку складированных вермикулит-сунгулитовых отходов открытой добычи ООО «Ковдорслюда» способствует улучшению экологической обстановки в районе их складирования и изменению в лучшую сторону экологического состояния водных и почвенных объектов края.

Сотрудниками структурных подразделений ФИЦ КНЦ РАН: ИХТРЭМС, ПАБСИ, ИППЭС, ГоИ, филиалом МАГУ в г. Апатиты – при финансовой поддержке АО «Кольская ГМК» проведен широкий комплекс исследований, направленных на получение сунгулитового продукта из складированных отходов открытой добычи флогопита ООО «Ковдорслюда», его использование для мелиорации техногенно-загрязненных токсичных грунтов и создание травянистой дернины из злаковых растений, устойчивых в условиях промышленных загрязнений [2 – 5]. Разработанные технологии успешно апробированы для реабилитации техногенной пустоши, расположенной вблизи г. Мончегорска.

Классификация исходного сырья по классу 10 мм позволяет получить готовый продукт крупностью менее 10 мм, пригодный для полезного применения в качестве мелиоранта в технологии создания искусственных фитоценозов на депрессивных территориях в зоне влияния металлургического комбината [6]. Технология обогащения надрешетного продукта предусматривает дробление, выделение шламового продукта на гидроциклоне, разделение зернистого материала на концентрационном столе [3]. Для повышения экономической привлекательности получения вермикулит-сунгулитового концентрата из отходов горного производства необходимо оценить возможность применения кускового обогащения вермикулит-сунгулитовой руды фотометрическим методом сепарации на рудной массе крупностью +10 мм.

Краткая характеристика отходов открытой добычи флогопита

Вскрышные породы при открытой добыче флогопита представляют собой вермикулитовые руды, складированные в Ковдорском районе. В настоящее время образовано 8 складов: 3 склада богатой руды, 3 склада бедных руд, склад вскрышных пород Северо-Восточного карьера и склад вермикулит-сунгулитовой руды [7].

Склад вермикулит-сунгулитовых руд занимает площадь 74200 м^2, количество такой рудной массы составляет порядка 400 тыс. т. Оценка ее минерального состава показала, что содержание сунгулита и вермикулита примерно одинаковое и составляет по 19 – 21 %, на долю прочих минералов приходится около 60 % (пироксен, оливин, окислы и гидроокислы железа, титаномагнетит, полевой шпат, кварц, нефелин, антигорит, цеолиты, кальцит). Пироксены являются основными породообразующими минералами пироксенитов и оливин-пироксеновых пород и по составу соответствуют авгит-диопсидам [8].

Минералого-петрографическое описание исследуемой пробы

Кусковой материал складированных вермикулит-сунгулитовых руд крупностью -40+20 мм визуально по окраске, текстурному облику и составу слагающих минералов разделен на четыре группы (рис. 1):

- *в первую группу* вошли преимущественно темноокрашенные образцы с удельным весом более 3,3 и относительно мало измененные более поздними процессами;
- *во вторую группу* отнесены слюдистые минералы;
- в образцах *третьей группы* преобладает лизардит светло-серой до белой окраски с включением мелких зерен вермикулита;
- образцы *четвертой группы* представлены преимущественно вермикулитом, образовавшимся за счет интенсивного разложения железистого флогопита и биотита.
- *в переходную группу* отнесены все переходные по составу и окраске образцы.

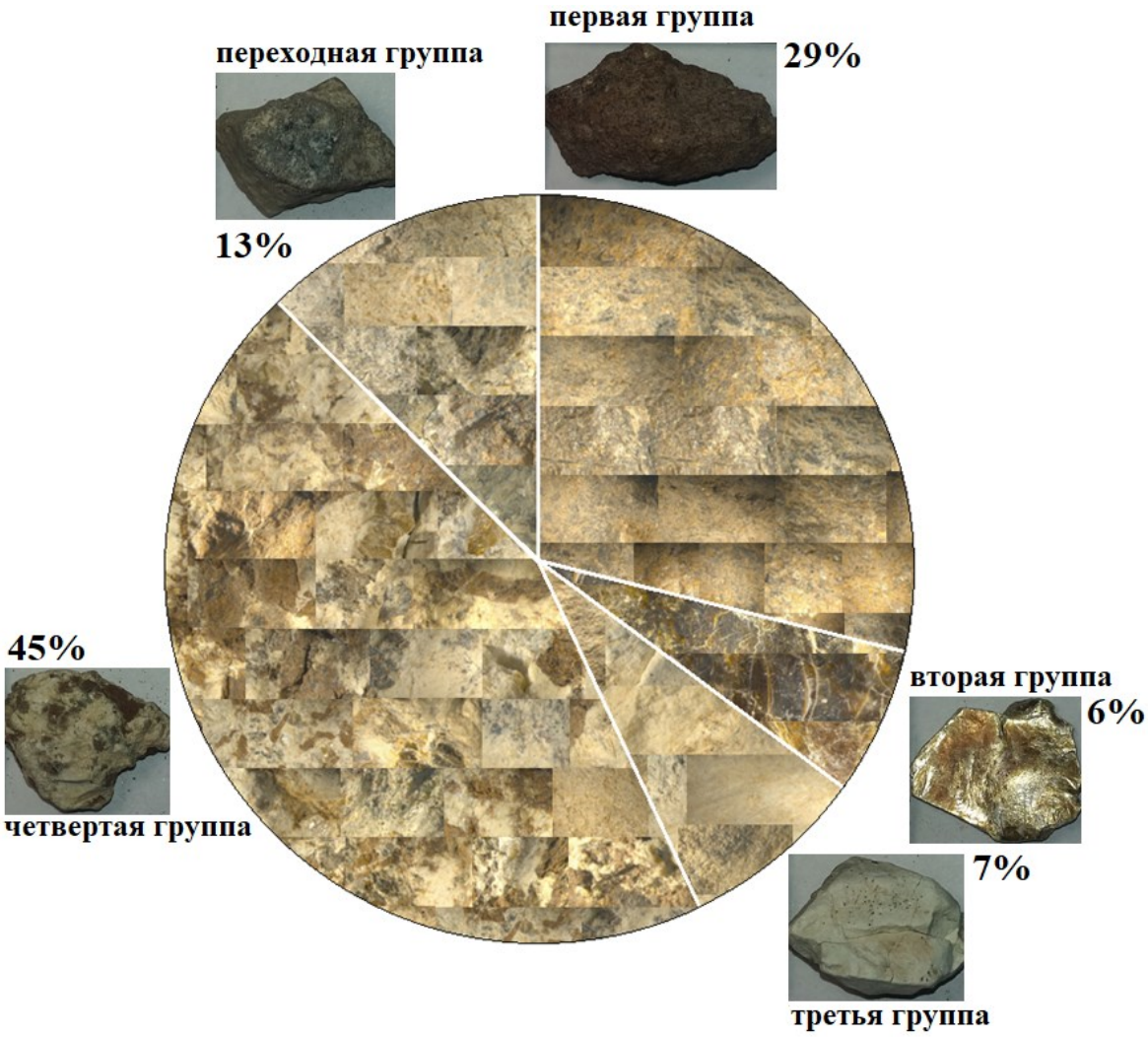

Рис. 1 – Распределение образцов вермикулит-сунгулитовой руды по группам

Образцы *первой группы* представлены среднезернистым агрегатом оливина, пироксена и флогопита. Удельный вес породы более 3,3 свидетельствует о преобладании в оливине железистой разновидности форстерита из непрерывного изоморфного ряда форстерит (Mg_2SiO_4) – фаялит (Fe_2SiO_4). На это указывают также практически бесцветные зерна оливина в породе и присутствующие по тонким трещинам гидроокислы железа буровато-коричневого цвета – продукты гидротермального или гипергенного изменения этого минерала. В ряде образцов отмечена слабая серпентинизация оливина.

Из пироксенов в образцах присутствуют эгирин или его разновидности эгирин-авгит и эгирин-диопсид, что подтверждается изменением цвета кристаллов от черного до темно-зеленого, двойниковым срастанием по кристаллографической плоскости (100), а также спайностью, характерным блеском и относительно высокой твердостью (5 – 6).

Флогопитовые кристаллы, входящие во *вторую группу*, определяются по характерному чешуйчатому облику кристаллов, золотисто–зеленоватой окраске, отличаются низкой твердостью (2 – 3) и совершенной спайностью по кристаллографической плоскости (001). В ряде образцов между чешуйками и листками флогопита присутствует вторичный лизардит белого цвета, который развивается либо по пироксену, либо по вермикулиту.

В образцах *третьей группы* преобладает лизардит от светло-серой до белой окраски с включением мелких зерен вермикулита, расположенных по сланцеватости. Сунгулит имеет такую же химическую формулу, что и серпентин, и развивается зачастую по вермикулиту.

Четвертая группа представлена вермикулитом, образованным за счет интенсивного разложения железистого флогопита и биотита, что придает образцам бурый, желтовато-бурый, бронзово-желтый цвет. Гнездовые скопления вермикулита контрастно выделяются на фоне вмещающей их белой лизардит-сунгулитовой массы. Бурая окраска в описанных скоплениях, вероятно, обязана процессу серпентинизации оливина, проходящему по следующей реакции:

$$(Mg,Fe)_2[SiO_4] + H_2O \rightarrow Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8 + Fe_2O_3 + H_2 + 21{,}1, \text{ ккал/моль.}$$

Образующийся в ходе этой реакции гематит, окисляясь, превращается в гидроокисел железа, который и придает этим участкам характерную буровато-коричневую окраску.

В некоторых образцах из *переходной группы*, кроме указанных выше минералов, отмечается пироксен (эгирин или эгирин-авгит), образующий гнезда в виде хорошо оформленных кристаллов или мелкую тонкую сыпь зерен черного цвета, равномерно рассеянной по всей породе. В образцах этой группы присутствуют также кристаллы флогопита золотисто-желтой окраски.

Исследование фотометрических свойств вермикулит-сунгулитовой руды

Предварительная оценка возможности использования различий в окраске минеральных разновидностей, присутствующих в пробе для разделения на рудный и породный продукты, основана на изучении их фотометрических свойств – определении основных составляющих цветовой палитры выделенных групп образцов.

Анализируемые изображения (рис. 2) представляют набор фотографий исследуемых образцов, полученных на микроскопе LeicaMZ6, при минимальном для блока оптики данной модели значении увеличения, равном 0,63.

Полученные для каждой из групп цветовые палитры и их числовые представления - характеристики по красному (R – red), зеленому (G – green) и синему (B – blue) каналам позволили оценить возможность разделения по RGB-значениям. На рис. 3 представлены гистограммы распределения для каждой из групп отдельно по R,G и B каналам. Рудная масса, выделенная ранее в группы 1 и 2, в данном случае относится к породному продукту. Слюдистые минералы (группа 2) необходимо выделить из последующего процесса получения сунгулитового продукта, поскольку они значительно снижают эффективность процессов дробления. Результаты, представленные на графиках, свидетельствуют о возможности разделения кускового материала пробы с использованием RGB характеристик. Наблюдаются различия между максимальным значением показателей RGB в группах 1 и 2 и минимальным значением в группах 3-5 (5 группа на графике соответствует переходной группе).

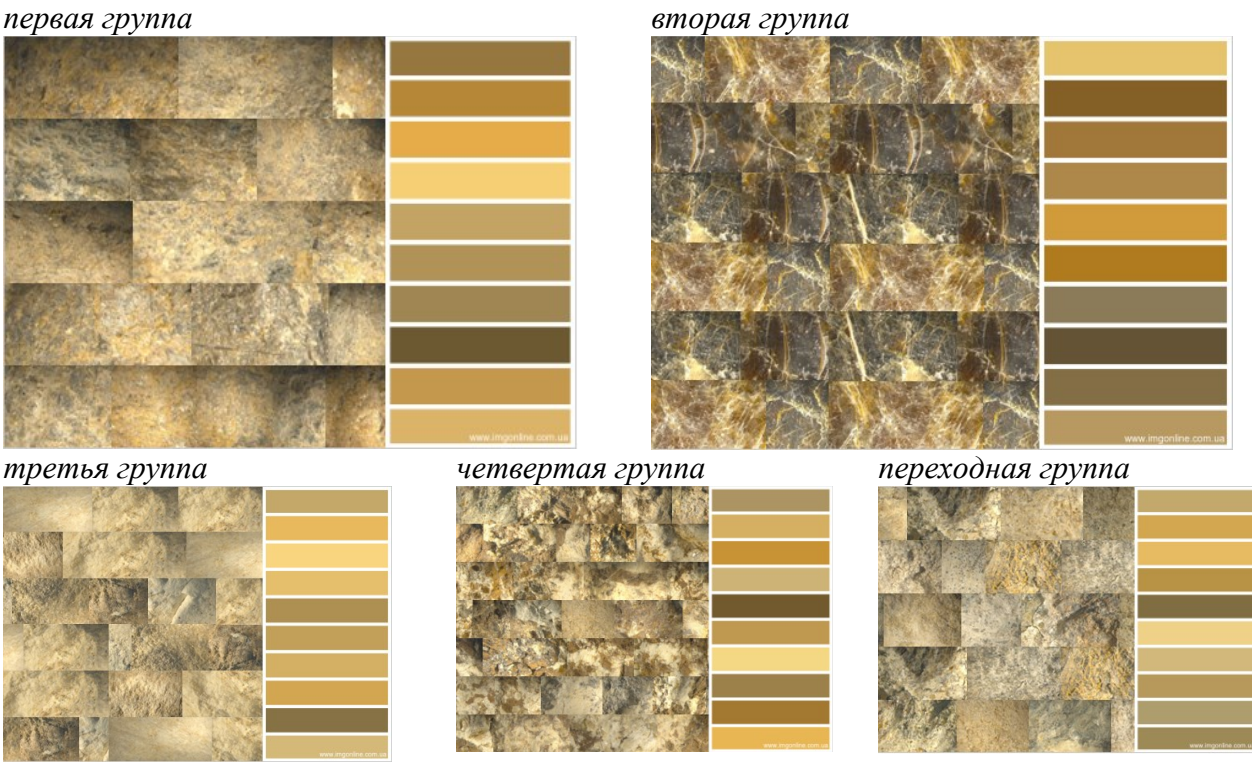

Рис. 2 – Цветовые изображения кускового материала пробы

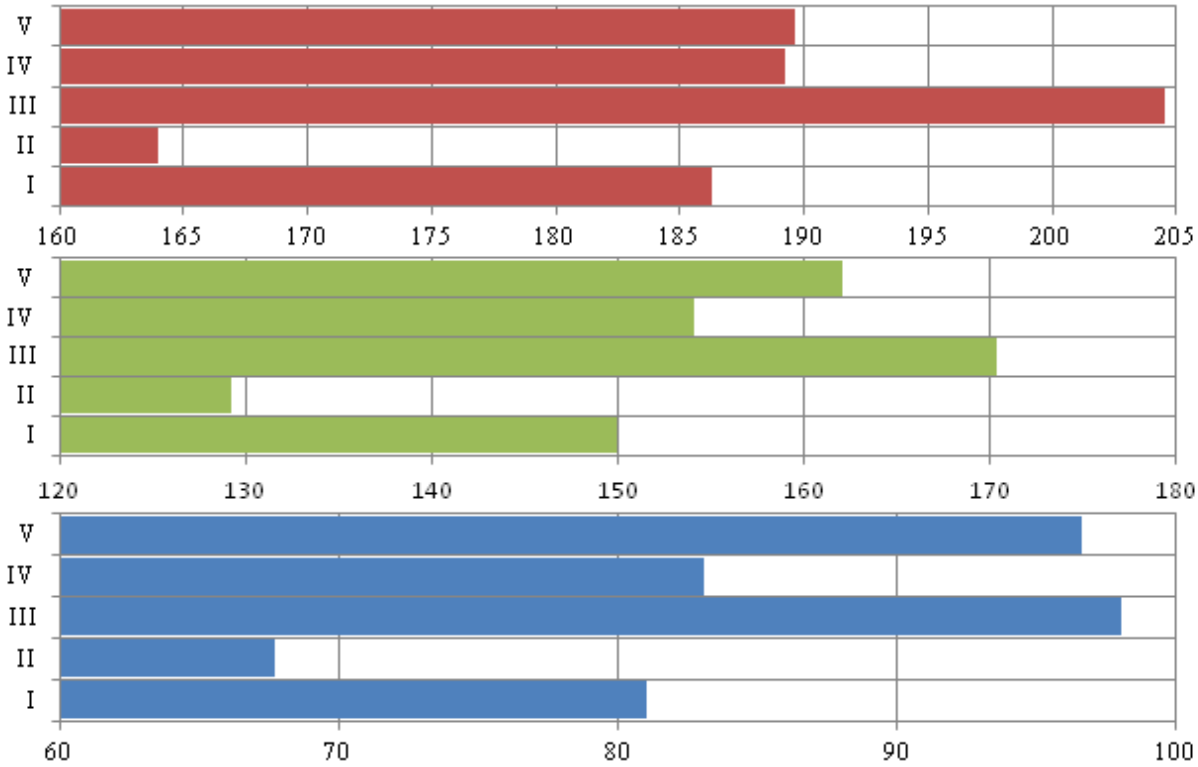

Рис. 3 – Гистограммы распределения RGB-характеристик

Подбор режимов фотометрической сепарации

Разделение минерального сырья по его цветовым характеристикам является основой фотометрического метода, основанного на взаимодействии излучения видимого спектрального диапазона с веществом – облучении кусков пробы первичным излучением видимого спектрального диапазона (от 380 до 760 нм) и регистрации вторичного излучения в виде диффузного или зеркального отражения от их поверхности либо при регистрации излучения, прошедшего через куски. Поскольку исследованию подвергались образцы горных пород (рис. 4), то в качестве признака разделения использована интенсивность диффузно-отраженного от поверхности кусков светового потока (рис. 5).

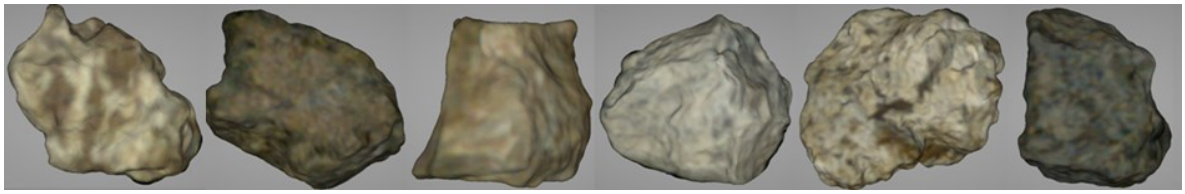

Рис. 4 – Примеры кускового материала пробы, созданные с использованием технологии 3D – прототипирования

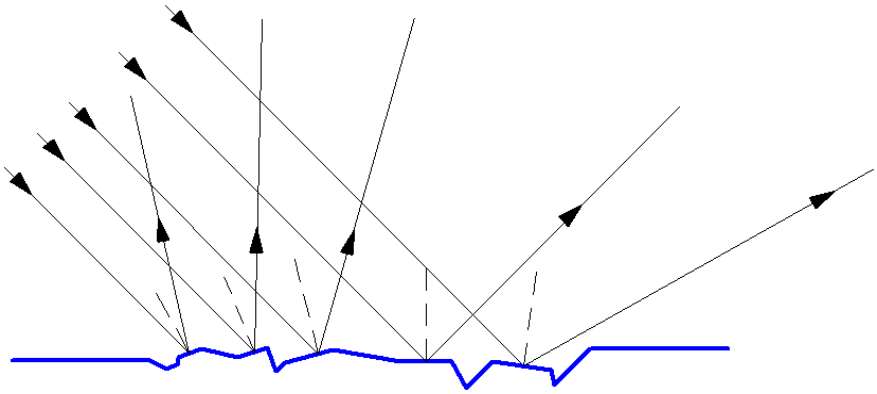

Рис. 5 – Схема диффузного отражения света

Изучение диффузно-отраженного светового потока с поверхности исследуемых образцов проведено на лабораторном стенде. В качестве источника первичного излучения и детектора, регистрирующего диффузно-отраженный световой поток первичного излучения, используется датчик распознавания цвета TCS230 (рис. 6).

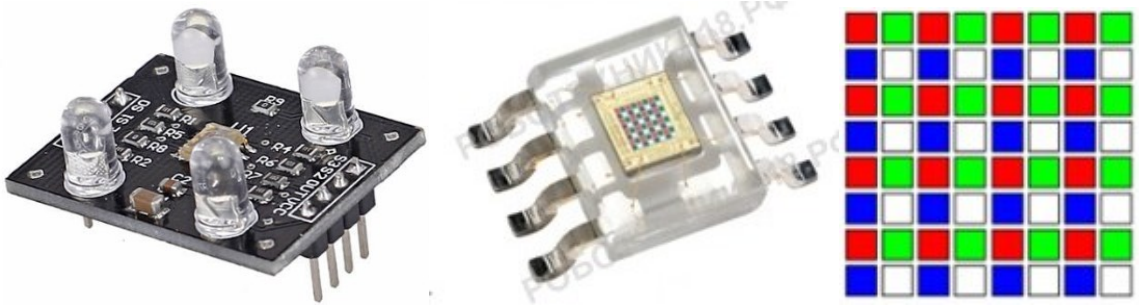

Рис. 6 – Датчик распознавания цвета TCS230

Источник первичного излучения – светодиод, работающий в видимом спектральном диапазоне (от 380 до 760 нм). Детектор представляет собой фотодиодную матрицу,

состоящую из набора фотодиодов 8x8: 16 фотодиодов имеют голубой фильтр, 16 фотодиодов – зеленый фильтр, 16 фотодиодов – красный фильтр и 16 фотодиодов без фильтра.

Проведенные измерения позволили построить графики RGB-характеристик образцов горных пород (рис. 7). На первом графике представлены результаты измерений по каждой группе, далее (на графиках 2 – 8) они объединены в два продукта: «*ore*» - обогащенный вермикулит-сунгулитовый продукт (группы 3, 4 и переходная) и «*waste*» - продукт, представленный кусками рудной массы, которые необходимо выделить (группы 1 и 2).

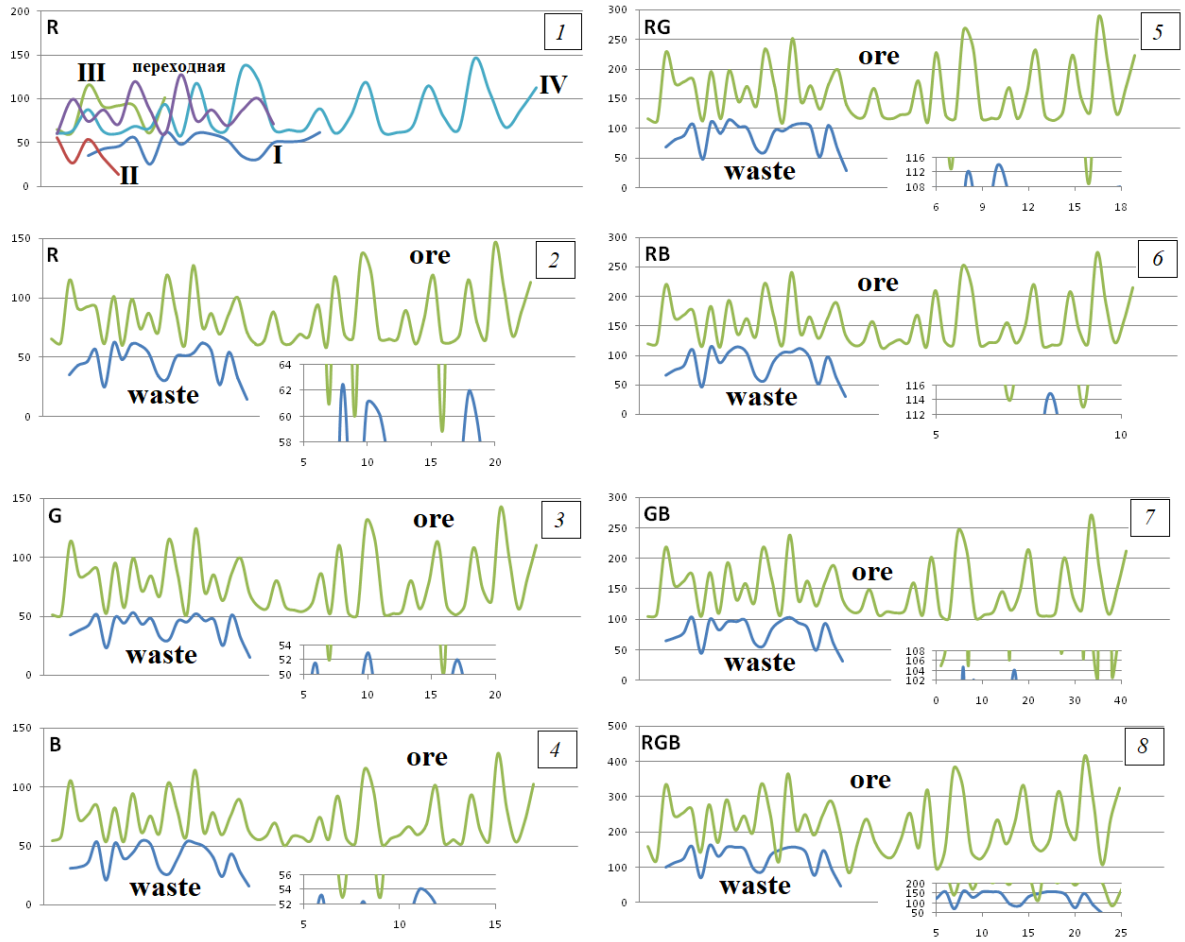

Рис. 7 – RGB-характеристики образцов горных пород

Проанализированы варианты разделения с использованием не только одного параметра (графики 2-4), но и их комбинаций (графики 5-8). Зарегистрированные сигналы по каждому из цветовых каналов RGB изменяются в широком диапазоне – для рудной части в пределах от 50 до 150 ед., значения для породного продукта изменяются от 20 до 50 ед. Установлено наличие единичных пересечений между породным (waste) и рудным (ore) продуктами. Анализ вариантов разделения показал, что наименьшее количество пересечений получено при использовании комбинации значений по каналам R и B (график 6).

Заключение

Оценка возможности применения кускового обогащения вермикулит-сунгулитовой руды фотометрическим методом сепарации на рудной массе крупностью +10 мм базируется на результатах минералого-петрографического описания исследуемой пробы, обеспечивших формирование 5 групп, различающихся по окраске, текстурному облику

и составу слагающих минералов, анализе RGB - характеристик цветовой палитры изображений образцов их составляющих, изучении диффузно-отраженного светового потока с поверхности исследуемых образцов.

Результаты проведенных исследований показали, что при использовании комбинации цветовых характеристик по каналам R и B в породный продукт можно выделить образцы, представленные оливином, пироксеном, флогопитом и слюдистыми минералами. Выделение последних обусловлено их отрицательным влиянием на процессы дробления. Количество породной составляющей пробы равно 35 %. В рудном продукте сосредоточены лизардит и вермикулит (52 %) и образцы, у которых отмечено присутствие мелких включений пироксена (эгирин или эгирин-авгит) и флогопита (13 %).

Таким образом, установлена целесообразность применения кускового обогащения вермикулит-сунгулитовой руды фотометрическим методом сепарации для выделения перед последующими процессами рудоподготовки и обогащения значительного объема породной составляющей.

Литература

1. Оценка эффективности переработки техногенного сырья рудных месторождений Кольского горнопромышленного комплекса / Е.В. Громов, А.С. Опалев, В.А. Иванова, М.С. Хохуля // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2018. - № 3(59). - С. 77 – 90.

2. Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель / Иванова Л.А., Кременецкая И.П., Иноземцева Е.С., Горбачева Т.Т., Корытная О.П. Патентообладатель: Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кол. науч. центра РАН. Патент RU248463C2. Опубликовано: 20.06.2013, Бюл. № 17.

3. О возможности переработки техногенных отходов добычи флогопитового сырья / С.В. Терещенко, С.А. Алексеева, Е.Д. Рухленко, И.П. Кременецкая, И.А. Мосендз // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 10. - С. 186 – 193.

4. Опыт сотрудничества институтов КНЦ РАН при разработке способов снижения техногенной нагрузки на природно-антропогенные ландшафты Мурманской области / И.П. Кременецкая, Л.А. Иванова, Т.Т. Горбачева, С.А. Алексеева, С.В. Дрогобужская, В.В. Лащук, С.В. Терещенко // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. - 2017. – № 14. – С. 427 – 429.

5. Материалы природоохранного назначения из отходов открытой добычи флогопита / И.П. Кременецкая, С.А. Алексеева, Е.Д. Рухленко, В.В. Лащук, С.В. Бастрыгина, Л.А. Иванова, С.В. Терещенко // Экология и промышленность. – 2015. - № 2. - С. 18 – 23.

6. Комплексное использование вермикулит-сунгулитовых отходов для ремедиации техногенно загрязненной территории / Мосендз И.А., Алексеева С.А., Кременецкая И.П., Дрогобужская С.В., Слуковская М.В., Иванова Л.А. // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения - 2017). - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. - С. 388 – 391.

7. Кадастр. Состояние и перспективы образования отходов горно- металлургического производства [Электронный ресурс]. – URL: https://www.murman.ru/ecology/cadastre/3-9.html/ (дата обращения: 05.08.18)

8. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / А.А. Кухаренко, М.П. Орлова, А.Г. Булах. - М.: Недра, 1965. - 772 с.