

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / MINERAL PROCESSING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31>

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕШЛАМОВ ТУГНУЙСКОЙ ЦОФ

Научная статья

Кондратенко А.С.^{1,*}, Буянтуев С.Л.²¹ORCID : 0000-0002-2361-5249;²ORCID : 0000-0001-7077-8836;^{1,1} Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Российская Федерация² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (cubanit[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье проводится исследование некоторых характеристик углешламов Тугнуйской ЦОФ. Так, первоначально, изучен гранулометрический состав выявивший доминирующие фракции, а также проведены серии испытаний для установления плотности, дисперсности, удельной поверхности и других характеристик вещества. Методами светосложения микроизображений полученных с помощью оптической микроскопии в расширенном оптическом диапазоне исследован усредненный мацерально-минералогический состав и микроструктура образцов углешламовых отходов с целью изучения возможностей их дальнейшей переработки. Анализ микроизображений показал, что по сложению данные отходы образуют плотный витринито-аргеллит-алевролитовый матрикс представленный в виде сростков взаимопроникающих фаз, относимый к углешламам III типа. Приведенные в заключении данные энергодисперсионного рентгеновского анализа показывают, что концентрация углерода в отходе достаточна для его потенциальной переработки в виде топливных брикетов, органоминеральных комбинированных сорбентов, а также как отошующий компонент в составе некоторых шихт.

Ключевые слова: углешламы Тугнуйской ЦОФ, гранулометрический состав, оптическая микроскопия, оптический диапазон, графический редактор GIMP, аддитивное светосложение, структура и текстура, элементный состав.

ON THE ISSUE OF STUDYING OF SOME CHARACTERISTICS OF COAL SLUDGE FROM THE TUGNUYSK CONCENTRATING MILL

Research article

Kondratenko A.S.^{1,*}, Buyantuev S.L.²¹ORCID : 0000-0002-2361-5249;²ORCID : 0000-0001-7077-8836;^{1,1} Buryat State University, Ulan-Ude, Russian Federation² East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation

* Corresponding author (cubanit[at]yandex.ru)

Abstract

The article studies some characteristics of coal sludge from Tugnuysk concentrating mill. Thus, initially, the granulometric composition was studied, revealing the dominant fractions, as well as a series of tests to determine the density, dispersity, specific surface and other characteristics of the substance. The averaged maceral and mineralogical composition and microstructure of coal sludge waste samples were studied by methods of light micro-imaging obtained by optical microscopy in the extended optical range in order to study the possibilities of their further processing. Analysis of micro-images showed that these wastes form a dense vitrinite-argellite-aleurolite matrix in the form of interpenetrating phase aggregates, which are classified as type III coal sludge. The data of the energy dispersive X-ray analysis given in the conclusion show that the concentration of carbon in the waste is sufficient for its potential processing in the form of fuel briquettes, organomineral combined sorbents, and also as a reducing component in the composition of some charges.

Keywords: coal sludge from the Tugnuysk coal concentrating mill, granulometric composition, optical microscopy, optical range, GIMP graphical editor, additive light deposition, structure and texture, elemental composition.

Введение

Одним из самых значимых источников накопления отходов техногенного характера является угледобывающая промышленность загрязняющая не только земную поверхность, но и водную и воздушную среды. В процессе флотационного обогащения угля часть его неизбежно уходит в отход, в виде так называемого углешлама (кека) [1]. Углешлам не является товарным продуктом, который можно как продать, так и экономически рентабельно транспортировать покупателю. Поэтому проблема переработки углешламов, связанная с переполнением шламонакопителей со временем, становится для ЦОФ все более актуальной. Также, остроту проблемы добавляет увеличение содержания тонких классов в добываемых углях и, как следствие, их избыточному переходу в углешлам. Но, большинство накопленных углешламов при продуманной, рациональной переработке могут являться потенциальной сырьевой базой (топливного и нетопливного характера) для нужд народного хозяйства и энергетики.

В связи со сказанным, поиск, определение и выработка стратегии и принципиальных возможностей переработки отходов углеобогащения требует детального изучения исходных образцов углешлама.

Методы и принципы исследования

В настоящее время в шламоотстойниках Тугуйской ЦОФ накоплено до 5 млн. т. углешламовых отходов со средней зольностью 38% и влажностью доходящей до 40% (рис. 1).



Рисунок 1 - Карты-накопители (а); внешний вид углешламовых отходов (б)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.1>

Для проведения дисперсионно-гранулометрических, а также петролого-микроскопических исследований проводился отбор образцов углешламов с разных по месту и времени образования поверхностей карт-накопителей. В момент отбора проб, изучаемый продукт представлял собой обводненную вязко-липкую субстанцию черного цвета. Затем, в сушильном шкафу, проводилась сушка образцов до воздушно-сухого состояния. В дальнейшем, для получения усредненной пробы, включающей в себя все возможные микролитотипы проводились стандартные операции шлихового анализа (суммирование, усреднение и квартование) [2]. Усредненная проба осушенного углешлама представляла собой тонкий, склонный к пылению порошкообразный продукт.

На первоначальном этапе исследований углешлама проводился ситовой гранулометрический анализ с целью выявления доминирующих фракций формирующих его основные свойства. Рассев производился с помощью системы сит на рассевной машине. Результаты исследования представлены в табл.1.

Таблица 1 - Гранулометрический состав углешлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.2>

Класс крупности, мм	Выход, %	Зольность A^d , %	Суммарный выход, %
+1,0	0,30	44,4	0,30
1-0,7	1,43	35,8	1,73
0,7-0,5	2,67	35,6	4,40
0,5-0,3	8,50	35,2	12,90
0,3-0,2	11,50	33,2	24,40
0,2-0,1	15,30	40,7	39,70
0,1-0,05	39,60	41,3	79,30
0,05-0	20,70	41,7	100,00

Как следует из таблицы, доминирующими фракциями являются фракции 0,2; 0,1; 0,05 и менее 0,05 мм, их доля приблизительно составляет 80-85%, доля фракций 0,5-0,2 составляет $\approx 10\%$, доля фракций более 0,5 составляет менее 5%. Также из таблицы видно незначительное колебание процента зольности доминирующих фракций.

Таблица 2 - Дисперсионный анализ фракционного состава углешлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.3>

Фракция, мм	Дисперсность D , m^{-1}	Удельная поверхность, $S_{уд}$, m^2/m^3
+1,0	1000	$0,6 \cdot 10^4$
0,7	1428,57	$0,86 \cdot 10^4$
0,5	2000	$1,2 \cdot 10^4$
0,3	3333,33	$2 \cdot 10^4$
0,2	5000	$3 \cdot 10^4$
0,1	10 000	$6 \cdot 10^4$
0,05	20 000	$12 \cdot 10^4$

Так как представленный материал находился в тонком, пылевидном состоянии, возникла задача в проведении дисперсионного анализа с целью выявления дисперсности и удельной поверхности, определенных гранулометрическим анализом фракций углешлама [3]. Результаты исследования представлены в табл.2.

Дальнейшее определение действительной плотности, ρ_d углешлама производилось пофракционно объеметрическим методом, с помощью прибора Ле-шателье, сначала в воде и, затем, контрольно в керосине (формула 1). Числовые данные определения действительной плотности для воды и керосина оказались сопоставимыми. Это обстоятельство указывает на то, что фракции углешлама имеют одинаково высокую смачиваемость как в полярных, так и неполярных растворителях.

$$\rho_d = \frac{(m - m_1)}{V} \quad (1)$$

где: m - навеска вещества до опыта, г (кг);

m_1 - остаток от навески, г (кг);

V - объем жидкости, вытесненной навеской материала (объем порошка в объемомере), см³ (м³).

Затем проводилось определение кажущейся плотности, ρ_k углешлама пофракционно. Следует отметить тот факт, что измерение кажущейся плотности крупных частиц вещества размером более 5-6 мм методом парафинирования с последующим гидростатическим взвешиванием [4] не представляет никаких трудностей. Однако углешлам является высокодисперсным веществом, для которого данная методика непригодна. Для этой цели наиболее подходит следующая методика [5], [6], [7]. В указанных работах найдено, что кажущаяся плотность частиц материала как до, так и после термической обработки (активации) находится в точном соответствии с их насыпной плотностью (формула 2). Так, измерения по приведенной формуле показали хорошую сходимость полученных данных, с методом гидростатического определения ρ_k проводимого нами для крупных частиц образцов исходных углей.

$$\rho_k = 1,82 \cdot \rho_n \quad (2)$$

где ρ_n – насыпная плотность угля.

Далее проводилось пофракционное определение насыпной плотности (формула 3) методом мерных емкостей, в качестве которых использовались мерные цилиндры. Так, в частности, насыпная плотность, применяется при определении необходимого объема бункера углеподачи, а также дает представление об углемассе находящейся в единице объема в зависимости от влажности и степени ее измельчения. Поэтому по величине насыпной плотности судят о массе измеряемых материалов, условно подразделяя их на легкие, средние и тяжелые. Критерием измерения для легких материалов является $\rho_n < 700$ кг/м³; для средних $700 < \rho_n < 1100$ кг/м³; для тяжелых $\rho_n > 1100$ кг/м³.

$$\rho_n = \frac{(m_1 - m)}{V} \quad (3)$$

где: m – вес пустого мерного цилиндра, г (кг);

m_1 – вес мерного цилиндра с навеской угля, г (кг);

V – объем цилиндра заполненный углем, см³ (м³).

Данные измерений ρ_d , ρ_k и ρ_n углешлама представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Определение характеристик ρ_d , ρ_k и ρ_n углешлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.4>

Фракция, мм	Действительная плотность ρ_d , кг/м ³	Кажущаяся плотность ρ_k , кг/м ³	Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³
+1,0	1600	1561	858
0,7	1580	1527	839
0,5	1560	1507	828
0,3	1460	1339	736
0,2	1430	1305	717
0,1	1450	1283	705
0,05	1560	1225	673

Таким образом, проведение дисперсионного анализа показало высокую дисперсность и удельную поверхность, а также пониженную насыпную плотность доминирующих фракций с переходом от среднетяжелого материала к легкому. Чем и объясняется трудность переработки углешлама (органоминерального остатка) связанная с повышенной кристаллогидратной влажностью, а также влажностью в результате межфазного адсорбционно-поверхностного взаимодействия в мелких фракциях.

Основные результаты и их обсуждение

Дальнейшее исследование образцов для установления структуры и элементного состава вещества осуществлялось с помощью оптической и электронной микроскопии. Для установления структуры углешлама анализ светосложения, с визуализацией результирующего изображения в условных цветах проводился на базе металлографического микроскопа без использования дорогого спектрофотометрического оборудования и специального программного обеспечения [8], [9]. Нами применялся только набор узкополосных интерференционных светофильтров; камера, работающая в расширенном оптическом диапазоне; и, не требующий лицензии, свободно распространяемый в сети Интернет графический редактор GIMP, не требующий высоких навыков работы с ним [10]. Для установления же

элементного состава углешлама применялся энергодисперсионный микроанализатор JED-2300F вмонтированный в растровый электронный микроскоп (РЭМ) JSM фирмы Jeol (Япония).

Суть исследования заключается в том, что в неиммерсионной среде угольные частицы входящие в органоминеральное вещество углешлама обладают большей или сопоставимой отражательной способностью по сравнению с минеральными включениями, и эта способность меняется в зависимости от выбранной длины волны излучения. Поэтому, с помощью микроскопа и набора интерференционных светофильтров получены серии изображений шлифов углешлама в синем (490 нм), зелёном (540 нм) и красном (670 нм) спектральных диапазонах. При реализации данной методики, на каждом изображении выделялись области с максимальной интенсивностью отражения, а затем объединялись в единое изображение, таким образом, чтобы совпадающие участки из разных цветовых диапазонов при наложении усиливали результирующую интенсивность свечения [11]. В итоге был получен общий скан интенсивности отраженного света (в условных цветах), выявляющий места угольных образований и оттеняющий породу в общем сростке [12].

Теперь рассмотрим сам процесс подробным образом. Перед нами изображение частицы-сростка в свете полного спектра видимого излучения, а так же в трёх его составляющих цветах (рис. 2).

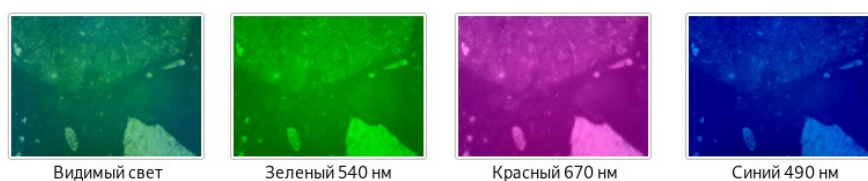


Рисунок 2 - Изображение участка в свете полного спектра видимого излучения, а так же в трёх его составляющих цветах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.5>

Как уже отмечалось, для цифрового моделирования изображений нами использовался графический редактор GIMP версии 2.10. Для получения итогового изображения (в условных цветах) производилась загрузка в него изображений, полученных с помощью зелёного, красного и синего светофильтров. Каждый скан при этом был помещён в отдельный слой (канал), порядок размещения при этом значения не имел. Слоям канала производилось добавление прозрачности (альфа-канал) командой: *Layer — Transparency — Add Alpha Channel*. В дальнейшем выбирался один из слоёв, например, синий и выполнялась команда над ним: *Colors — Color to Alpha...* В настройках инструмента указывался цвет, который должен быть максимально приближен к цвету фона на синем слое. Именно этот цвет и близкие к нему по тону участки изображения были превращены в прозрачный цвет (удалены). Здесь же задавалось значение порога прозрачности *Transparency threshold*: чем ближе это значение к 1, тем меньше участков синего цвета оставалось в итоговом изображении. Это значение постепенно увеличивали до тех пор, пока не начинали исчезать самые яркие участки исходного изображения. Вместо удалённых областей проявлялось фоновое изображение (в данном случае черное). Результат работы инструмента приведён на рис. 3 (слева исходное изображение, справа — результат работы инструмента *Color to Alpha*). Точно такую же последовательность действий следует повторить и с остальными двумя слоями.

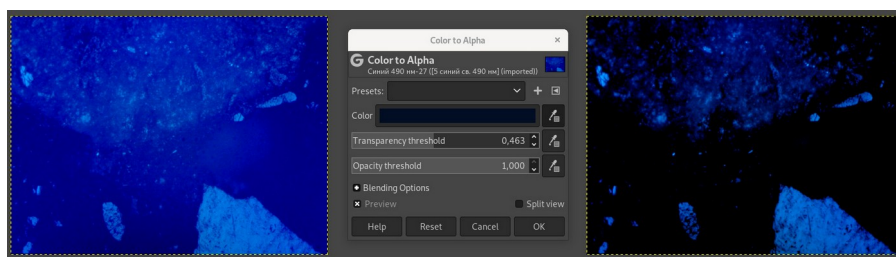


Рисунок 3 - Фоновое изображение слоя
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.6>

Примечание: слева исходное изображение (сросток); справа — результат работы инструмента Color to Alpha

Так как отражательная способность меняется в зависимости от длины волны излучения, выделенные участки на разных слоях будут существенно отличаться (рис. 4).

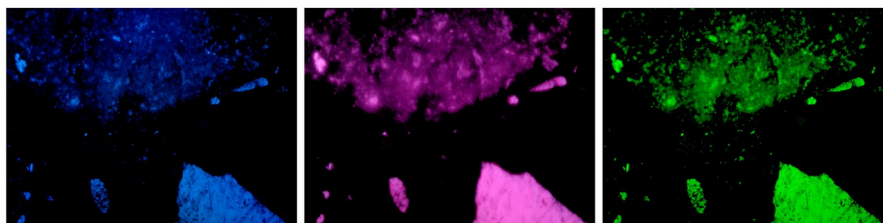


Рисунок 4 - Результирующие изображения слоев

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.7>

Примечание: результат работы инструмента Color to Alpha

В итоге оставалось лишь объединить изображения с усилением яркости совпадающих областей. За это в редакторе GIMP отвечает режим смешивания слоёв «Добавление» (*Addition*). Этот режим складывает значение точек на всех слоях, чтобы получить итоговое изображение. Если значение превышает 255, оно приравнивается к числу 255, соответствующее максимальной яркости (белый цвет). Данный алгоритм выражается следующей формулой:

$$E = \min((\text{Слой}_{\text{зел}} + \text{Слой}_{\text{красн}} + \text{Слой}_{\text{син}}), 255) \quad (4)$$

Режим смешивания устанавливается над блоком, содержащим искомые слои. Результат смешивания в режиме *Addition* выглядит, как показано на рис. 5 и его следует понимать так: области, окрашенные в белый цвет говорят о наличии в этом месте всех трёх компонентов (зелёный, красный и синий), что в свою очередь указывает на расположение там хорошо отражающей свет угольной частицы; области, с оттенками остальных цветов говорят об отсутствии какой-то составляющей спектра, поглощённой (забитой) минеральными примесями.

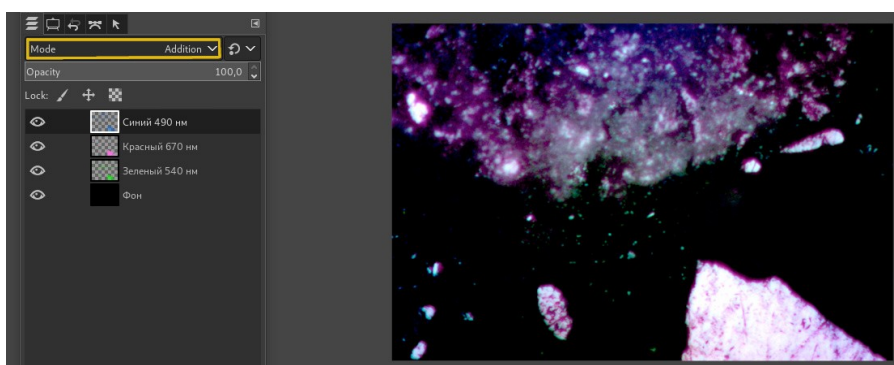


Рисунок 5 - Результат смешивания слоев в режиме Addition

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.8>

За счёт того, что в итоговом изображении была сохранена текстура исходного образца (неоднородность, зернистость, затемнения), информация о том, какой именно составляющей спектра не хватает, читается с трудом (рис. 6).

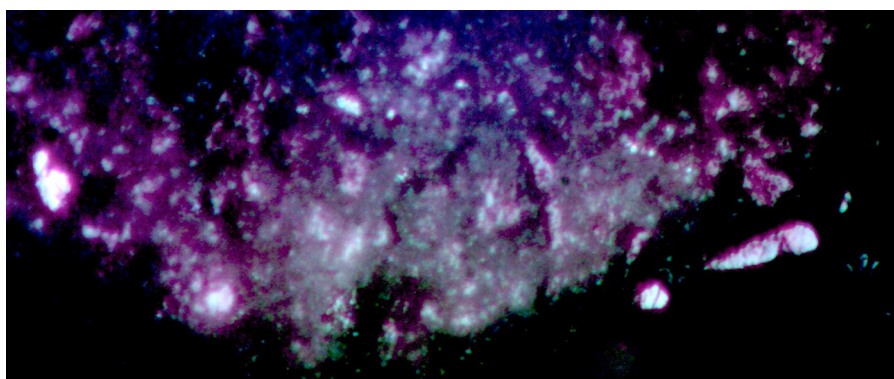


Рисунок 6 - Сохранение в итоговом изображении текстуры исходного образца

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.9>

Примечание: неоднородность, зернистость, затемнения

Для выяснения этого аспекта составлялась вспомогательная карта спектральных областей. Для этого в момент работы с инструментом *Color to Alpha* устанавливалось значение границы непрозрачности *Opacity threshold* в 0 (нуль). Результаты теперь включали только абсолютно прозрачные и непрозрачные участки без промежуточных полупрозрачных тоновых значений.

Однако, на таком изображении всё равно будут присутствовать детали текстуры, убрать которые можно только с помощью инструмента *Colors — Hue-Chroma*, где потребуется задать значение светлости *Lightness* равное 100 (сто). После чего изображение станет абсолютно белым и плоским. Возвращаем слою синий цвет командой *Colors — Map — Color Exchange*. Задав белый в качестве исходного цвета, а синий — результирующий. Вся цепочка превращений представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Применение инструмента *Colors — Hue-Chroma*, для задания значения светлости *Lightness*
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.10>

Проделав аналогичные действия с остальными слоями, получаем слои, лишённые лишних оттенков и полупрозрачности (рис. 8).

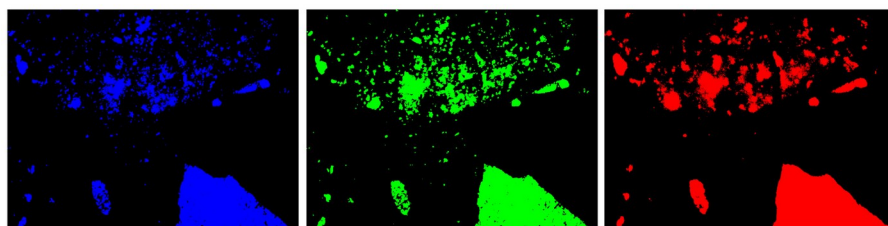


Рисунок 8 - Применение инструмента *Colors — Hue-Chroma*, для задания значение светлости *Lightness* к остальным слоям
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.11>

Применив к ним всё ту же настройку смешивания *Addition*, получили результат (на рисунке 9 слева, справа — увеличенный фрагмент).

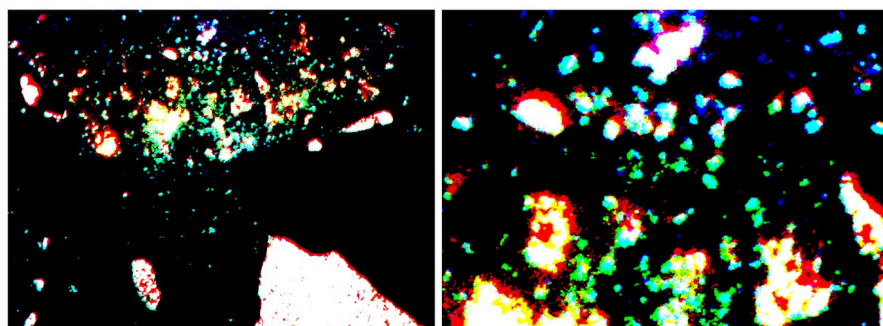


Рисунок 9 - Результирующая настройка смешивания *Addition* показывающая в увеличенном формате (справа) минеральный состав
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.12>

С помощью такой скан-карты стало намного проще сказать, в какой области отсутствуют те или иные компоненты спектра: белый — все составляющие присутствуют, желтый — нет синего, розовый — нет зелёного, голубой — нет красного; чистые цвета (зелёный, синий, красный) говорят о присутствии в данной области лишь этого самого цвета.

Для наглядности представим слева направо: исходное изображение в полном спектре видимого излучения, выделенные фрагменты с яркими областями и результирующий скан спектральных компонентов (изображение в условных цветах) изображенные на рисунке 10.

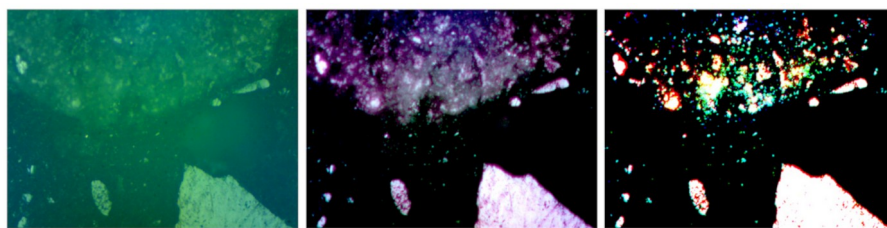


Рисунок 10 - Исходное изображение в полном спектре видимого излучения, выделенные фрагменты с яркими областями и скан спектральных компонентов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.13>

Примечание: изображение в условных цветах

На заключительном этапе исследовался элементный состав углешлама, выполненный с помощью энергодисперсионного микроанализатора вмонтированного в растровый электронный микроскоп [13]. В табл. 4 представлены усредненные результаты микрорентгеноспектрального анализа элементного состава исследованных образцов. Данные энергодисперсионного анализа также дополнены диаграммой среднемассового распределения элементного состава углешлама (рис. 11).

Таблица 4 - Элементный микроанализ углешлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.14>

C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Zn	Итог
42,25	39,70	0,24	4,77	8,01	0,29	0,43	1,22	0,26	1,54	0,67	0,60	100,00



Рисунок 11 - Диаграмма среднемассового распределения элементного состава углешлама

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.15>

Таким образом, проведенные методы светосложения и энергодисперсионного микроанализа показывают сложную структуру и многокомпонентный состав углешлама. Высокая отражательная способность угольных частиц присутствующих в сростках указывает на доминирование в органическом составе такого микролитотипа как витрен [14]. Содержание же дюреновых, клареновых и фюзеновых микролитотипов в углешламе носит (как правило) следовой характер. И, действительно, добываемый на Тугнуйской ЦОФ уголь относится к молодым каменным углям марок Д и Г 1, по составу почти нацело состоящим из витрена. Высокой хрупкостью его отчасти объясняется присутствие тонких классов в углешламе, в связи с избыточной ломкостью. Но, все же, большой процент кислорода выявленный в составе указывает на содержание в основном окисленных угольных форм, присутствующих в сложном витринит-аргеллит-алевралитовом матриксе с высокоразвитым контактом взаимопроникающих фаз [15].

Заключение

Из сказанного следует вывод о том, что углешлам Тугнуйской ЦОФ, образованный в процессе мокрой флотации представляет собой органоминеральный остаток III типа (рис. 11), почти нацело состоящий из сростков окисленных угольных частиц с порообразующими минералами (гидрослюда, доломит, и прочие кварцпалевошпатные

минералы) и тонкими классами угля. Данные дисперсионно-гранулометрических анализов также указывают на III тип углешлама, т.к. зольность равномерно распределена по классам (преобладающим фракциям). Кроме того, на пользу данных выводов указывает тот факт, что углешлам невозможно разделить в тяжелосредних разделителях, так как его вещество либо тонет, либо всплывает нацело, в зависимости от средовой плотности.



Рисунок 12 - Основные типы угольных шламов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.16>

Также хочется отметить сравнительную простоту данной методики. Так, оперируя лишь простыми программными методами удалось изучить вещество органоминерального отхода углеобогащения - углешлама, преимущественно сложенное сростками-агломератами и выделить отдельные угольные частицы в них, обладающие более высокой отражательной способностью.

Полученные данные, в целом, не дают полной информации о возможностях переработки углешламов, однако намечают некоторые возможные способы. Так, например, доминирование сростков в составе углешлама, имеющих сложную органоминеральную структуру указывает на возможность получения комбинированных (органоминеральных) сорбентов и ионитов для очистки сточных вод [16], [17], а высокий процент углерода делает перспективным поиск и реализацию вариантов получения топливных брикетов и отощающих компонентов в составе некоторых угольных шихт. Результаты проведенной работы предполагают дальнейшие поиск и реализацию теоретических и экспериментальных исследований.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке инициативного научного исследования БГУ по проекту № 22-05-0502 «Разработка и создание ионообменников (ионитов), полученных модификацией отходов углеобогащения для очистки сточных вод»

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Минина Н.Н., Бирский филиал ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Бирск, Российская Федерация

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.17>

Funding

The work was carried out with the financial support of the initiative scientific research of BSU under project No. 22-05-0502 "Development and creation of ion exchangers (ionites) obtained by modification of carbon enrichment waste for wastewater treatment"

Conflict of Interest

None declared.

Review

Minina N.N., Birk branch of the state budgetary educational institution of higher education «Bashkir State University», Birk, Russian Federation

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.31.17>

Список литературы / References

- Кондратенко А.Ф. Отходы флотации и их свойства / А.Ф. Кондратенко – М.: Недра, 1977. – 125 с.
- Якунин В.П. Использование отходов обогащения углей / В.П. Якунин, А.А. Агроскин – М.: Недра, 1978. – 168 с.
- Бутырин Г.М. Высокопористые углеродные материалы / Г.М. Бутырин – М.: Химия, 1976. – 181 с.
- Тайц Е.М. Методы анализа и испытания углей / Е.М. Тайц, И.А. Андреева – М.: Недра, 1983. – 301 с.
- Агроскин А.А. Химия и технология угля / А.А. Агроскин – М.: ГНТИ по Горному делу, 1961. – 296 с.
- Оренбах М.С. Реакционная поверхность при гетерогенном горении / М.С. Оренбах – Новосибирск: Наука, 1973. – 200 с.
- Агроскин А.А. Теплофизика твердого топлива / А.А. Агроскин, В.Б. Глейбман – М.: Недра, 1980. – 256 с.
- Волков Н.А. Лабораторная практика и петрография углей / Н.А. Волков – М.: Углетехиздат, 1951. – 132 с.
- Беляев А.И. Микроскопический анализ углеродистых материалов и электродов / А.И. Беляев, Е.А. Жемчужина – М.: ГНТИ, 1957. – 78 с.
- Layer Models. - URL: <https://docs.gimp.org/en/gimp-concepts-layer-modes.html> (accessed 17.05.2022)
- Константинова-Шлезингер М.А. Люминесцентный анализ / М.А. Константинова-Шлезингер — М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1961. — 400 с.
- Зайцева Л.П. Цветная металлография в видимых и ультрафиолетовых лучах / Л.П. Зайцева, Т.Г. Порохова – М.: Металлургия, 1964. – 144 с.

13. Авгушевич И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей / И.В. Авгушевич, Т.М. Броновец, Г.С. Головин и др. – М.: Трек, 2008. – 368 с.
14. Касаточкин В.И. Строение и свойства природных углей / В.И. Касаточкин, Н.К. Ларина – М.: Недра, 1975. – 159 с.
15. Тарковская И.А. Окисленный уголь / И.А. Тарковская – Киев: Наукова думка, 1981. – 200 с.
16. Kondratenko A.S. Electropasmic processing of coal flotation waste into organo-mineral sorbents for wastewater treatment. / A.S. Kondratenko, S.L. Buyantuev, S.Y. SHishul'kin et al. // Proceedings of the International Conference on Advances and Applications in Plasma Physics (AAPP 2019). – 2019. – 020011-1-020011-7.
17. Kondratenko A.S. To Study Some Characteristics of Porosity of Organomineral Sorbents Obtained by Electropasmic Processing from Coal Flotation Waste. / A.S. Kondratenko, S.L. Buyantuev, I.A. Galeguzova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science . – 2021. – 022071.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kondratenko A.F. Otxody' flotacii i ix svoystva [Flotation waste and its properties] / A.F. Kondratenko – М.: Nedra, 1977. – 125 p. [in Russian]
2. Yakunin V.P. Ispol'zovanie otxodov obogashheniya uglej [Use of coal enrichment waste] / V.P. Yakunin, A.A. Agroskin – М.: Nedra, 1978. – 168 p. [in Russian]
3. Buty'rin G.M. Vy'sokoporisty'e uglerodny'e materialy' [Highly porous carbon materials] / G.M. Buty'rin – М.: Ximiya, 1976. – 181 p. [in Russian]
4. Tajcz E.M. Metody' analiza i ispy'taniya uglej [Methods of analysis and testing of coals] / E.M. Tajcz, I.A. Andreeva – М.: Nedra, 1983. – 301 p. [in Russian]
5. Agroskin A.A. Ximiya i texnologiya uglya [Chemistry and technology of coal] / A.A. Agroskin – М.: GNTI po Gornomu delu, 1961. – 296 p. [in Russian]
6. Orenbax M.S. Reakcionnaya poverxnost' pri geterogenom gorenii [Reaction surface in heterogeneous gorenje] / M.S. Orenbax – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 200 p. [in Russian]
7. Agroskin A.A. Teplofizika tverdogo topliva [Thermophysics of solid fuels] / A.A. Agroskin, V.B. Glejbman – М.: Nedra, 1980. – 256 p. [in Russian]
8. Volkov N.A. Laboratornaya praktika i petrografiya uglej [Laboratory practice and coal petrography] / N.A. Volkov – М.: Ugletexizdat, 1951. – 132 p. [in Russian]
9. Belyaev A.I. Mikroskopicheskiy analiz uglerodisty'x materialov i e'lektrodov [Microscopic analysis of carbonaceous materials and electrodes] / A.I. Belyaev, E.A. Zhemchuzhina – М.: GNTI, 1957. – 78 p. [in Russian]
10. Layer Models. - URL: <https://docs.gimp.org/en/gimp-concepts-layer-modes.html> (accessed 17.05.2022)
11. Konstantinova-Shlezinger M.A. Lyuminescentnii analiz [Luminescent analysis] / M.A. Konstantinova-Shlezinger — М.: State Publishing House of physical and mathematical literature, 1961. — 400 p. [in Russian]
12. Zajceva L.P. Czvetnaya metallografiya v vidimy'x i ul'traioletovy'x luchax [Non-ferrous metallography in visible and ultraviolet rays] / L.P. Zajceva, T.G. Poroxova – М.: Metallurgiya, 1964. – 144 p. [in Russian]
13. Avgushevich I.V. Standartny'e metody' ispy'taniya uglej. Klassifikacii uglej [Standard methods of testing coals. Coal classifications] / I.V. Avgushevich, T.M. Bronovecz, G.S. Golovin et al. – М.: Trek, 2008. – 368 p. [in Russian]
14. Kasatochkin V.I. Stroenie i svoystva prirodny'x uglej [Structure and properties of natural coals] / V.I. Kasatochkin, N.K. Larina – М.: Nedra, 1975. – 159 p. [in Russian]
15. Tarkovskaya I.A. Okislenny'j ugol' [Oxidized coal] / I.A. Tarkovskaya – Kiev: Naukova dumka, 1981. – 200 p. [in Russian]
16. Kondratenko A.S. Electropasmic processing of coal flotation waste into organo-mineral sorbents for wastewater treatment. / A.S. Kondratenko, S.L. Buyantuev, S.Y. SHishul'kin et al. // Proceedings of the International Conference on Advances and Applications in Plasma Physics (AAPP 2019). – 2019. – 020011-1-020011-7.
17. Kondratenko A.S. To Study Some Characteristics of Porosity of Organomineral Sorbents Obtained by Electropasmic Processing from Coal Flotation Waste. / A.S. Kondratenko, S.L. Buyantuev, I.A. Galeguzova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science . – 2021. – 022071.