

Министерство образования и науки РФ
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»
в г. Апатиты

Научно-исследовательская лаборатория
«Моделирование технологических процессов добычи и переработки полезных
ископаемых»

Аверин Антон Алексеевич, Асанович Данил Алексеевич,
Заболотный Владислав Сергеевич
ОБОГАЩЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТ-СУНГУЛИТОВОЙ РУДЫ
ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ

Апатиты
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
<i>Краткая характеристика отходов отработки Ковдорского флогопитоавого месторождения</i>	<i>3</i>
<i>Технология получения вермикулит-сунгулитового продукта</i>	<i>4</i>
ГЛАВА 1. ОЦЕНКА ПРЕДПОСЫЛОК ОБОГАЩЕНИЯ ВЕРМИКУЛИТ-СУНГУЛИТОВОЙ РУДЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ	8
<i>Минералого-петрографическое описание исследуемой пробы</i>	<i>8</i>
<i>Анализ минералого-технологических характеристик минералов, входящих в состав вермикулит-сунгулитового сырья</i>	<i>12</i>
<i>Исследование фотометрических свойств вермикулит-сунгулитового сырья</i>	<i>13</i>
<i>Подбор режимов фотометрической сепарации</i>	<i>15</i>
<i>Выводы по главе 1</i>	<i>17</i>
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА	19
<i>Режимы радиометрического обогащения</i>	<i>19</i>
<i>Анализ систем транспортирования рудной массы в зону облучения и регистрации радиометрических сепараторов</i>	<i>20</i>
<i>Разработка трехмерной модели фотометрического сепаратора</i>	<i>23</i>
<i>Выводы по главе 2</i>	<i>28</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. 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 тепловых электростанций (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.

Краткая характеристика отходов отработки Ковдорского флогопитового месторождения

Ковдорское месторождение флогопита является крупнейшими не только в России, но и в мире. Месторождение флогопита отрабатывалось ООО «Ковдорслюда» открытым способом. Поскольку залежь флогопита является слепой [2] - залегает под вермикулитовой толщей на глубине 40-50 м от поверхности и круто погружается к периферии массива (рис.1) для доступа к флогопит-диопсид-оливиновым породам, сырью для получения слюдяной продукции, извлекались и в основном складировались вермикулитовые руды.

Сформировано 3 склада богатой и 3 склада бедной вермикулитовой руды, склад вскрышных пород Северо-Восточного карьера и склад вермикулит-сунгулитовой руды [3].

Склад вермикулит-сунгулитовых руд занимает площадь 74200м², количество такой рудной массы составляет порядка 400 тыс.т. Оценка её 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 [4].

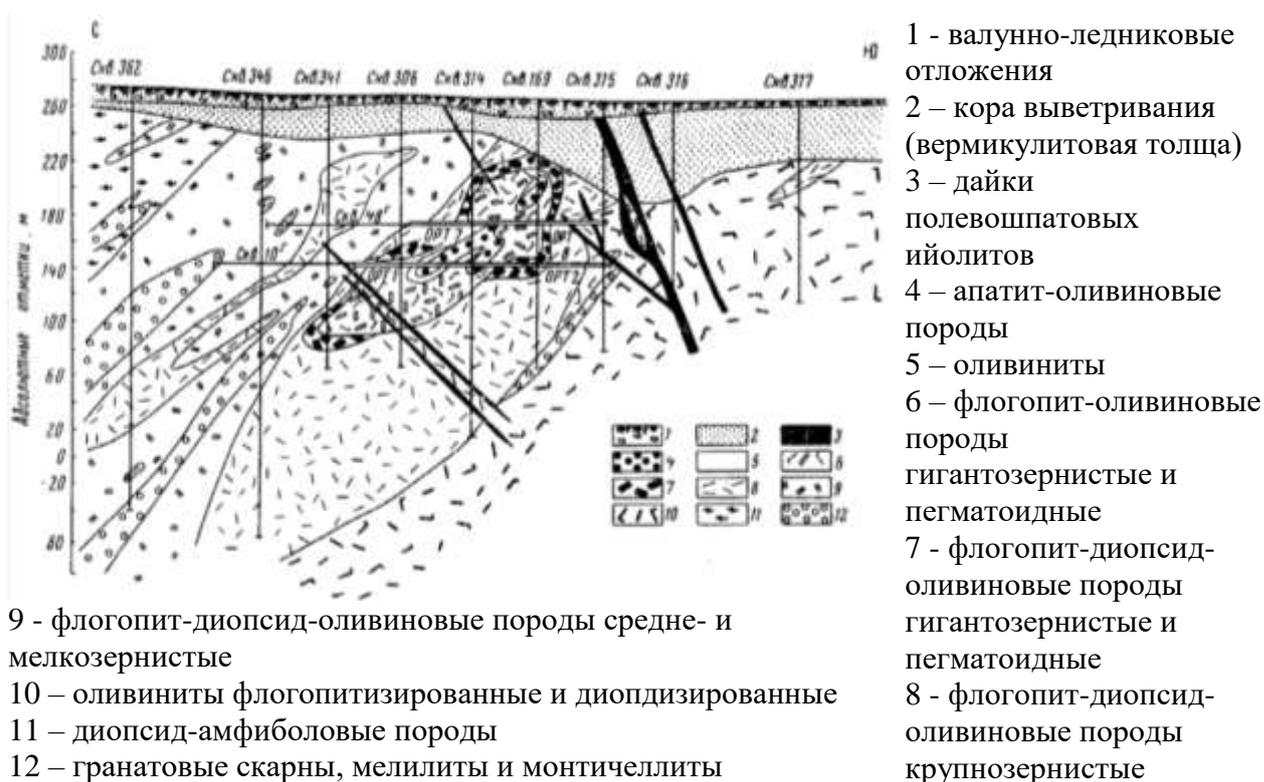


Рисунок 1 – Геологический разрез Ковдорского флогопитового месторождения [2]

Технология получения вермикулит-сунгулитового продукта

Сотрудниками структурных подразделений ФИЦ КНЦ РАН: ИХТРЭМС, ПАБСИ, ИППЭС, ГоИ, филиалом МАГУ в г. Апатиты при финансовой поддержке АО «Кольская ГМК» проведен комплекс исследований, направленных на вовлечение складированных отходов открытой добычи флогопита ООО «Ковдорслюда» (склад вермикулит-сунгулитовых руд) для последующего их полезного применения. Например, для мелиорации техногенно-загрязненных токсичных грунтов и создания травянистой дернины из злаковых растений, устойчивых в условиях промышленных загрязнений [5-9].

В работе [9] представлена технология обогащения вермикулит-сунгулитового сырья. Установлено, что материал крупностью менее 10мм уже является пригодным для полезного применения в качестве мелиоранта в технологии создания искусственных фитоценозов на депрессивных территориях в зоне влияния металлургического комбината. Обогащение материала крупностью +10мм реализуется по схеме (рис.2), представленной в работе [8].

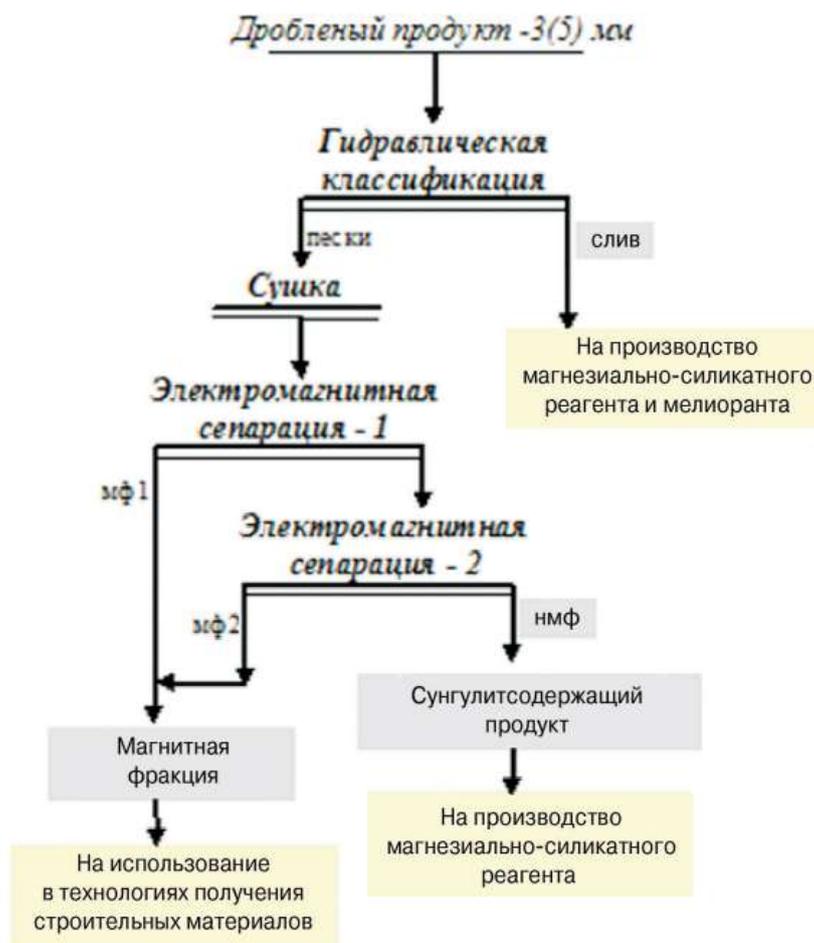


Рисунок 2 – Технологическая схема обогащения сунгулитсодержащих отходов добычи флогопита [5]

Разработанные сотрудниками структурных подразделений ФИЦ КНЦ РАН: ИХТРЕМС, ПАБСИ, ИППЭС технологии, направленные на снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду в районах действия горно-перерабатывающих предприятий, и для благоустройства городских территорий успешно апробированы для реабилитации техногенной пустоши, расположенной вблизи г. Мончегорска (рис.3) [10].



Рисунок 3 - Техногенная пустошь, расположенная вблизи г. Мончегорска

Целью данной работы является разработка модели фотометрического сепаратора для совершенствования технологии получения вермикулит-сунгулитового продукта из отходов открытой добычи флогопита ООО «Ковдорслюда», способствующей повышению рентабельности (экономической привлекательности технологии переработки), за счет применения в голове процесса (на ранней стадии технологического цикла) операции кускового предварительного обогащения реализующегося посредством фотометрической сепарации, обеспечивающей разделение полезных и сопутствующих минералов на основе различий в диффузном отражении.

Идея работы заключается в применении минералого-технологических особенностей вермикулит-сунгулитового сырья, возможностей имитационного и физического моделирования для создания физической модели фотометрического сепаратора, с повышенной, за счет нового варианта транспортирующего устройства эффективностью разделения на рудный и породный продукты.

Задачи:

1. Изучение минералого-технологических особенностей вермикулит-сунгулитового сырья, выбор условий и режимов разделения, выделения из кускового материала отходов полезного, для дальнейшего использования, вермикулит-сунгулитового продукта;
2. Создание модели фотометрического сепаратора:

- анализ систем транспортирования образцов в зону облучения и регистрации диффузно-отраженного светового потока от поверхности изучаемых образцов;

- разработка варианта транспортирующего устройства, обеспечивающего покусковый режим измерения и регистрации образцов с фиксированным до него расстоянием, колебания определяются только размерами куска в исследуемом узком диапазоне крупности;

- разработка систем облучения, регистрации диффузно-отраженного светового потока от поверхности изучаемых образцов и обработки информации фотометрического сепаратора.

ГЛАВА 1. ОЦЕНКА ПРЕДПОСЫЛОК ОБОГАЩЕНИЯ ВЕРМИКУЛИТ-СУНГУЛИТОВОЙ РУДЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ

Минералого-петрографическое описание исследуемой пробы

Кусковой материал складированного вермикулит-сунгулитового сырья, крупностью +10мм визуально по окраске, текстурному облику и составу слагающих минералов разделен на четыре группы (рис.3):

- 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 зёрен 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.

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 (рис.4). 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-зелёного, двойниковым срастанием по кристаллографической плоскости (100), а также спайностью, характерным блеском и относительно высокой твёрдостью (5-6).

Флогопитовые кристаллы (рис.5), входящие во *вторую группу*, определяются по характерному чешуйчатому облику кристаллов, золотисто–зеленоватой окраске, низкой твёрдостью (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.

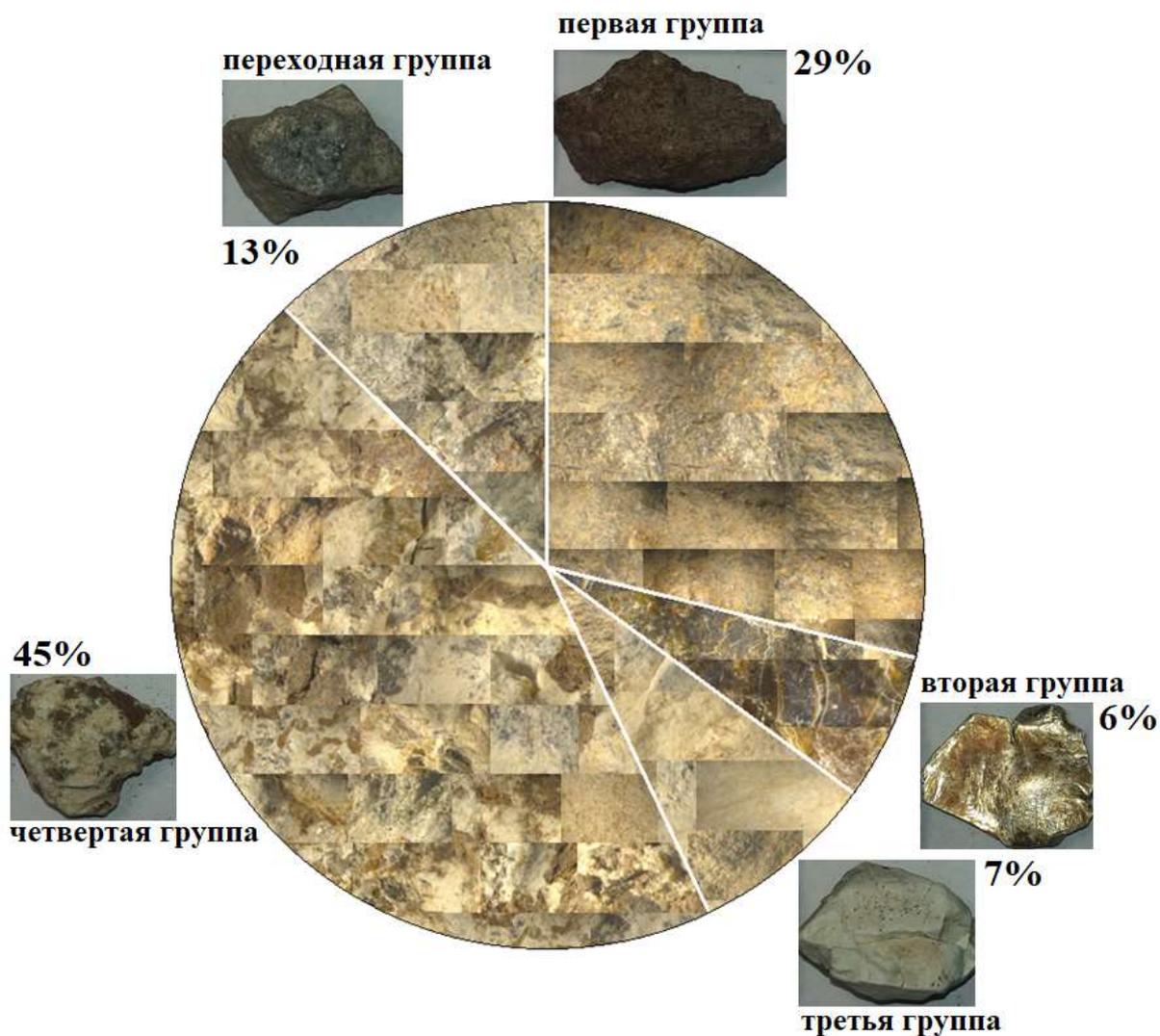


Рисунок 3 - Распределение образцов вермикулит-сунгулитовой руды по группам

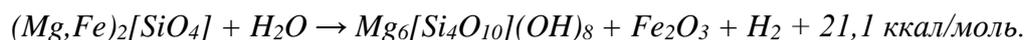


Рисунок 4 - Бесцветные зерна оливина в породе и присутствующие по тонким трещинам гидроокислы железа буровато-коричневого цвета

В образцах *третьей группы* преобладает лизардит от светло-серой до белой окраски с включением мелких зёрен вермикулита, расположенных по сланцеватости

(рис.6). Сунгулит, имеющий такую же химическую формулу, что и серпентин и развивающийся зачастую по вермикулиту.

Четвертая группа представлена вермикулитом, образованным за счет интенсивного разложения железистого флогопита и биотита, придавая образцам бурый, желтовато-бурый, бронзово-жёлтый цвет. Гнездовые скопления вермикулита контрастно выделяются на фоне вмещающей их белой лизардит-сунгулитовой массы (рис.6). Бурая окраска в описанных скоплениях, вероятно, обязана процессу серпентинизации оливина, проходящему по следующей реакции:



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

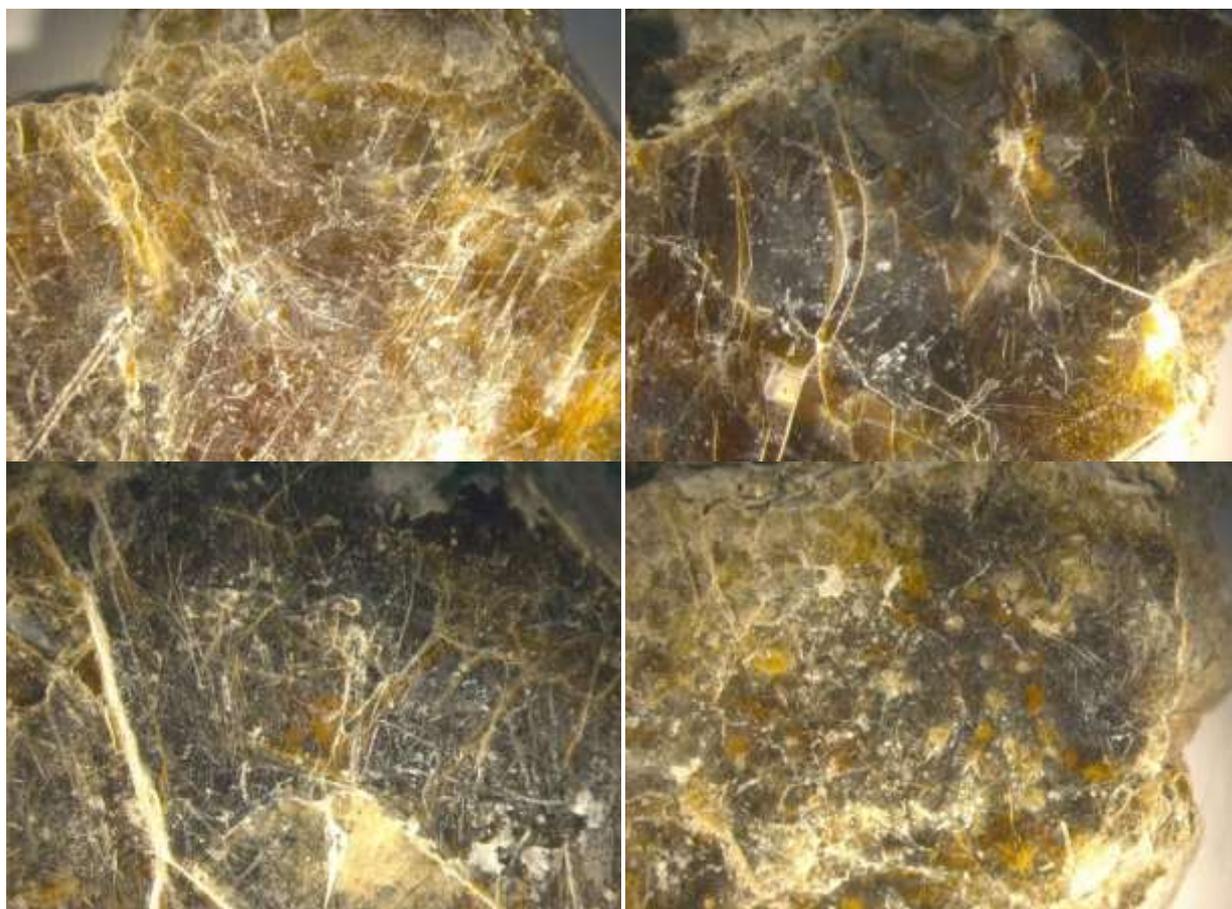


Рисунок 4 – Изображения флогопита, флогопита с включениями между чешуйками и листками вторичного лизардита



Рисунок 5 - Лизардит от светло-серой до белой окраски с включением мелких зёрен вермикулита

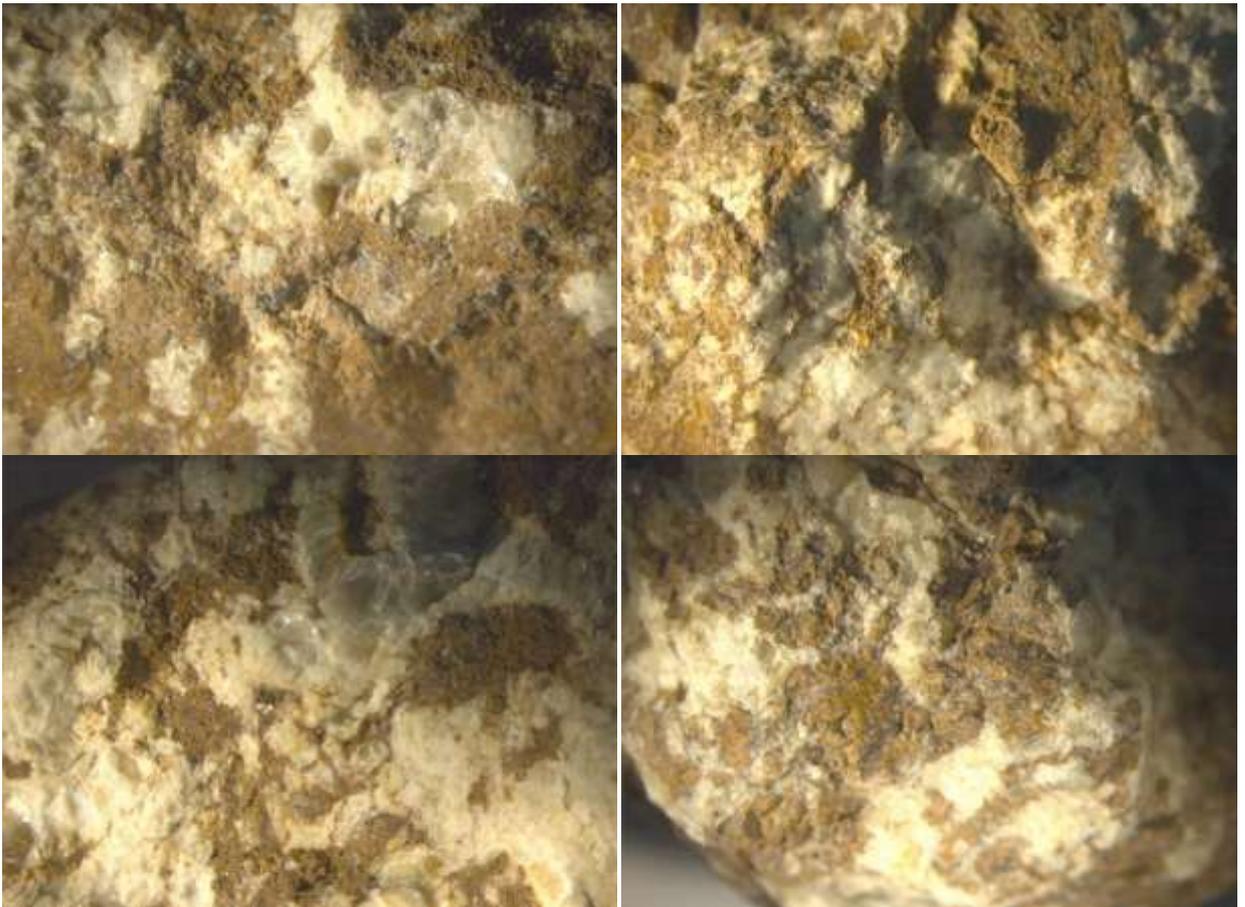


Рисунок 6 - Скопления вермикулита в лизардит-сунгулитовой массе

В некоторых образцах из *переходной группы*, кроме указанных выше минералов, отмечается пироксен (эгирин или эгирин-авгит), образующий гнёзда в виде хорошо оформленных кристаллов или мелкую тонкую сыпь зёрен чёрного цвета, равномерно рассеянной по всей породе (рис.7). В образцах этой группы присутствуют также кристаллы флогопита золотисто-жёлтой окраски.



Рисунок 7 – Включения зерен пироксена и кристаллов флогопита в лизардит-сунгулитовой массе

Анализ минералого-технологических характеристик минералов, входящих в состав вермикулит-сунгулитового сырья

В составе изучаемой пробы выделены следующие основные минералы:

- сунгулит ($Mg_3(Fe, Ni, Mn) Si_2O_5(OH)_4$),
- вермикулит ($(Mg^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3 [(Al, Si)_4 O_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot 4H_2O$),
- флогопит ($KMg_3[Si_3AlO_{10}] \cdot (F, OH)_2$),
- пироксен ($(Mg, Fe, Ca, Na, Mn, K; Mg, Al, Fe^{3+}, Fe^{2+})_2 Si_2O_6$),
- оливин ($(Mg, Fe)_2 [SiO_4]$).

В таблице 1 приведены минералого-технологические свойства минералов, входящих в состав сунгулит-вермикулитового сырья.

Анализ данных, представленных в таблице 1, выявил наличие предпосылок к использованию гравитационных и радиометрических методов. Применение электрических и магнитных свойств рассматриваемых минералов для реализации процесса разделения мало эффективно, поскольку параметры для разделения (диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление) близки по своим значениям, либо относятся к одной группе, например, диамагнетиков по удельной магнитной восприимчивости (удельная магнитная восприимчивость диамагнетиков меньше $1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Вмещающие породы, выделенные в первую группу, представленные оливином и пироксеном, характеризуются повышенной плотностью, более $3 \text{ г}/\text{см}^3$, по сравнению с флогопитом, вермикулитом и сунгулитом, что обуславливает возможность применения гравитационных методов кускового обогащения. Разделение по оптическим характеристикам (по цвету) позволит выделить также флогопит, что положительно скажется на процессе дробления, обладающего упругими свойствами при приложении нагрузки, тогда как остальные минералы являются хрупкими и ломкими.

Таблица 1 – Минералого-технологические свойства минералов, входящих в состав сунгулит-вермикулитового сырья

	Оливин	Пироксен	Флогопит	Вермикулит	Сунгулит
<i>Свойства, влияющие на измельчение</i>					
Спайность	Средняя	Средняя	Весьма сов.	Сов.	Сов.
Твердость по шкале Мооса	6,5-7	5-6	2-3	1-1,5	2,5-3
Микротвердость, кгс/мм ²	(897-1290)/925		(49-61)/58		
	Хрупкий	Хрупкий	Упругий	Хрупкий	Ломкий
<i>Плотность</i>					
Плотность, г/см ³	3,3-3,4	3-4	<3	2,2-2,6	2,05-2,45
<i>Люминесцентные свойства</i>					
Цвет свечения минерала - фотолюминесценция - рентгенолюминесценция			ЖО ОК		
Замещающий элемент			Ca ²⁺		
<i>ЖО – желто-оранжевый, ОК – оранжево-красный</i>					
<i>Электрические и магнитные свойства</i>					
Проводимость и коэффициент термоЭДС, мкВ/град			Д	Д	
Диэлектрическая проницаемость	7,3-15,0	6,0-9,0	6,2	5,9-13,5	6,0-10,0
Удельное сопротивление, Ом·м	2·10 ¹²	(1,3-9,3)·10 ³	-	-	(5-7)·10 ⁹
Удельная магнитная восприимчивость, 10 ⁻⁹ м ³ /кг	-	0,1-18	5,8	38,8	25-35
<i>Оптические свойства</i>					
Цвет	зеленый, коричневый, черный	коричнево-серый, бесцветный, зелёный, коричнево-жёлтый, тёмно-зелёный, черно-зеленый, чёрный		бурый, желтовато-бурый, золотисто-жёлтый, бронзово-жёлтый, зеленоватый до черноватого	кремовый, светло-желтый

Исследование фотометрических свойств вермикулит-сунгулитового сырья

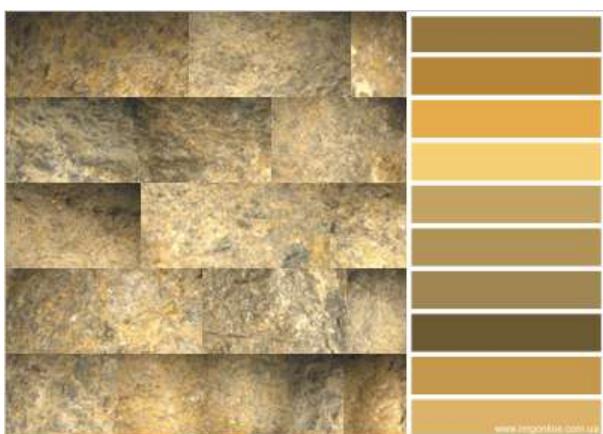
Предварительная оценка возможности использования различий в окраске минеральных разновидностей присутствующих в пробе для разделения на рудный и породный продукты, основана на изучении их фотометрических свойств: определении основных составляющих цветовой палитры выделенных группы образцов.

Анализируемые изображения (рис.8) 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 цветные 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 рисунке 9 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).

первая группа



вторая группа



третья группа



четвертая группа



переходная группа



Рисунок 8 - Цветовые изображения кускового материала пробы

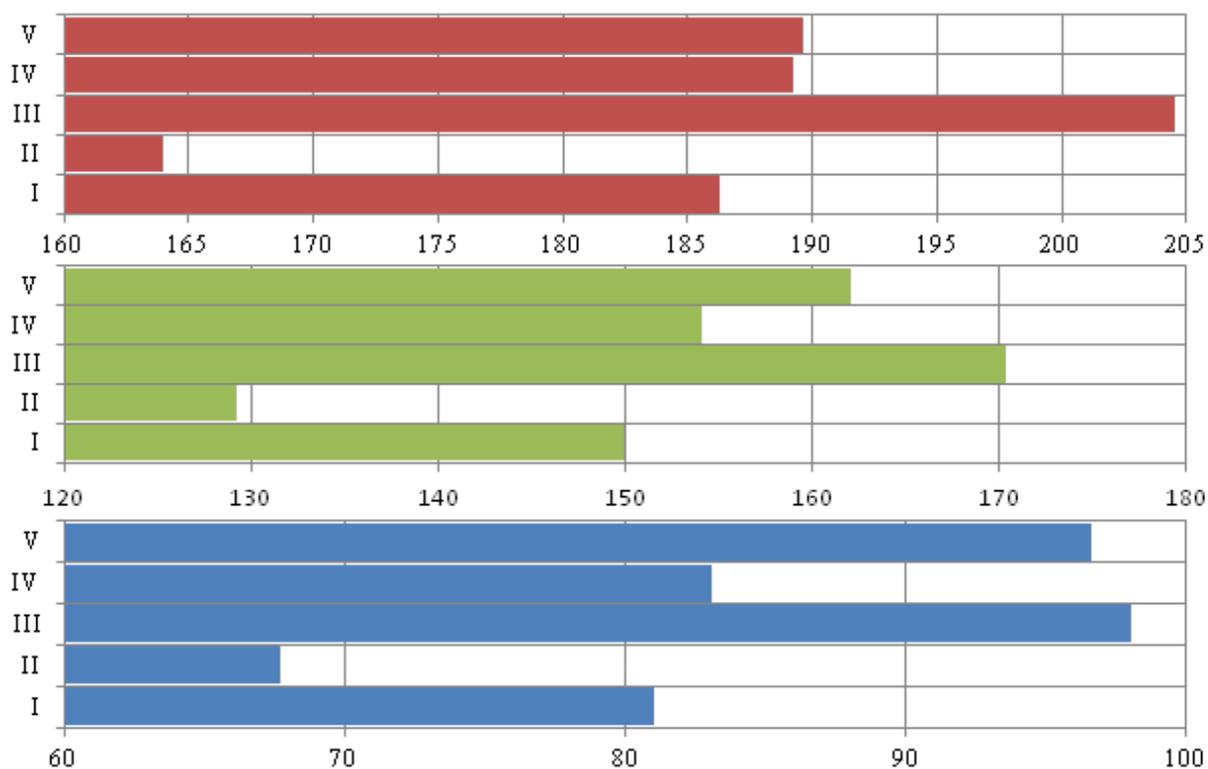


Рисунок 9 - Гистограммы распределения RGB-характеристик

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.10), то в качестве признака разделения использована интенсивность диффузно-отраженного от поверхности кусков светового потока (рис.11).

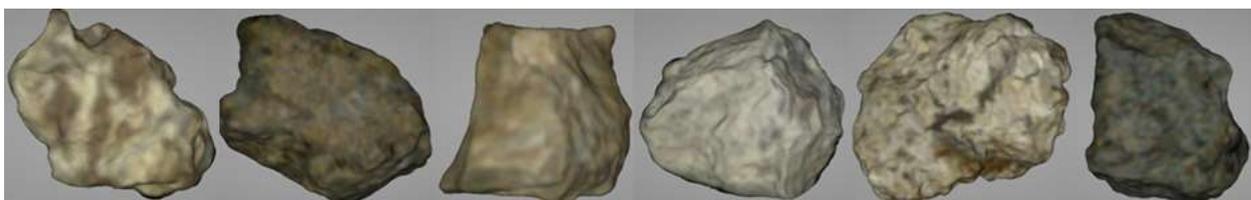


Рисунок 11 - Примеры кускового материала пробы, созданные с использованием технологии 3D – прототипирования

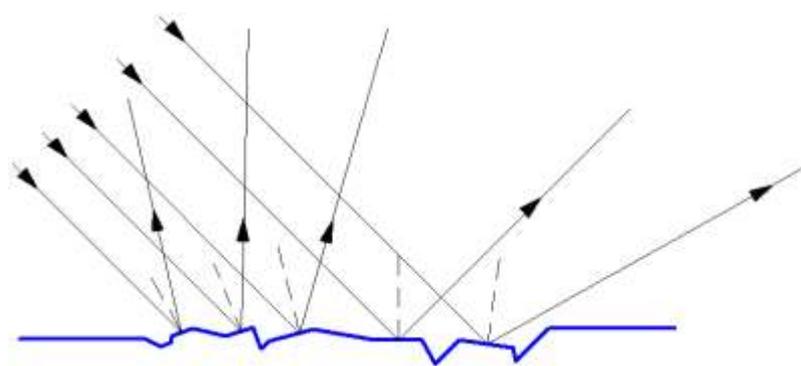


Рисунок 12 - Схема диффузного отражения света

Трехмерные модели образцов (цифровые двойники кусков исследуемой пробы) вермикулит-сунгулитового сырья созданы посредством технологии 3D сканирования.



Рисунок 13 – Трехмерное сканирование

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.14).

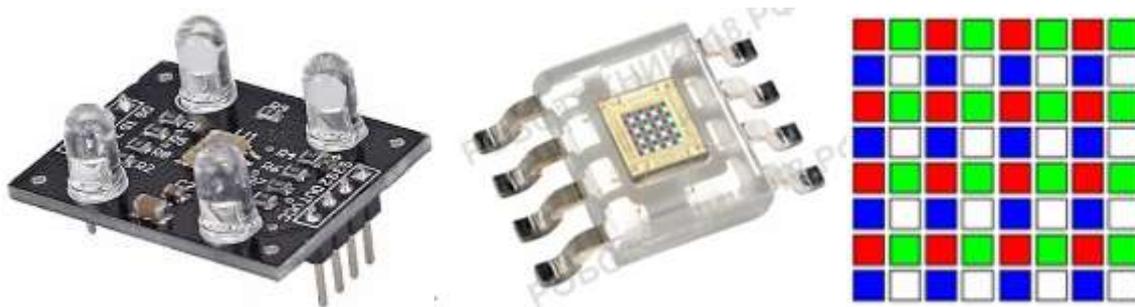


Рисунок 14 - Датчик распознавания цвета TCS230

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.15). 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).

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 150ед., значения для породного продукта изменяются от 20 до 50ед. 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).

Выводы по главе 1

Результаты оценки оптических характеристик вермикулит-сунгулитового сырья, реализованной на основе анализе цветовой палитры групповых изображений, сформированных по минералого-петрографическому описанию, свидетельствуют о возможности использования различий в окраске минеральных разновидностей присутствующих в пробе для разделения на рудный и породный продукты. В породный продукт, составляющий 35% от массы материала +10 мм, выделены образцы,

представленные оливином, пироксеном, флогопитом и слюдистыми минералами. Выделение последних обусловлено их отрицательным влиянием на процессы дробления. В рудном продукте сосредоточены лизардит и вермикулит (52%) и образцы, у которых отмечено присутствие мелких включений пироксена (эгирин или эгирин-авгит) и флогопита (13%).

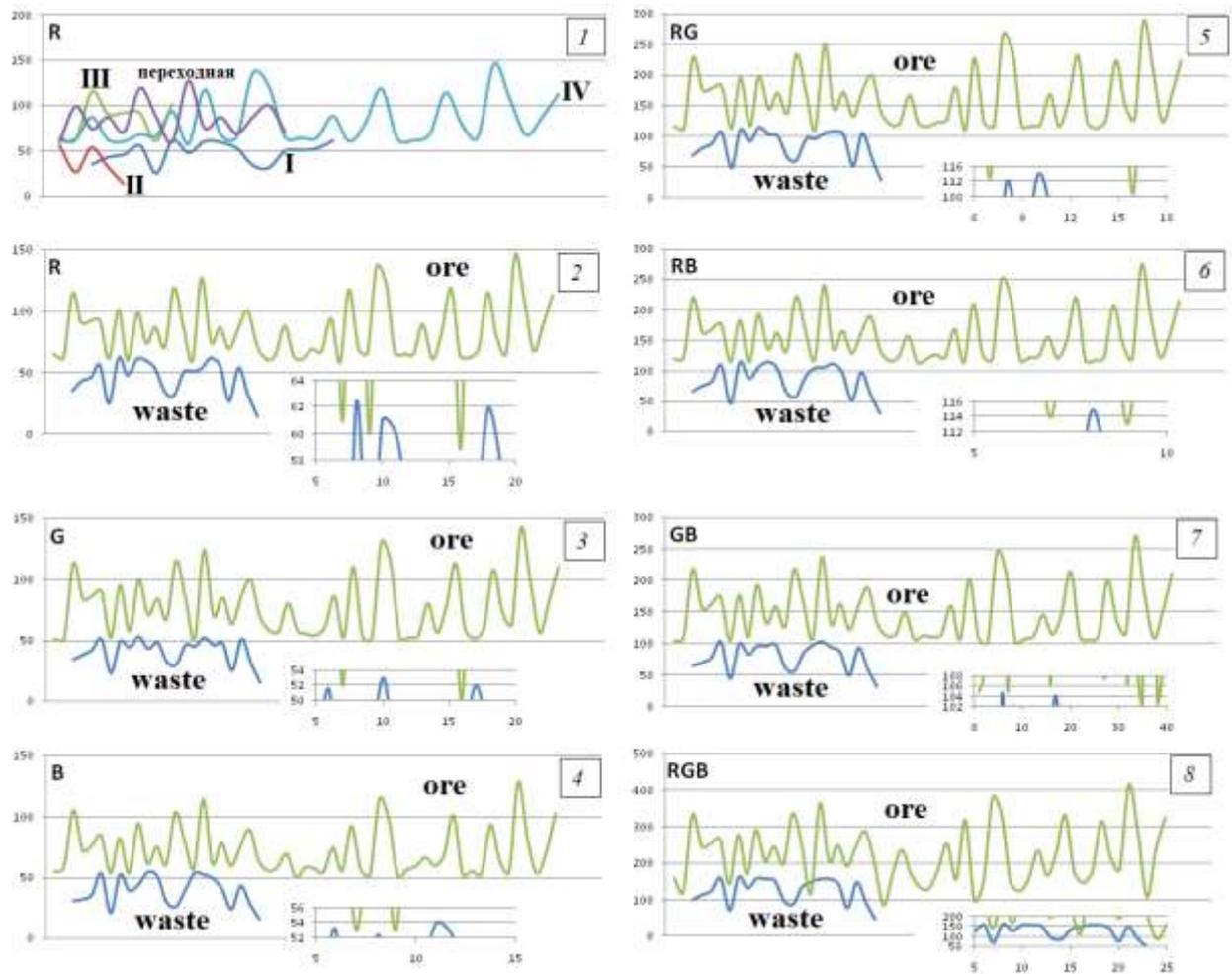


Рисунок 15 - RGB-характеристики образцов горных пород

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА

Режимы радиометрического обогащения

Процесс радиометрического разделения можно реализовать в трех основных режимах – крупнопорционной сортировки, покусковой сепарации, мелкопорционной сортировки [12].

Крупнопорционная сортировка основана на регистрации интенсивности излучения от рудной массы, загруженной в различные транспортные емкости – ковши экскаваторов, вагонетки, автосамосвалы, скипы и т.д. (рис.16).



Рисунок 16 – Крупнопорционная сортировка
(ОАО «Приаргунский горно-химический комбинат»)

При покусковой сепарации происходит разделение горной массы определенной крупности на рудный и породный продукты, или на различные по содержанию полезного компонента технологические сорта. Нижний и верхний пределы крупности сепарируемого минерального сырья зависят, с одной стороны, от применяемого метода и уровня его развития, с другой стороны, от физических свойств кусков горной массы. Максимальная крупность кусков от 200-250 мм (в отдельных случаях от 300 мм). Наиболее часто нижний предел сепарируемого материала составляет 20-25 мм. Модуль крупности сепарационных классов, как правило, не превышает 2 единиц.

При мелкопорционной сортировке сепарируемый материал распределяется монослоем по поверхности транспортирующего устройства и, перемещаясь, попадает в зону его облучения и регистрации. В зависимости от интенсивности регистрируемого

излучения объем, определяющийся линейными размерами зоны облучения и толщиной слоя, выделяется в соответствующий приемник (рудный, породный, сортовой).

Поскольку крупность исследуемой пробы +10мм используем процесс покусковой сепарации посредством фотометрического сепаратора.

Анализ систем транспортирования рудной массы в зону облучения и регистрации радиометрических сепараторов

Фотометрический сепаратор реализует следующую последовательность операций, необходимую для разделения на продукты - обогащенный полезными компонентами и породный, представленный пустыми и слабоминерализованными породами:

- транспортирование кусков рудной массы в зону облучения (первичным излучением);
- регистрация вторичного излучения, возникающего при взаимодействии первичного излучения с веществом сепарируемого материала;
- обработка сигналов вторичного излучения по определенному алгоритму;
- разделение исходного материала на продукт, обогащенный полезными компонентами и породный продукт, представленный пустыми и слабоминерализованными породами.

Для транспортирования кусков в зону облучения и регистрации в основном применяется два вида устройств:

- вибропитатели (рис.17);
- конвейерные ленты (рис.18).

Анализ результатов исследований, представленные в работах [7-9], выявил малую скоростью движения кусков руды (около 1 м/с), пролетающих мимо детектора, невысокую производительность сепараторов с вибропитателями в качестве транспортирующего устройства кусков в зону облучения и регистрации также обуславливает наличие «растяжки» (расстояния между кусками ручья, чтобы детектор измерял только один кусок). Кроме того, отмечен значительный разброс траекторий движения кусков в свободном падении (рис.19), отрицательно влияющий на работу системы облучения и регистрации и работу исполнительного механизма.

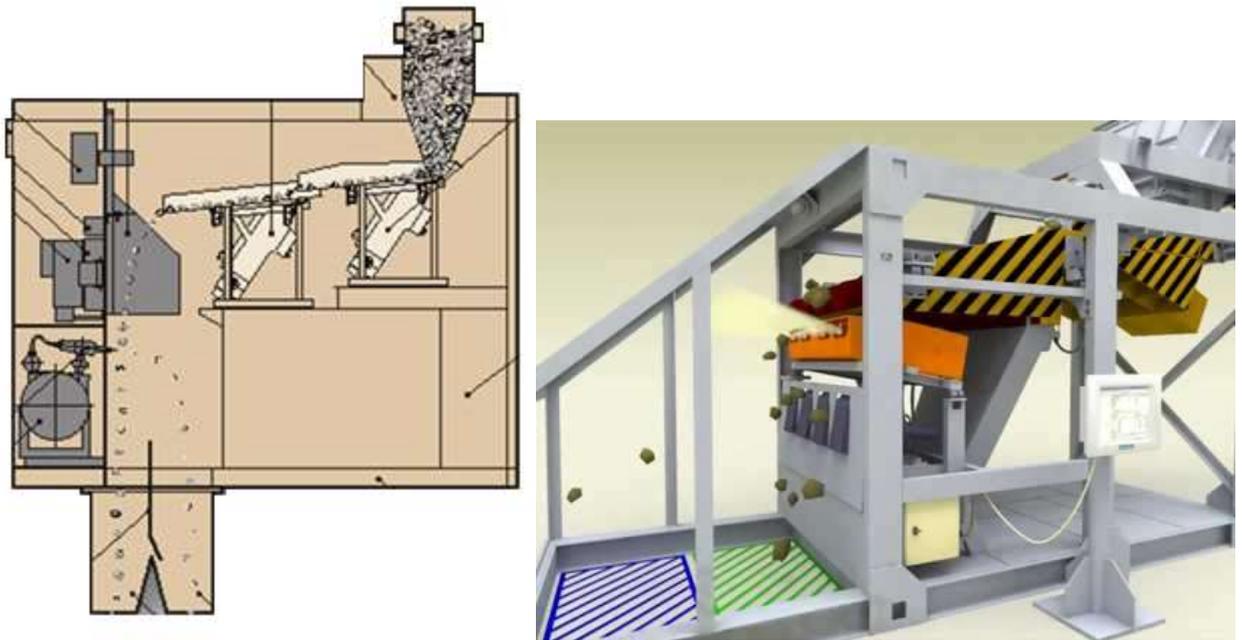


Рисунок 17 – Транспортирование рудной массы посредством вибропитателей

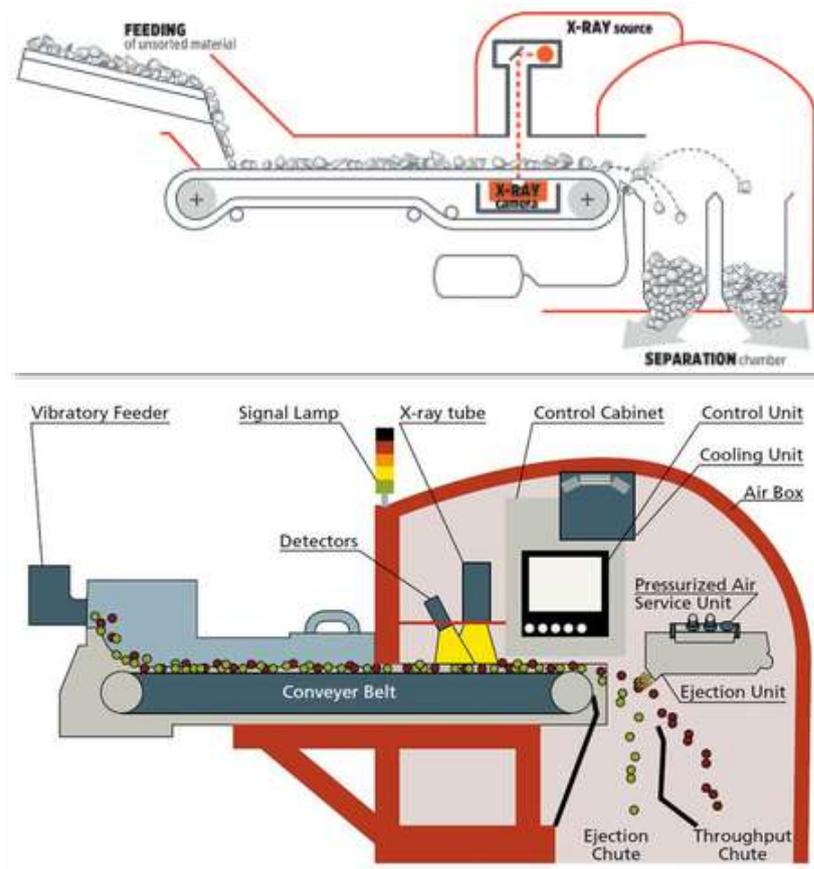


Рисунок 18 – Транспортирование рудной массы посредством конвейерной ленты

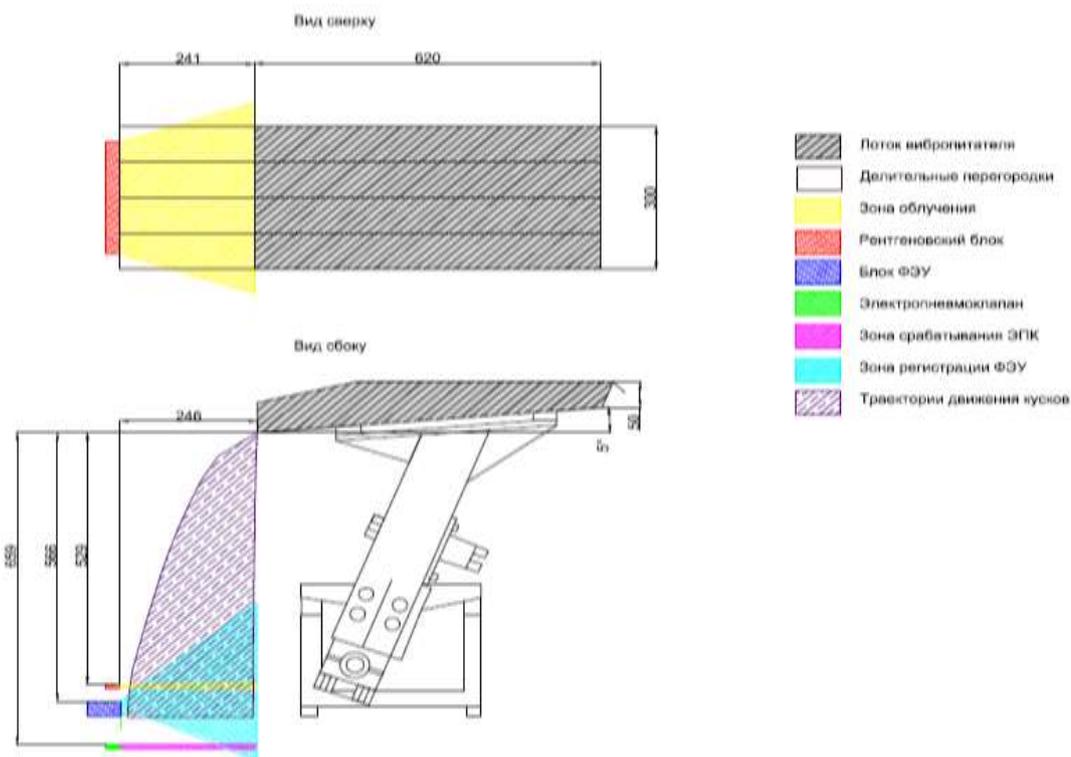


Рисунок 19 – Разброс траекторий движение кусков в зоне свободного падения

Для обеспечения высокой производительности работы сепаратора при перемещении кусков на конвейерной ленте формируется плотный поток рудной массы (рис.18), не позволяющий эффективно реализовывать покусковый режим измерения и отсечки. Поскольку в качестве исполнительного механизма используются пневмоклапаны, не позволяющие создать направленный поток воздуха, при такой плотности движения кусков захватываются и соседние куски, не детектированные для выделения.

В таком режиме достаточно сложно из всего потока выделить конкретный минерал или кусок, поэтому выделяется вся порция, находящаяся в зоне облучения и регистрации. Таким образом, реализуется операция сокращения рудопотока с повышением его качества. Если качества рудопотока не удовлетворяет предъявляемым требованиям, то концентрат мелкопорционной сортировки можно направить на другой сепаратор. Следовательно, поточный режим используется для повышения производительности процесса сепарации в целом [16].



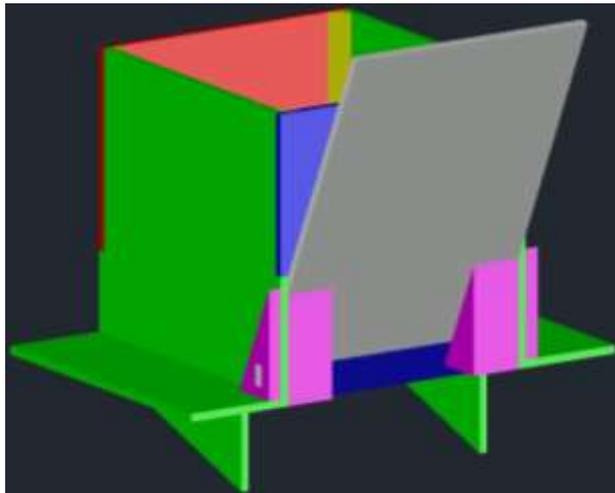
Рисунок 18 – Движение рудного материала по конвейерной ленте

Разработка трехмерной модели фотометрического сепаратора

Конструкция фотометрического сепаратора разработана в системе автоматизированного проектирования «AutoCAD» с учетом результатов моделирования в программном комплексе ROCKY DEM. Изучение процесса движения рудной массы и взаимодействия кусков с поверхностью реализовано в программном комплексе ROCKY DEM сотрудниками Горного института КИЦ РАН. ROCKY DEM - универсальный инструмент на базе метода дискретных элементов, предназначенный для моделирования поведения частиц сыпучего материала разнообразной формы и размера, позволяет рассчитывать взаимодействие каждой отдельной частицы с индивидуальными элементами конструкции, и оценивать работу как отдельных узлов, а также системы в целом).

Модель фотометрического сепаратора разрабатывалась для рудной массы крупность $-25+10\text{мм}$, что определило габаритные размеры приемного бункера и всей конструкции в целом. Значение параметров бункера должно удовлетворять условию $L \geq 3l_{max}$, $B \geq 3l_{max}$ $H \geq 3l_{max}$.

а)



б)

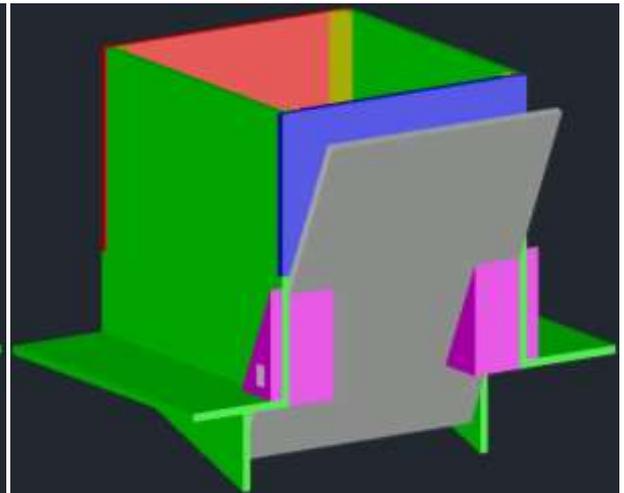


Рисунок 19 – Приемный бункер: а) при поднятой регулировочной пластине; б) при опущенной регулировочной пластине (на расстоянии 25 мм от лотка вибропитателя)

Приемный бункер предусматривает возможность регулирования объемов рудной массы, поступающей на вибропитатель.

Вибропитатель (рис.20,21) предназначен для выгрузки рудной массы из приемного бункера, классификации рудной массы посредством встроенного колосникового грохота, формирование многоканальности – разбиения технологического потока на несколько потоков, представляющих собой «ручьи», в которых куски рудной массы следуют один за другим.

При моделировании процесса разгрузки рудной массы из приемного бункера, формирование технологических «ручьев» установлено, что при конструкции перегородок вибропитателя прямоугольной формы (рис.20а) происходит формирование затора – торможение кусков (рис.21а).

а)

б)

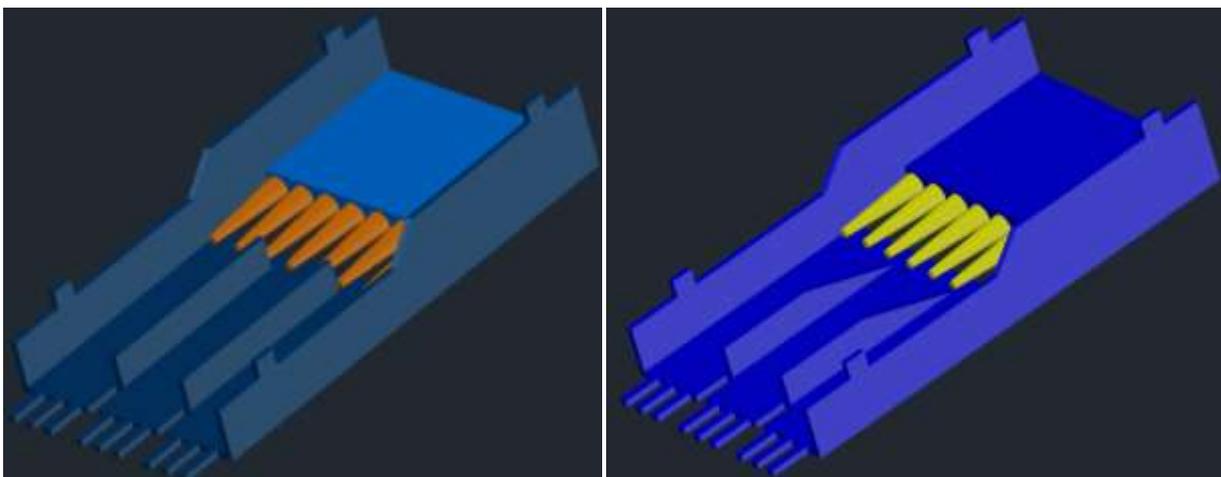


Рисунок 20 – Вибропитатель: а) прямоугольная форма перегородок; б) форма перегородок - прямоугольная трапеция

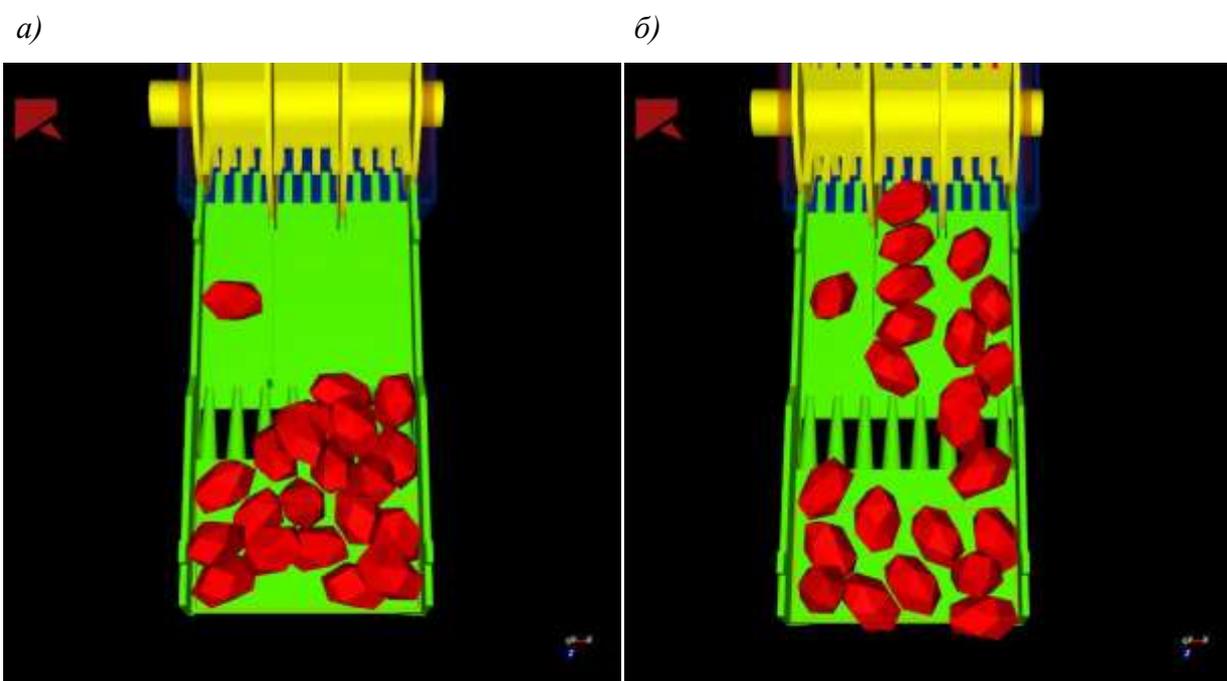


Рисунок 21 - Моделировании процесса разгрузки рудной массы из приемного бункера в среде ROCKY DEM: а) прямоугольная форма перегородок вибропитателя; б) форма перегородок вибропитателя - прямоугольная трапеция

Изменения конструкции перегородок – переход к форме перегородок в виде прямоугольной трапеции обеспечило возможность равномерной подачи кусков, без формирования навалов (рис.20б, 21б).

В разрабатываемой модели фотометрического сепаратора рассмотрен вариант *транспортирующего устройства*, снижающий колебания расстояний от источника излучения до анализируемого образца за счет реализации измерений в ячейке барабанного

питателя (рис.22). Рассмотрены два варианта перегородок, обеспечивающие фиксацию кусков рудной массы в ячейке при прохождении в зоне облучения и регистрации, и реализацию покускового режима измерения:

первый (рис.22а) – прямая перегородка;

второй (рис.22б) - Г - образная перегородка для уменьшения разброса траектории движения куска в свободном падении за счет перемещения крайней точки схода кусков на траекторию свободного падения

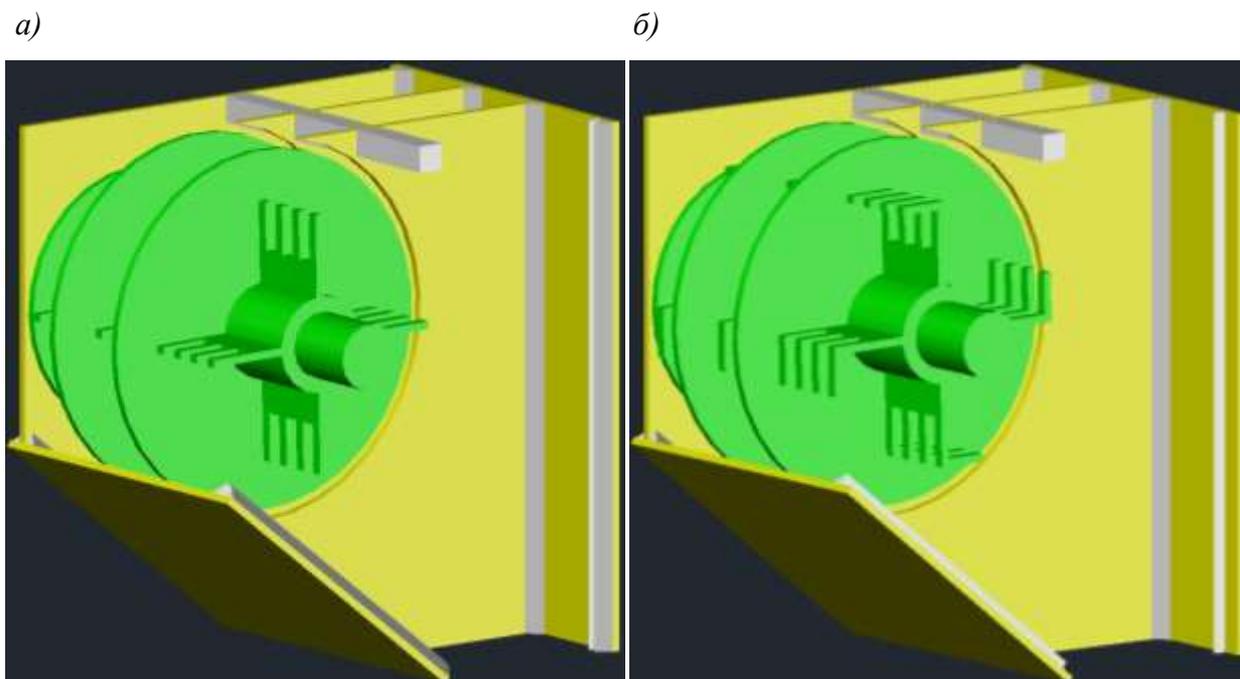


Рисунок 22– Транспортирующее устройство барабанного типа с перегородками:

а) – прямая перегородка; б) - Г - образная перегородка

На основании результатов моделирования работы транспортирующего устройства в программном комплексе ROCKY DEM установлено, что Г-образные перегородки обеспечивают фиксацию кусков рудной массы в ячейке при прохождении в зоне облучения и регистрации, обеспечивают реализацию покускового режима измерения, уменьшения разброса траекторий движения кусков (рис.23-24).

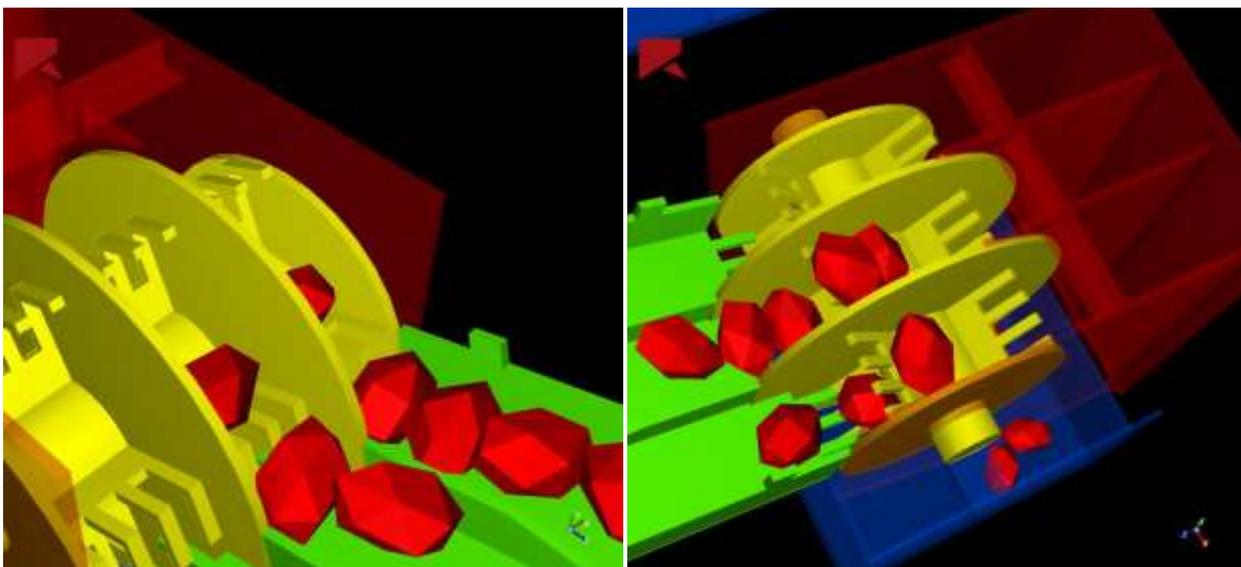


Рисунок 23 – Загрузка кусков в ячейки транспортирующего устройства в среде ROCKY DEM: а) – прямая перегородка транспортирующего устройства; б) - Г - образная перегородка транспортирующего устройства

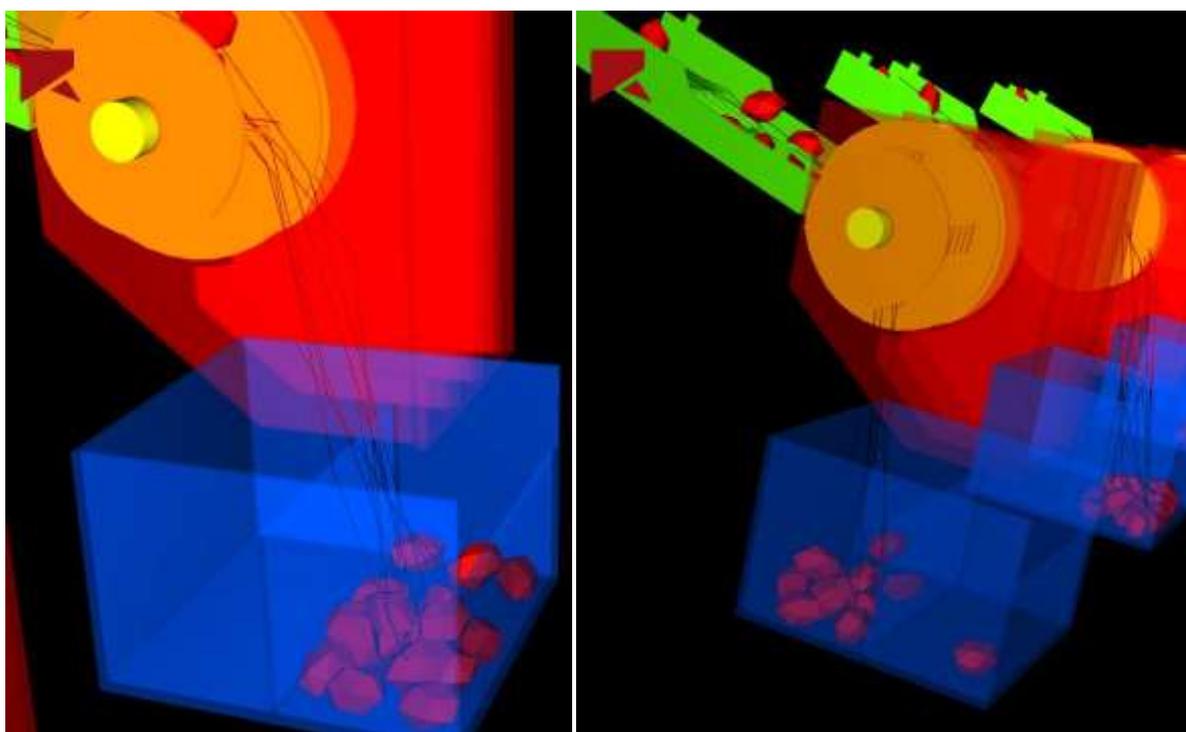


Рисунок 24 – Траектории движения кусков в свободном падении в среде ROCKY

Исполнительный механизм (рис.25) реализует непосредственно процесс разделения за счет изменения траектории движения кусков в свободном падении. В данном сепараторе использован исполнительный механизм шибераго типа.

Угол наклона пластины в рабочем положении определен равным 30° для обеспечения возможности максимального перекрытия области перемещения образцов рудной массы по траектории свободного падения. Поскольку на сепарацию подаются

куски разной крупности, в данном случае диапазон крупности кусков составляет от 10 до 20мм и разных минеральных разновидностей, т.е. различной плотности и соответственно и массы, то предполагается некоторый разброс траекторий движения кусков в свободном падении.

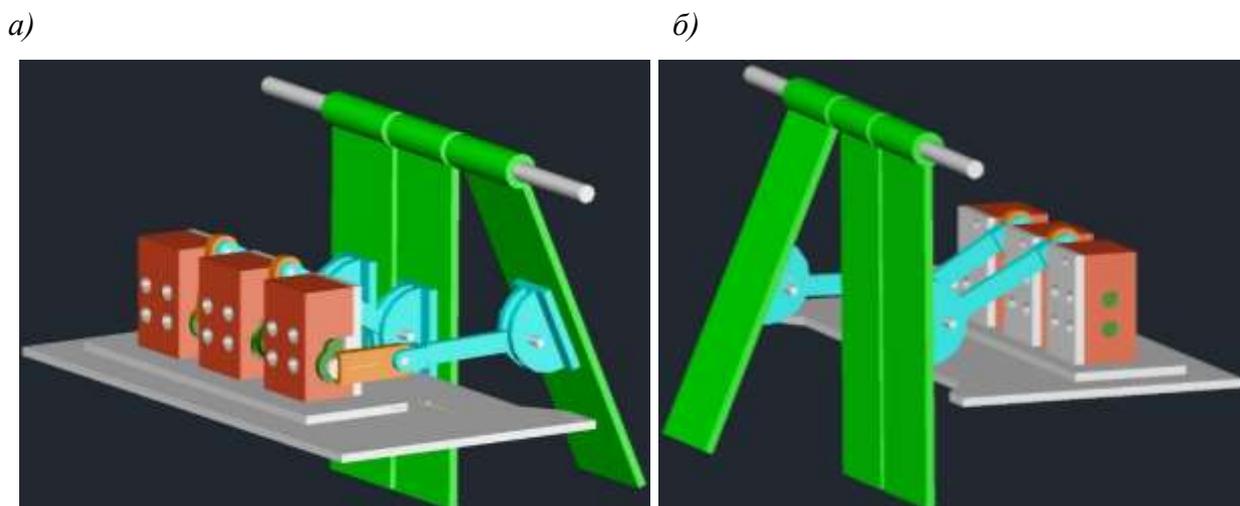


Рисунок 25 – Исполнительный механизм: а) вид слева; б) вид справа

В блоке облучения и регистрации используется датчик распознавания цвета TCS230, рассмотренный ранее (рис.14).

На рисунке 26 представлена схема фотометрического сепаратора для рудной массы крупностью $-25+10$ мм.

Выводы по главе 2

В системе автоматизированного проектирования AutoCAD разработана трехмерная модель сепаратора, обеспечивающего разделение вермикулит-сунгулитового сырья крупностью $-25+10$ мм на обогащенный и породный продукты. Оценка эффективности предложенных конструктивных решений проведена с использованием возможностей моделирования в программном комплексе ROCKY DEM. Предложенная конструкция транспортирующего устройства кусков способствует снижению колебаний расстояний от образца до источника излучения и детектора, обеспечивая повышение селективности (эффективности) разделения за счет нахождения одного куска в ячейке, наличие дополнительной перегородки способствует фиксации куска рудной массы в ячейке при прохождении в зоне облучения и регистрации, обеспечения реализацию покускового режима измерения.

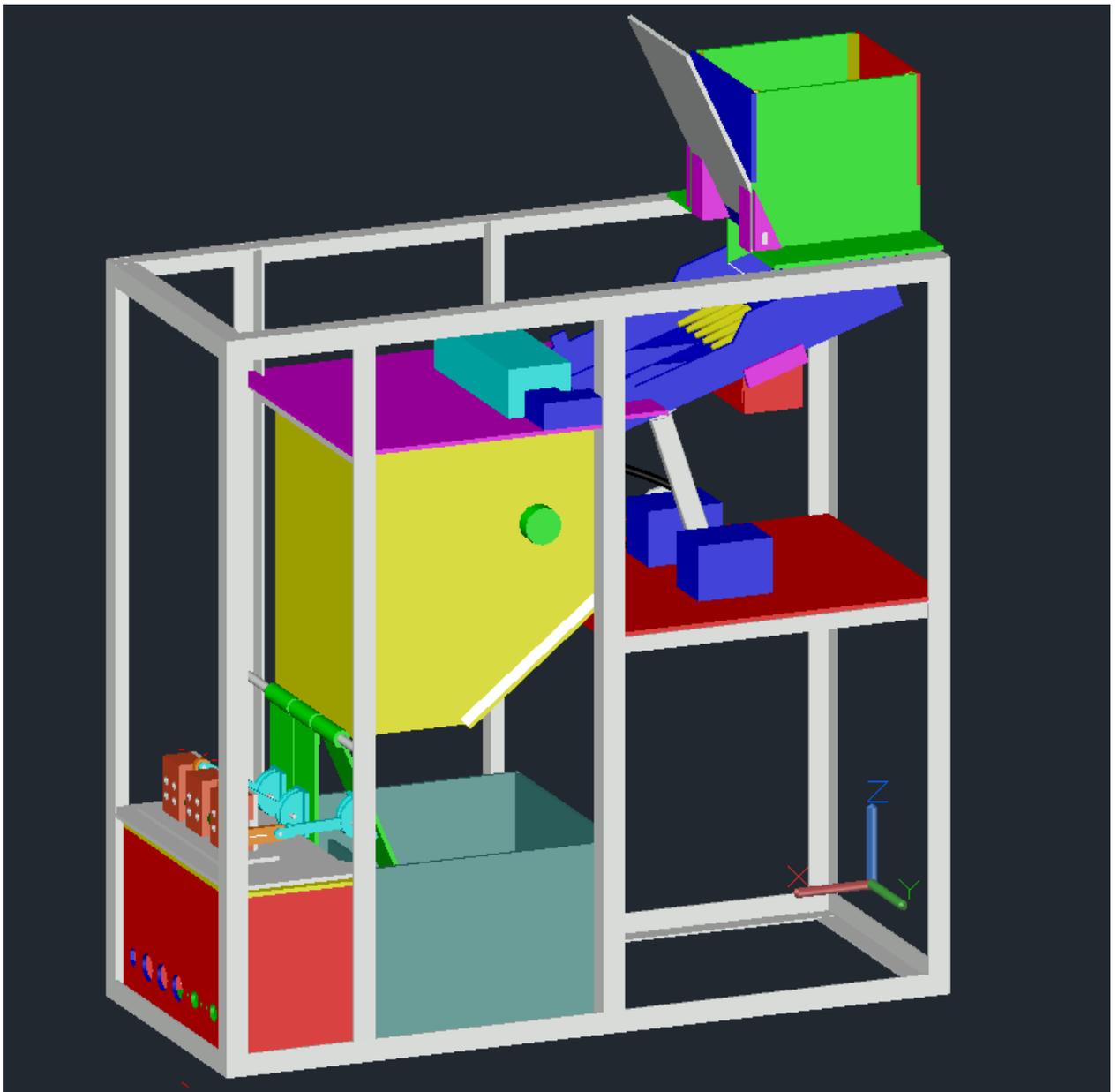


Рисунок 26 – Модель фотометрического сепаратора в САПР «AutoCad»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа минералого-технологических особенностей вермикулит-сунгулитового сырья и RGB - характеристик цветовой палитры изображений образцов их составляющих, изучении диффузно-отраженного светового потока с поверхности исследуемых образцов определен метод разделения, способствующий выделению полезного для дальнейшего использования в природоохранных технологиях вермикулит-сунгулитового продукта, из всего объема материала поступающего на сепарацию. Разработана конструкция фотометрического сепаратора, обеспечивающая эффективное разделение кусков рудной массы за счет реализации измерения в ячейке барабанного раскладчика. Предложенный вариант транспортирующего устройства обеспечивает также снижение значения разброса траекторий движения кусков в свободном падении, способствуя снижению ошибки работы исполнительного механизма.

Включение в технологию получения вермикулит-сунгулитового продукта кускового предварительного обогащения, реализующегося на фотометрическом сепараторе, способствует повышению экономической привлекательности технологии переработки складированных вермикулит-сунгулитовых отходов открытой добычи флогопита ООО «Ковдорслюда» за счет уменьшения объемов рудной массы, поступающей на дальнейшие технологические операции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка эффективности переработки техногенного сырья рудных месторождений Кольского горнопромышленного комплекса / Громов Е.В., Опалев А.С., Иванова В.А., Хохуля М.С. // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2018. - №3(59). - С.77-90
2. Геология рудных районов Мурманской области / Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.// Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. -359 с.
3. 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)
4. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / Кухаренко А. А., Орлова М. П., Булах А. Г. //Москва: Недра, 1965. - 772 с.
5. Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель. Авторы: 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 RU248463С2. Опубликовано: 20.06.2013, Бюл.№17
6. О возможности переработки техногенных отходов добычи флогопитового сырья /Терещенко С.В., Алексеева С.А., Рухленко Е.Д., Кременецкая И.П., Мосендз И.А.Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - №10. - С.186-193
7. Опыт сотрудничества институтов КНЦ РАН при разработке способов снижения техногенной нагрузки на природно-антропогенные ландшафты Мурманской области / Кременецкая И.П., Иванова Л.А., Горбачева Т.Т., Алексеева С.А., Дрогобужская С.В., Лащук В.В., Терещенко С.В. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. –№ 14. –С.427-429
8. Материалы природоохранного назначения из отходов открытой добычи флогопита / Кременецкая И.П., Алексеева С.А., Рухленко Е.Д., Лащук В.В., Бастрыгина С.В., Иванова Л.А., Терещенко С.В.// Экология и промышленность. – 2015. - №2. - С.18-23
9. Комплексное использование вермикулит-сунгулитовых отходов для ремедиациитехногенно 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

10. Ремедиация антропогенно-нарушенных территорий с использованием серпентинсодержащих отходов / Слуковская М.В., Кременецкая И.П., Мосендз И.А., Дрогобужская С.В., Иванова Л.А. // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9. № S6. С. 45-51

11. Color extraction [Электронный ресурс]. – URL: <http://labs.tineye.com/color/> (дата обращения: 14.04.18)

12. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд / Мокроусов В.А., Лилеев В.А.// Москва: Недра, 1979. – 192с.

13 Оценка влияния траектории движения кусков в зоне облучения на результаты рентгенолюминесцентного разделения / Власов Б.А., Павлишина Д.Н., Шумилов П.А. // XVI Международная научная конференция студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона»: тезисы докладов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2017. - С.90-91

14 Оценка влияния траектории движения кусков в зоне облучения на результаты рентгенолюминесцентного разделения / Власов Б.А., Павлишина Д.Н., Шумилов П.А. // Проблемы Арктического региона: труды XVI Международная научная конференция студентов и аспирантов: сборник трудов конференции. Мурманск: Полиграфист, 2017. - С.161-165.

15. Способ кусковой сепарации руд. Авторы: Коновалов Г.Н., Наумов М.Е.. Патентообладатель: ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии». Патент RU2569528C1. Опубликовано: 27.11.2015, Бюл. №33

16. Радиометрические методы опробования и сепарации минерального сырья / Терещенко С.В., Денисов Г.А., Марчевская В.В. // СПб: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭД), 2005. 264с