

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ СЛАНЦЕПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Назаренко М. Ю., Кондрашева Н. К., Салтыкова С. Н.

### THE CHARACTERISTIC OF WASTE OF OIL SHALE PROCESSING FOR USE AS FILTERING MATERIALS

Nazarenko M. Yu., Kondrasheva N. K., Saltykova S. N.

#### Аннотация

Статья посвящена изучению физико-химических свойств (истираемости, неоднородности и др.) отходов сланцепереработки — сланцевой мелочи и сланцевой золы. Дан детальный анализ их химического и минерального составов с целью определения возможности использования данного материала в качестве фильтрующего материала для очистки воды от органических загрязнителей. Определено, что сланцевая мелочь и сланцевая зола удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51641–200 «Материалы фильтрующие зернистые». По данному ГОСТу прирост сухого остатка не должен превышать 20 мг/дм<sup>3</sup> (сланцевая мелочь — 4 мг/дм<sup>3</sup>, сланцевая зола — 10 мг/дм<sup>3</sup>), значение измельчаемости не должно превышать 4 % сланцевая мелочь — 0,3–0,5 %, сланцевая зола — 0,7–0,8 %, а значение истираемости — 0,5 % (сланцевая мелочь — 0,1 %, сланцевая зола — 0,4–0,5 %). Сланцевую золу и сланцевую мелочь, насыщенные нефтью или нефтепродуктом после процесса сорбции, целесообразно утилизировать в качестве топлива, поскольку они с адсорбированным продуктом будут обладать высокой теплотворной способностью.

**Ключевые слова:** сланцевая зола, сланцевая мелочь, минеральные сорбенты, удерживающая способность, органические загрязнители, фильтрующий материал.

#### Введение

В результате деятельности нефтехимических, химических, металлургических и других предприятий образуются большие количества сточных и технологических вод, содержащих органические загрязнители (нефть и нефтепродукты) и тяжелые металлы (Fe, Cu, Zn, Cr, Al, Cd и др.), являющиеся самыми распространенными загрязнителями гидросферы [5]. Одним из способов очистки таких вод являются сорбционные процессы, использующие как искусственные, так и природные материалы (угли, торф, диатомит, опоки, кварцевые пески, цеолиты и др.). Стоимость природных сорбентов существенно

#### Abstract

This work is devoted to study of the physico-chemical properties (abrasion, crindability, heterogeneity, etc.) wastes of oil shale processing shale fines and shale ash and a detailed analysis of their chemical and mineral compositions to determine the possibility of using this material as a filter material for water purification from organic pollutants. Determined that shale fines and shale ash meet the requirements of GOST R 51641–200 “granular filter Material”. According to this GOST growth of solids should not exceed 20 mg/dm<sup>3</sup> (shale fines — 4 mg/dm<sup>3</sup>, oil shale ash — 10 mg/dm<sup>3</sup>), the value of work should not exceed 4 % of shale fines by 0,3 — 0,5 %, shale ash — 0,7–0,8 %, and the value of resistance to abrasion — 0,5 % (shale fines — 0,1 %, the oil shale ash — 0,4–0,5 %). Shale ash and oil shale fines that are rich in oil or mineral oil after the sorption process, it is advisable to utilize as a fuel because they are adsorbed product will have a high calorific value.

**Keywords:** oil shale ash, shale fines, mineral sorbents, sorption capacity, hoding capacity, organic pollutants, filter material.

ниже стоимости искусственных, что повышает эффективность их использования [4]. Одним из примеров природных минералов, которые используются для очистки воды, являются глинистые породы — диатомит, опоки, бентонит, трепел и др. Еще одним примером природного сорбента являются цеолиты — алюмосиликатные минералы. Для извлечения ионов металлов (II, III) из водных растворов используется карбонат кальция, при этом образуются менее растворимые карбонаты и гидроксиды этих металлов, кварцевый песок, оксид кальция и др. [12]. Отличительной особенностью большинства природных минеральных сорбентов является преобладание

в химическом составе таких оксидов, как оксид кальция, кремния, алюминия и железа, на основе чего в качестве минерального сорбента для очистки воды могут использоваться сланцевозольные отходы (сланцевая зола и сланцевая мелочь).

В последние десятилетия возрос интерес к переработке горючих сланцев и, соответственно, к их отходам. Многие страны, такие как США, Эстония, Китай, Бразилия, Казахстан и др. используют горючие сланцы в энергетической и химической промышленности. Возможность эффективного использования местных низкосортных источников углеводородов, таких как горючие сланцы, способна увеличить общие ресурсы энергоносителей страны [2, 11, 14–17]. Россия имеет большие по объему месторождения горючих сланцев: Прибалтийский (10 246,7 млн т), Тимано-Печорский (4888 млн т), Вычегодский (58 105,8 млн т), Волжский (25 822,4 млн т), Оленекский (380 000 млн т) и др. бассейны, по количеству которых ее опережают только США и Бразилия [9, 10], поэтому детальные исследования по поиску способов повышения эффективности использования горючих сланцев актуальны.

По оценкам специалистов, изучавших проблему освоения и использования горючих сланцев, промышленность горючих сланцев является крупнейшей мировой отраслью по переработке низкосортного минерального сырья, его добычи и перемещению в пространстве в крупных масштабах. Образование большого количества сланцевой золы — основная проблема переработки сланцев [13]. Помимо сланцевой золы, при добыче и переработке горючих сланцев образуется большое количество сланцевой мелочи, для хранения которой необходимо выделять огромные территории. Учитывая то, что на каждые 50 тыс. т зольных отходов, складываемых в отвалах, затрачивается 15–20 млн руб. в год на экономические платежи, то положение с отходами становится не только экологической, но и экономической проблемой [3].

Основные существующие направления использования сланцевой золы:

- в производстве стройматериалов: цементов, бетона, кирпичей, минеральной ваты и др;
- в строительстве дорог: масс-стабилизация мягких почв, фундаменты дорог и железнодорожных дорог;

- в сельском хозяйстве: нейтрализация кислотных почв, производство удобрений и др. [13].

Применение сланцевой золы в строительной промышленности обусловлено прежде всего тем, что основным компонентом сланцевой золы является ее расплавленная часть — шлаковое стекло. Сочетание алюминатного шлакового стекла, переменного количества свободной извести и ангидрида позволяют рассматривать сланцевую золу как естественное сульфатно-шлаковое вяжущее. Сланцевая зола содержит также целый ряд минеральных веществ, необходимых растениям (калий, кальций, фосфор, микроэлементы) в растворимых соединениях, доступных для усвоения растениями, что обуславливает применение данных отходов в сельскохозяйственной деятельности [13].

Использование отходов сланцепереработки в строительной и сельскохозяйственной промышленности полностью не решает проблему образования большого количества данных отходов, так как большая часть продолжает складироваться в отвалах.

Одним из способов решения данной проблемы может быть использование отходов сланцепереработки — сланцевой золы и сланцевой мелочи, для очистки сточных и технологических вод от органических загрязнителей (нефти и нефтепродуктов) и тяжелых металлов.

#### **Задачи и методы исследования**

Целью данной работы была характеристика физико-химических свойств отходов сланцепереработки, сланцевой золы и сланцевой мелочи, для их использования в качестве фильтрующего материала при очистке воды.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- дана характеристика химического и минерального состава сланцевой золы и сланцевой мелочи;
- проведена оценка физико-химических свойств отходов сланцепереработки (измельчаемости, истираемости, эквивалентный диаметр и др.);
- изучена удерживающая способность сланцевой золы и сланцевой мелочи по отношению к органическим загрязнителям (нефти и нефтепродуктам).

Объектом исследования были сланцевая мелочь и сланцевая зола, образованные при добыче и переработке горючих сланцев ленинградского месторождения. Подготовка сырья осуществлялась в несколько стадий: классификация исходного сырья на различные фракции проводилась на гранулометрическом анализаторе AS Control 2000 с набором сит от 4 мм до 0,125 мм. Масса пробы составляла 1 кг, амплитуда 2 мм/г, время классификации 15 мин.

Химический состав объектов исследования определяли с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра Epsilon3 PANalytical. Масса пробы 3 г, фракция менее 125 мкм. Минеральный состав определяли методом рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6. Дифрактограммы проб обрабатывались при помощи программного пакета PDWin-4 и международной картотеки JCPDS.

Изучение физико-химических свойств сланцевой золы и сланцевой мелочи производилось по следующим методикам:

- Пористость определяли по результатам анализа действительной и кажущейся плотности. Действительную плотность определяли взвешиванием пробы материала в воздухе и пикнометрической жидкости, а кажущуюся плотность по объему воды вытесненной исследуемым образцом. Термостатирование проб проводилось в термостатирующем шкафу Shaking Incubator 3032–3033.

- Прирост сухого остатка (величина сухого остатка характеризует общее содержание растворенных в воде нелетучих минеральных и частично органических соединений), истираемость, измельчаемость, коэффициент неоднородности и эквивалентный диаметр определялись по ГОСТ Р 51641–2000 «Материалы фильтрующие зернистые» и ГОСТ 18164–72 «Метод определения содержания сухого остатка».

- Определение общей влаги осуществляли в сушильном шкафу BINDER по ГОСТ 11014–2001 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги». Навеску массой 2 г, сушили при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , массовую долю влаги вычисляли по потере массы.

- Зольность сланцевой мелочи определяли в муфельной печи SNOL – 8.2/1100 по ГОСТ 11022–95 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности». Пробу мелочи массой 2 г сжигали в муфельной печи при температуре  $(815 \pm 10)^\circ\text{C}$  и выдерживали при заданной температуре до постоянной массы. Зольность рассчитывали по массе остатка после прокаливании.

Определение удерживающей способности отходов сланцепереработки по отношению к органическим загрязнителям (нефти и нефтепродуктам) осуществлялось в статическом и режиме при температуре  $25^\circ\text{C}$ . Навеска материала массой 3 г помещалась в емкость с нефтью или нефтепродуктом на время 5, 10, 15 и 20 мин соответственно, после чего проба материала взвешивалась. Использовались следующие вещества: сырая нефть легкая плотностью  $0,867 \text{ г/см}^3$ , вязкостью  $11 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; тяжелая высоковязкая нефть плотностью  $0,940 \text{ г/см}^3$ , вязкостью  $570 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; дизельное топливо плотностью  $0,854 \text{ г/см}^3$ , вязкостью  $3,21 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; легкий газойль каталитического крекинга плотностью  $0,963 \text{ г/см}^3$ , вязкостью  $2,42 \text{ мм}^2/\text{с}$ ; тяжелый газойль каталитического крекинга плотностью  $1,061 \text{ г/см}^3$  и вязкостью  $127,68 \text{ мм}^2/\text{с}$ . В самом начале были проведены холостые опыты по определению сорбционной емкости сетки, на которой опускались образцы материала. Для сравнения удерживающей способности сланцевой мелочи и сланцевой золы были взяты песок и цеолит.

#### Результаты исследований и обсуждения

В начале исследований был проведен гранулометрический анализ сланцевой золы и сланцевой мелочи, полученных при добыче и переработке горючих сланцев ленинградского месторождения (табл. 1).

По полученным данным, представленным в табл. 2, прироста сухого остатка, измельчаемости, истираемости и др. сделан вывод, что сланцевая мелочь и сланцевая зола удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51641–200 «Материалы фильтрующие зернистые».

По ГОСТ Р 51641–200 «Материалы фильтрующие зернистые» прирост сухого остатка не должен превышать  $20 \text{ мг/дм}^3$  (сланцевая мелочь —  $4 \text{ мг/дм}^3$ , сланцевая зола —  $10 \text{ мг/дм}^3$ ), значение измельчаемости не должно превышать 4 %, сланцевая мелочь — 0,3–0,5 %, сланцевая зола —

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа сланцезольных отходов

Фракция, мм	≥ 4	2	1	0,5	0,25	0,125	≤ 0,125
Содержание, %							
Сланцевая зола	52,56	19,85	13,27	11,30	1,76	0,66	0,60
Сланцевая мелочь	30,98	22,54	19,76	17,15	5,89	2,43	1,25

Таблица 2

Физико-химические свойства сланцезольных отходов

Свойство	Сланцевая мелочь	Сланцевая зола
Пористость, %	24,0	42,0
Прирост сухого остатка, мг/дм <sup>3</sup>	4,0	10,0
Измельчаемость, %	0,3-0,5	0,7-0,8
Истираемость, %	0,1	0,4-0,5
Удельная площадь поверхности, см <sup>2</sup> /г	9,427	51,796
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1140	650
Эквивалентный диаметр зерен, мм	1,40	0,86
Коэффициент неоднородности	4,0	2,0

0,7–0,8 %), а значение истираемости — 0,5 % (сланцевая мелочь — 0,1 %, сланцевая зола — 0,4–0,5 %). Дополнительно были определены такие свойства, как влажность сланцевой мелочи, которая составляет 11,6 %, и сланцевой золы — 2 %. Зольность сланцевой мелочи — до 50,5 %.

По результатам анализа химического и минерального составов сланцевой золы и сланцевой мелочи (табл. 3–5, рис. 1–2) видно, что по химическому составу в сланцевой золе и сланцевой мелочи преобладают такие оксиды, как оксиды кальция, кремния, алюминия и железа, а из минералов в сланцевой золе: ларнит (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) — 42 %, гелетит (Ca<sub>2</sub>Al(Al;Si)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) — 18 %, акерманит (Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) — 15 %, волластонит (Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) — 15 % и фаялит ((Fe,Mg)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>); сланцевой мелочи: кальцит (CaCO<sub>3</sub>) — 28 %, кварц (SiO<sub>2</sub>) — 25 %, иллит ((K<sub>0,75</sub>(H<sub>3</sub>O)<sub>0,25</sub>)Al<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>((H<sub>2</sub>O)<sub>0,75</sub>(OH)<sub>0,25</sub>)<sub>2</sub>) — 17 %, микро-

клин (K[AlSi<sub>3</sub>O<sub>3</sub>]) — 11 % (данные на 2014, 2015). Сланцевая зола, считающаяся отходом, в действительности представляет собой интереснейшей сырьевой объект многоцелевого назначения.

Проанализировав составы природных минеральных сорбентов, таких как глинистые породы (природный доломит — CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, опоки — до 80 %масс. SiO<sub>2</sub>), кварцевый песок — до 80–85 %масс. SiO<sub>2</sub>, карбонат кальция — CaCO<sub>3</sub>, цеолиты (например, клиноптилолит — (K<sub>2</sub>Na<sub>2</sub>Ca) xAl<sub>2</sub>Si<sub>7</sub>O<sub>18</sub>·x6H<sub>2</sub>O) [4, 12], сделан вывод о возможности использования сланцевой золы и сланцевой мелочи в качестве природных минеральных сорбционных материалов для очистки воды от органических загрязнителей (нефти и нефтепродуктов). Стоимость природных минеральных сорбентов существенно ниже искусственных, что повышает эффективность их использования. Сланцевая зола и сланцевая мелочь не требуют экономических затрат для их изготовления, так как они уже являются отходами сланцепереработки.

Согласно СП 31.13330 рекомендуемый размер фракций загрузки фильтров находится в пределах 0,5–2 мм, в результате чего удерживающая способность сланцевой золы и сланцевой мелочи по отношению к органическим загрязнителям (нефти и нефтепродуктам) было решено изучить на фракциях материала 0,5 мм, 1,0 мм и 2,0 мм. В табл. 6 представлены полученные данные. Удерживающая способность представлена интервалом — минимальное и максимальное значение при использовании исследуемых фрак-

Таблица 3

Химический состав горючих сланцев и сланцевой золы, %масс.

	Компонент						
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Другие*
Сланцевая мелочь	39,2	33,22	7,69	4,26	7,18	0,98	6,72
Сланцевая зола	41,2	40,3	9,2	1,0	5,1	0,2	3

\*P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, MnO, Br, TiO<sub>2</sub> и цветные и редкие металлы (W, Co, Cu, Mo, Ni, Zn и др.).

Таблица 4  
Минеральный состав сланцевой золы

Фазовый состав		Содержание (% масс.)
Название	Формула	
Ларнит	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	42 ± 5 %
Геленит	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al};\text{Si})_2\text{O}_7$	18 ± 4 %
Акерманит	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	15 ± 5 %
Волластонит	$\text{CaSiO}_3$	15 ± 4 %
Фаялит	$(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$	10 ± 3 %
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	≈ 1 %

ций. Для сравнения удерживающей способности использовались песок и цеолит. По значениям удерживающей способности сланцевая мелочь располагается в одном ряду с природными сорбентами — цеолитом и песком. На рис. 3 показан пример полученных результатов удерживающей способности для различных фракций сланцевой мелочи.

Полученные значения удерживающей способности сланцевой золы выше значений удерживающей способности сланцевой мелочи, песка и цеолита. Более высокие значения удерживающей способности сланцевой золы по сравнению со сланцевой мелочью можно объяснить увеличением их пористости более чем в 1,5 раза (см. табл. 2).

Сланцевая зола может содержать небольшое количество остаточного углерода, поэтому была также изучена удерживающая способность сланцевой золы с различным содержанием углерода

(0, 3,5 и 7,4 %масс. соответственно) фракцией 1 мм к органическим загрязнителям (рис. 4).

Удерживающая способность у сланцевой золы с содержанием углерода 0 % выше, чем у золы с содержанием углерода 7,4 %. Улучшение данных свойств у сланцевой золы с уменьшением содержания углерода можно объяснить тем, что увеличивается суммарная пористость поверхности за счет вскрытия пор, ранее закрытых углеродом. При этом независимо от содержания углерода в сланцевой золе последняя показывает значения по удерживающей способности выше, чем сланцевая мелочь, что говорит о большем влиянии минеральной части на удерживающую способность.

### Выводы

Анализ химического и минерального составов сланцевой золы и сланцевой мелочи показывает, что они представляют собой сырье многоцелевого использования, например, благодаря большому содержанию оксидов кальция, кремния, алюминия и железа, для очистки сточных и технологических вод от органических загрязнений (нефти и нефтепродуктов).

Определено, что сланцевая мелочь и сланцевая зола удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51641–200 «Материалы фильтрующие зернистые». По данному ГОСТу прирост сухого остатка не должен превышать 20 мг/дм<sup>3</sup> (сланцевая мелочь — 4 мг/дм<sup>3</sup>, сланцевая зола — 10 мг/дм<sup>3</sup>), значение измельчаемости не должно превышать 4 % сланцевая мелочь — 0,3–0,5 %, сланцевая зола — 0,7–0,8 %), а значение истираемости —

Таблица 5  
Результаты количественного рентгенофазового анализа сланцевой мелочи

Минеральный состав		Содержание, %масс.
Название	Формула	
Кальцит	$\text{CaCO}_3$	28 ± 4
Кварц	$\text{SiO}_2$	25 ± 4
Микроклин	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_3]$	11 ± 3
Иллит	$(\text{K}_{0,75}(\text{H}_3\text{O})_{0,25})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}((\text{H}_2\text{O})_{0,75}(\text{OH})_{0,25})_2$	17 ± 6
Хлорит	$(\text{MgFe})_3(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{MgFe})_3(\text{OH})_6$	2 ± 1
Доломит	$(\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2$	6 ± 3
Пирит	$\text{FeS}_2$	2 ± 1
Гетит	$\text{FeO}(\text{OH})$	2 ± 1
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2 ± 1

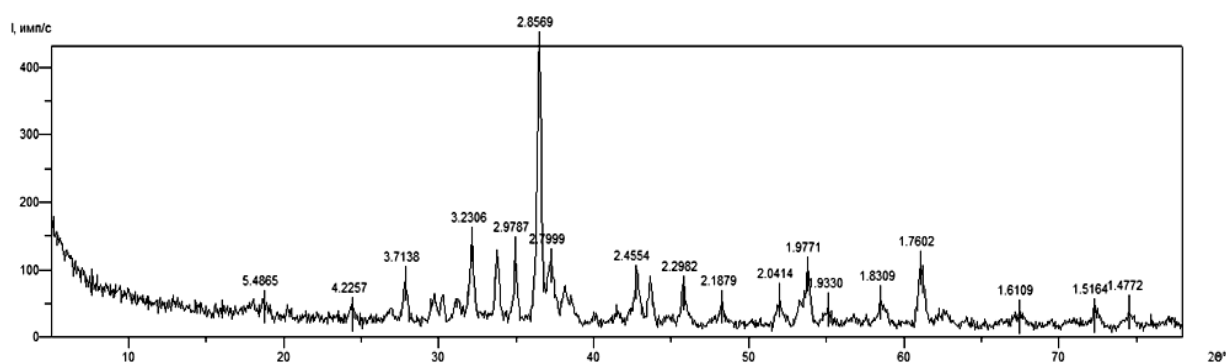


Рис. 1. Дифрактограмма сланцевой золы после процесса газификации

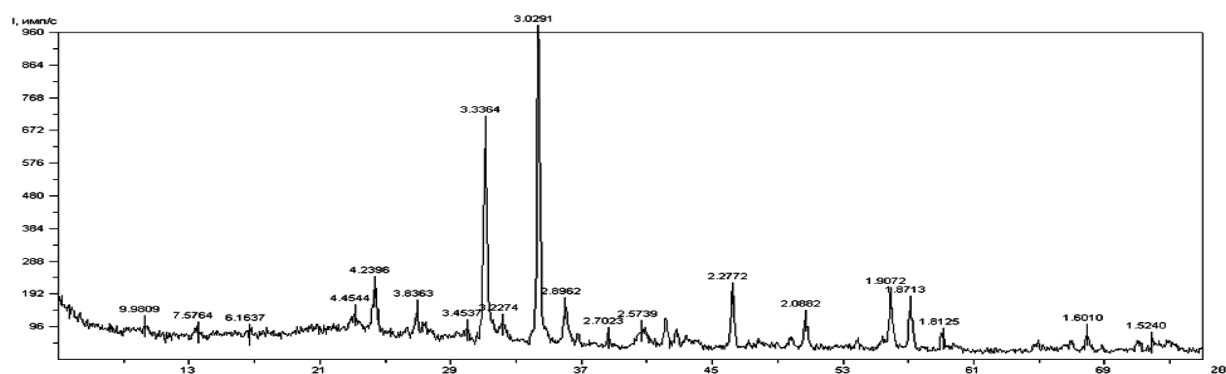


Рис. 2. Дифрактограмма сланцевой мелочи

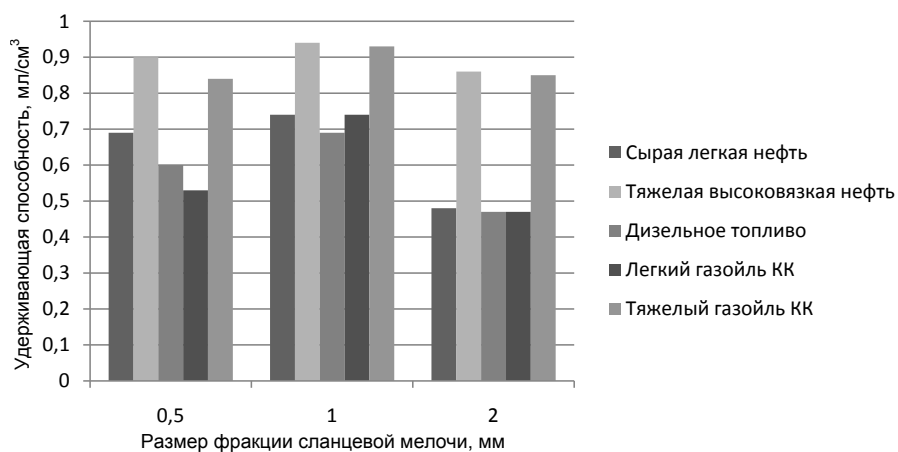


Рис. 3. Удерживающая способность сланцевой мелочи

Таблица 6

Сорбционные емкости различных материалов, мл/см<sup>3</sup>

Органический загрязнитель	Используемый материал			
	Песок	Цеолит	Сланцевая мелочь	Сланцевая зола
Сырая легкая нефть	0,39–0,48	0,52–0,79	0,42–0,74	1,07–1,23
Тяжелая высоковязкая нефть	0,78–0,85	0,86–0,94	0,80–0,94	1,72–2,01
Тяжелый газойль КК	0,70–0,78	0,85–0,99	0,80–0,93	1,76–1,99
Легкий газойль КК	0,32–0,40	0,64–0,82	0,40–0,73	1,28–1,61
Дизельное топливо	0,37–0,42	0,47–0,51	0,40–0,62	1,06–1,16

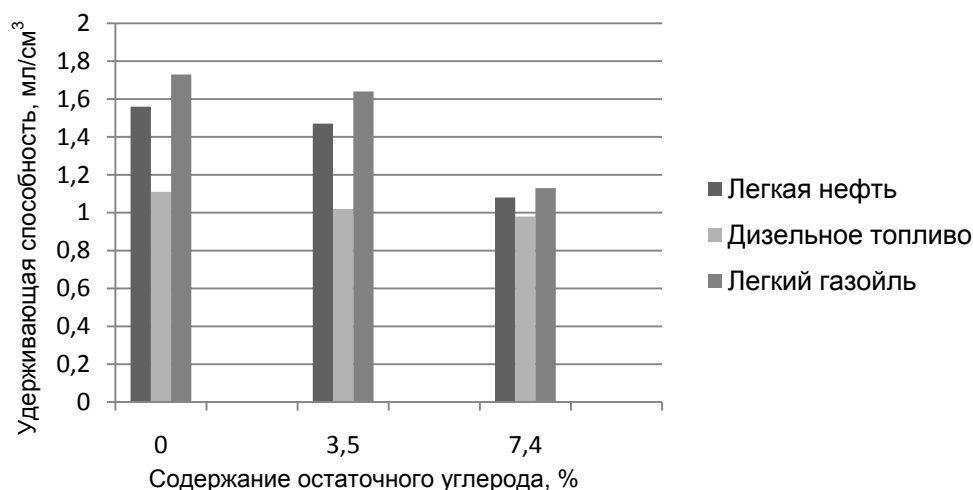


Рис. 4. Зависимость удерживающей способности сланцевой золы от содержания углерода

0,5 % (сланцевая мелочь — 0,1 %, сланцевая зола — 0,4–0,5 %).

Удерживающая способность к органическим загрязнителям (нефти и нефтепродуктам) сланцевой золы выше значений удерживающей способности сланцевой мелочи, песка и цеолита. Более высокие значения удерживающей способности сланцевой золы по сравнению со сланцевой мелочью можно объяснить увеличением их пористости более чем в 1,5 раза.

Сланцевую золу и сланцевую мелочь, насыщенные нефтью или нефтепродуктом после процесса сорбции, целесообразно утилизировать в качестве топлива, поскольку они с адсорбированным продуктом будут обладать высокой теплотворной способностью.

#### Литература

1. Ватин, Н. И., Петросов, Д. В., Калачев, А. И. (2011). Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве. *Инженерно-строительный журнал*, № 4, сс. 16–21.
2. Герасимов, А. М., Сыроечко, А. М., Дронов, С. В. (2012). Влияние минеральной части горючего сланца на процесс его совместной термохимической переработки с гудроном. *Кокс и Химия*, № 4, сс. 37–47.
3. Игоева, Т. Е., Каминский, Ю. Д. (2011). Кызылский золоотвал как источник неблагоприятного воздействия на окружающую среду. *Сибирский экономический журнал*, № 6, сс. 885–892.
4. Климов, Е.С. (ред) (2011). *Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод*. Ульяновск: УлГТУ, 201 с.
5. Минаков, В. В., Кривенко, С. М., Никитина, Т. О. (2002). Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений. *Экология и промышленность России*, № 5, сс. 45–49.
6. Назаренко, М. Ю., Бажин, В. Ю., Салтыкова, С. Н., Шариков, Ф. Ю. (2014). Изменение состава и свойств горючих сланцев во время термической обработки. *Кокс и Химия*, № 10, сс. 46–49.
7. Назаренко, М. Ю., Кондрашева, Н. К., Салтыкова, С. Н. (2015). Исследования продуктов пиролиза горючих сланцев. *Кокс и Химия*, № 4, сс. 38–42.
8. Назаренко, М. Ю., Кондрашева, Н. К., Салтыкова, С. Н. (2016). Эффективность применения горючих сланцев и сланцевозольных отходов для очистки воды от органических загрязнителей. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, № 9 (327), сс. 95–103.
9. Рудина, М. Г. (ред.) (1988). *Справочник сланцепереработчика*. Ленинград: Химия, 256 с.
10. Смирнова, Т. С., Вахидова, Л. М., Мирабидинов, Ш. Н. У. (2013). Минерально-сырьевые ресурсы России и мировой опыт природопользования. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*, № 7, сс. 7–17.
11. Стрижакова, Ю. А., Усова, Т. В., Третьяков, В. Ф. (2006). Горючие сланцы — потенциальный источник сырья для топливно-энергетической и химической промышленности. *Вестник МИТХТ, Химия и технология органических веществ*, № 4, сс. 76–85.
12. Шашкова, И. Л., Ратько, А. И., Мильвит, Н. В. (2000). Извлечение ионов тяжелых металлов из водных растворов с использованием природных карбонатсодержащих терпелов. *Журнал прикладной химии*, № 6 (73), сс. 914–919.
13. Юдович, Я. Э. (2013). *Горючие сланцы Республики Коми. Проблемы освоения*. Сыктывкар: Геопринт, 90 с.
14. Leimbi-Merike, R., Tiina, H., Eneli, L. (2014). Composition and properties of oil shale ash concrete. *Oil shale*, № 2 (34), pp. 147–160.
15. Liu, H. (2011). Pyrolysis of oil shale mixed with low-density polyethylene. *Oil shale*, № 1 (28), pp. 42–48.

16. Raado, L-M., Rein, K., Hain, T. (2014). Oil shale ash based stone formation – hydration, hardening dynamics and phase transformations. *Oil shale*, № 1 (34), pp. 91–101.

17. Xie, Y., Xue, H., Wang, H. (2011). Kinetics of isothermal and non-isothermal pyrolysis of oil shale. *Oil shale*, № 3(28), pp. 415–424.

#### Reference

1. Vatin, N. I., Petrosov, D. V., Kalachev, A. I. (2011). Primenenie zol i zoloshlakovykh othodov v stroitel'stve. [Use of ashes and ash-and-shad wastes in construction]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, № 4, pp. 16–21. (in Russian).

2. Gerasimov, A. N., Syroezhko, A. M., Dronov, S. V. (2012). Vliyanie mineralnoj chasti goryuchego slanca na process ego sovmestnoj termoximicheskoj pererabotki s gudronom [The influence of the mineral part of oil shale on the process of joint thermochemical processing of tar], *Koks i himiya*, № 4, pp. 37–47. (in Russian).

3. Isaeva, I. E., Kaminsky, Yu. D. (2011). Kyzylskij zolootval kak istochnik neblagoprijatnogo vozdejstviya na okruzhajushhuyu sredu. [Kyzylskij ash-dump as a source of adverse effects on the environment]. *Sibirskij jekonomicheskij zhurnal*, № 6, pp. 885–892. (in Russian).

4. Klimov, E. S. (ed.) (2011). *Prirodnye sorbenty i kompleksy v oчитске stochnyx vod* [Natural sorbents and chelating agents in wastewater treatment]. Ulyanovsk: UIGTu, 201 p. (in Russian).

5. Minakov, V. V., Krivenko, S. M., Nikitina, T. O. (2002). Novye tekhnologii oчитски ot neftyanyx zagryaznenij [New technology for cleaning of oil pollution]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, № 5, pp. 45–49.

6. Nazarenko, M. Yu., Bazhin, V. Yu., Saltykova, S. N. (2014). Izmenenie sostava i svoystv goryuchix slancev vo vremya termicheskoj obrabotki [Change of composition and properties of oil shale during thermal processing]. *Koks i himiya*, № 10, pp. 46–49. (in Russian).

7. Nazarenko, M. Yu., Kondrasheva, N. K., Saltykova, S. N. (2015). Issledovaniya produktov piroliza goryuchix slancev [Studies of the pyrolysis products of oil shale]. *Koks i himiya*, № 4, pp. 38–42. (in Russian).

8. Nazarenko, M. Yu., Kondrasheva, N. K., Saltykova, S. N. (2016). Effektivnost primeneniya goryuchix slancev i slancezolnyx otxodov dlya oчитски vody ot organicheskix zagryaznitelej [The efficacy of oil shale and lantsetolistnyj waste for water purification from organic pollutants]. *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, vol. 9 (327), pp. 95–103. (in Russian).

9. Rudina, M. G. (ed.). (1988). *Spravochnik slancepererabotchika* [Directory of senseperception]. Leningrad: Ximiya, 256 p.

10. Smirnova, T. S., Vaxidova, L. M., Mirabidinov, Sh. N. U. (2013). Mineralno-syrevye resursy rossii i mirovoj opyt prirodopolzovaniya [Mineral resources of Russia and the world experience of nature]. *Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politexnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, № 7, pp. 7–17. (in Russian).

11. Strizhakova, Yu. A., Usova, T. V., Tretyakov, V. F. (2006). Goryuchie slancy — potencialnyj istochnik syrja dlya toplivno-energeticheskoy i ximicheskoy promyshlennosti [Oil shale is a potential source of raw material for energy and chemical industry]. *Vestnik MITXT. Himiya i tekhnologiya organicheskix veshestv*, № 4, pp. 76–85. (in Russian).

12. Shashkova, I. L., Ratko, A. I., Milvit, N. V. (2000). Izvlechenie ionov tyazhelyx metallov iz vodnyx rastvorov s ispolzovaniem prirodnyx karbonatsoderzhashhix terpelov [Extraction of heavy metal ions from aqueous solutions using natural carbonate-bearing thebelow]. *Zhurnal prikladnoj himii*, № 6 (73), pp. 914–919. (in Russian).

13. Yudovich, Ya. E. (2013). Goryuchie slancy respubliki Komi. Problemy osvoeniya [Shale oil of the Republic of Komi. Problems of reclamation]. Syktyvkar: Geoprint, 90 p. (in Russian).

14. Leimbi-Merike, R., Tiina, H., Eneli, L. (2014). Composition and properties of oil shale ash concrete. *Oil shale*, № 2 (34), pp. 147–160.

15. Liu, H. (2011). Pyrolysis of oil shale mixed with low-density polyethylene. *Oil shale*, № 1 (28), pp. 42–48.

16. Raado, L-M., Rein, K., Hain, T. (2014). Oil shale ash based stone formation – hydration, hardening dynamics and phase transformations. *Oil shale*, № 1 (34), pp. 91–101.

17. Xie, Y., Xue, H., Wang, H. (2011). Kinetics of isothermal and non-isothermal pyrolysis of oil shale. *Oil shale*, № 3(28), pp. 415–424.

#### Авторы

##### Назаренко Максим Юрьевич

Санкт-Петербургский горный университет  
E-mail: max.nazarenko@mail.ru.

**Кондрашева Наталья Константиновна**, д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский горный университет  
E-mail: natalia\_kondrasheva@mail.ru.

**Салтыкова Светлана Николаевна**, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский горный университет  
E-mail: ssn58@mail.ru

#### Authors

##### Nazarenko Maxim Yurievich

Saint Petersburg Mining University  
E-mail: max.nazarenko@mail.ru..

**Kondrasheva Natalia Konstantinovna**, Dr. of Engineering  
Saint Petersburg Mining University

E-mail: natalia\_kondrasheva@mail.ru.

**Saltykova Svetlana Nikolaevna**, Ph. D. in Engineering

Saint Petersburg Mining University  
E-mail: ssn58@mail.ru