

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-1-76-83>



УДК 539.217.1

Применение метода ртутной порозиметрии в анализе сорбционных материалов

**Р.К. Костоев, Д.С. Точиев, Э.И. Нилхо, З.Х. Султыгова, Р.Д. Арчакова,
Б.А. Темирханов[@], Л.Я. Ужахова**

Ингушский государственный университет, Республика Ингушетия, Магас, 386001 Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: baga@inbox.ru

Цель. Целью данной работы явилось установление доступной пористости сорбента на основе карбонизированной рисовой шелухи и исследование его сорбционных свойств по отношению к нефти и нефтепродуктам.

Методы. В качестве объекта исследования был выбран сорбент на основе рисовой шелухи, карбонизированной при 400 °С в течение 30 мин. Для него проанализирована пористость с помощью ртутных порозиметров Pascal 140 EVO и Pascal 240 EVO, а также изучены сорбционные свойства сорбента в процессе очистки воды от нефти и нефтепродуктов.

Результаты. Показано, что образец сорбента на основе рисовой шелухи является объемно-пористым материалом с удельным объемом пор 0,015 см³/г. Представлено распределение пор по размерам. Установлено, что доступная пористость составляет более 15%. Проведены исследования по сорбции нефти и нефтепродуктов, а также показана возможность применения указанного сорбента в качестве фильтрующего материала при очистке воды от нефтепродуктов. Сорбционные процессы исследованы в динамических и статических условиях. Изучены методические аспекты измерения параметров пористой структуры твердых материалов на ртутном порозиметре Pascal 140 EVO. Определены текстурные характеристики пористой структуры анализируемого сорбента: общий объем пор, величина удельной поверхности пор, объем микро и мезопор.

Выводы. Исследуемые материалы могут быть применены в качестве сорбентов, обладающих развитой пористой структурой, для очистки воды от растворенных и эмульгированных нефтепродуктов.

Ключевые слова: порозиметрия, пористость, сорбент, сорбция, объемы пор, нефть, нефтепродукты, рисовая шелуха.

Для цитирования: Костоев Р.К., Точиев Д.С., Нилхо Э.И., Султыгова З.Х., Арчакова Р.Д., Темирханов Б.А., Ужахова Л.Я. Применение метода ртутной порозиметрии в анализе сорбционных материалов. *Тонкие химические технологии.* 2020;15(1):76-83. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-1-76-83>

Application of the mercury porosimetry method in the analysis of sorption materials

Rashid K. Kostoev, Dzhabrail S. Tochiev, Eset I. Nilkho, Zakhirat H. Sultigova, Raisa D. Archakova, Bagaudin A. Temirkhanov[@], Leyla Ya. Uzhakhova

Ingush State University, Republic of Ingushetia, Magas, 386001 Russia

[@]Corresponding author, e-mail: бага@inbox.ru

Objectives. This study aims to establish the available porosity of a sorbent based on carbonized rice husk and investigate its sorption properties for oil and oil products.

Methods. A rice-husk-based sorbent carbonized at 400°C for 30 min was selected as the subject. The porosity of this sorbent is analyzed with the help of mercury porosimeters, the Pascal 140 EVO and Pascal 240 EVO. The sorption properties of the sorbent are also studied when cleaning water containing oil and oil products.

Results. The test sample is a bulk porous material with a pore volume of 0.015 cm³/g; porosity higher than 15% was found, and the pore size distribution is shown. Studies were conducted on the sorption of oil and oil products as well as the possibility of using the aforementioned sorbent as a filtering material in the purification of water containing oil products. We investigated the sorption processes under dynamic and static conditions. The methodology for measuring the porous structure of solid materials on the mercury porosimeter, Pascal 140 EVO, was examined. The texture characteristics of the sorbent's porous structure were determined, which is primarily the total volume of pores, the values of the specific surface area, and the volume of the micropores and mesopores.

Conclusions. The materials studied can be used as sorbents with a developed porous structure for purification of water with dissolved and emulsified petroleum products.

Keywords: porosimetry, porosity, sorbent, sorption, pore volumes, oil, petroleum products, rice husks.

For citation: Kostoev R.K., Tochiev D.S., Nilkho E.I., Sultigova Z.H., Archakova R.D., Temirkhanov B.A., Uzhakhova L.Ya. Application of the mercury porosimetry method in the analysis of sorption materials. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2020;15(1):76-83. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-1-76-83>

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день применение отходов растительного сырья в качестве сорбционных материалов является актуальной задачей, а исследования таких свойств, как пористость, сорбционная емкость, механическая прочность и другие дают информацию, позволяющую прогнозировать дальнейшее использование отходов растительного сырья в качестве сорбционных материалов.

Целью исследования явилось установление доступной пористости сорбента на основе карбонизированной рисовой шелухи (КРШ) и его сорбционных свойств по отношению к нефти и нефтепродуктам.

Метод ртутной порозиметрии является одним из инструментов исследования пористой структуры твердого тела. Он отличается большой универсальностью, поскольку позволяет получать сведения о пористой структуре в широком интервале размеров пор, а его расчетные уравнения отличаются простотой [1]. Также можно использовать этот метод для измерения удельной поверхности дисперсных тел

при условиях, когда порошок обладает сравнительно низкой поверхностной энергией. Ртуть не смачивает поверхность его частиц, когда в них отсутствуют тупиковые поры, и давление в порозиметре обеспечивает проникновение ртути в наименьшие микропоры образца [2].

Методика измерения пористости методом ртутной порозиметрии заключается во введении ртути в предварительно вакуумированный сосуд с образцом и последовательном повышении давления. Уровень ртути в сосуде по мере ее проникновения в поры убывает, и если этот уровень измерять достаточно точно, то в результате описанного эксперимента можно построить график зависимости объема вдавненной ртути от давления, по давлению рассчитать диаметры заполняемых пор и, в результате, построить порограмму [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве сырья для производства сорбента была использована шелуха риса, выращенного в Краснодарском крае, предварительно измельченная

до размера частиц менее 1 мм; ее подвергали карбонизации в течение 30 мин при 400 °С.

Измерения пористости, а также объемной, кажущейся и реальной (скелетной) плотности материала были проведены на ртутном порозиметре Pascal 140 EVO от Thermo Scientific и гелиевом пикнометре Picnomatic ATC от Thermo Scientific, при этом было использовано руководство пользователя ртутного порозиметра Pascal¹.

По полученным в результате эксперимента количеству ртути, проникшей в поры образцов, и равновесному давлению, при котором возникло явление проникновения, было рассчитано распределение пор по объемам. При расчетах были приняты следующие допущения: поверхностное натяжение ртути и угол смачивания твердого материала постоянны в ходе анализа; давление при проникновении равновесное; поры имеют цилиндрическую форму; твердые материалы не подвергаются деформации под воздействием высокого давления.

При проведении эксперимента фиксировались следующие параметры: температура эксперимента, расчетная плотность ртути, время дегазации до наполнения дилатометра, воздушный импульс, давление дегазации, максимальное давление, максимальное увеличение скорости, максимальное снижение скорости, увеличение скорости насоса, снижение скорости насоса, расстояние между электродами, высота конуса дилатометра, радиус стержня дилатометра, номер дилатометра, вес пустого дилатометра, вес образца, скелетная плотность образца, угол контакта образца ртути.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные получены на указанном выше порозиметре. С помощью гелиевого пикнометра была измерена скелетная плотность материала, которая составила 1.18 г/см³. Качественно определить степень сжатия и скорректировать его возможно с помощью программного обеспечения SOLID.

На рис. 1 представлена кривая интрузии (зависимость объема вдавненной ртути от приложенного давления).

На рис. 2 показано распределение пор по размерам. Здесь явно выделяются 3 пика – это поры диаметром 9.1072 мкм, 36.1200 мкм и 8.0432 мкм. На основании данных об интрузии ртути с использованием программного обеспечения SOLID были рассчитаны следующие характеристики материала:

– общий удельный объем пор 0.01578 см³/г;

¹Ртутные порозиметры серии PASCAL EVO и программное обеспечение SOLID. Руководство пользователя, P/N 31713070, редакция А, Италия, 2017 г. [Mercury porosimeters of a PASCAL EVO series and SOLID software. User guide, P/N 31713070, Edition A, Italy, 2017.]

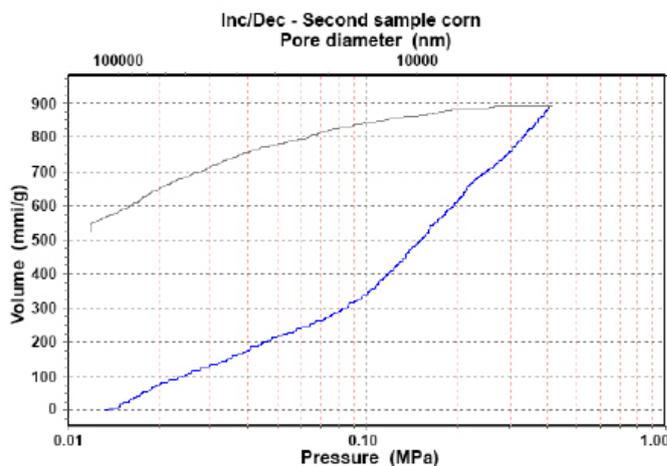


Рис. 1. Кривая интрузии.
Fig. 1. Intrusion curve.

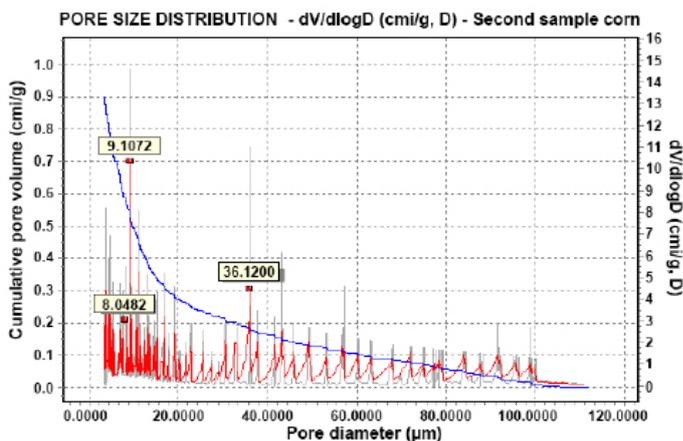


Рис. 2. Диаметры пор карбонизированной рисовой шелухи.

Fig. 2. Pore diameters of the carbonized rice husk.

- удельная площадь поверхности пор 0.001 м²/г (расчет по модели цилиндрических и щелевидных пор);
- средний диаметр пор 9.5113 мкм (определяется как четырехкратный объем пор, деленный на площадь. Принимается, что поры имеют цилиндрическую форму);
- медианный диаметр пор 10.9914 мкм (определяется как размер пор, рассчитанный при 50% общего объема пор);
- наиболее часто встречающийся диаметр пор 9.1072 мкм (определяется как размер пор при максимальном пике производной $dV/d\log D$).

Был проведен анализ распределения пор по размерам исследуемого материала.

Гистограмма распределения пор по размерам приведена на рис. 3 (информация получена только на приборе Pascal 140 EVO).

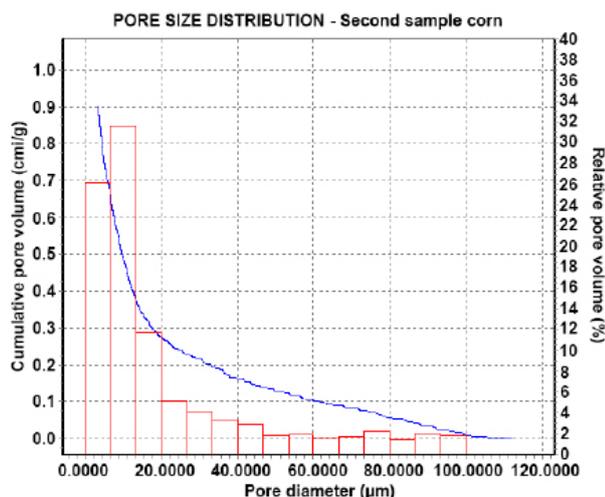


Рис. 3. Удельный объем пор рисовой шелухи.

Fig. 3. Specific pore volume of the rice husk.

На основе модели цилиндрических и щелевидных пор была построена гистограмма распределения удельной площади поверхности по размерам пор (рис. 4).

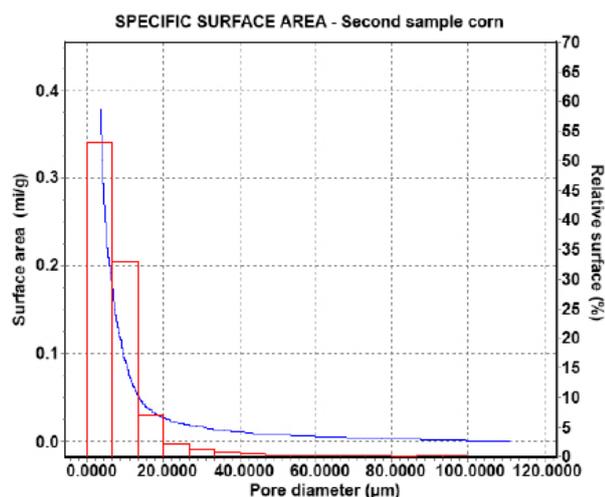


Рис. 4. Удельная площадь поверхности пор карбонизированной рисовой шелухи.

Fig. 4. Specific pore surface area of the carbonized rice husk.

Как видно из исследования, метод ртутной порозиметрии позволяет получить информацию о пористой структуре сорбента, его плотности и общей поверхности.

Результаты анализа образца карбонизированной при 400 °С рисовой шелухи приведены в табл. 1.

После решения основной задачи по определению объема пор карбонизированной рисовой шелухи были исследованы сорбционные свойства этого сорбента по отношению к нефти и нефтепродуктам в динамических и статических условиях. Для определения сорбционной емкости была использована нефть Малгобекского месторождения Республики Ингушетия, бензин марки АИ-93 и летнее дизельное топливо (ДТ класса «Л»). Характеристики используемой нефти приведены в табл. 2 [4].

Ранее было установлено, что сорбция нефти и нефтепродуктов в статических условиях различными сорбентами зависит не только от объема пор самих сорбентов, но и от вязкости поглощаемого вещества и длительности контакта [5].

Сорбционная емкость определялась гравиметрически, рассчитывалась как отношение массы поглощенной нефти и нефтепродуктов к массе сорбента в диапазоне от 5 до 120 мин.

В работе оценка эффективности исследуемых сорбентов определялась согласно ТУ 214-10942238-03-95 [6].

Полученные результаты сорбционной емкости сорбента на основе карбонизированной рисовой шелухи по нефти и нефтепродуктам сведены в табл. 3 (среднее из трех определений).

Из табл. 3 следует, что полная сорбционная емкость исследуемого сорбента невысока, тем не менее, применение карбонизированных углеродсодержащих веществ при очистке сточных вод может быть эффективно.

С целью определения возможности очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов с помощью предлагаемого сорбента изучены его сорбционные характеристики в динамических условиях путем фильтрации очищаемого раствора через неподвижный слой адсорбента. Условия равновесия достигались при постоянной температуре 25 °С и концентрации нефтепродуктов 23.5 мг/л.

Исходную концентрацию нефти в воде определяли гравиметрическим методом [7], основанным на выделении нефтепродуктов из воды экстракцией их

Таблица 1. Результаты анализа пористости исследуемого материала
Table 1. Results of the porosity analysis of the material studied

Реальная плотность по гелиевому пикнометру, г/см ³ Helium pycnometer real density, g/cm ³	Кажущаяся плотность, по результатам ртутной порозиметрии, г/см ³ Apparent density, based on mercury porosimetry, g/cm ³	Доступная пористость, % Available porosity, %	Пористость в закрытых порах, % Closed cell porosity, %	Удельный объем пор, см ³ /г Specific pore volume, cm ³ /g	Удельная площадь поверхности пор, м ² /г Specific surface area of pores, m ² /g
1.18	0.3941	15.750	44.83	0.01575	0.001

Таблица 2. Физико-химические характеристики используемой нефти
Table 2. Physical and chemical parameters of the oil

№	Наименование показателей Parameters	Метод испытания Experimental Method	Результаты испытания Results of the Experiment
1	Плотность нефти, кг/м ³ при 20 °С Density of the oil, kg/m ³ at 20 °С	ГОСТ 3900-85 GOST 3900-85	833.7
2	Вязкость кинематическая, сСт, Kinematic viscosity, cSt, при 20 °С, не более at no higher than 20 °С при 50 °С, не более at no higher than 50 °С	ГОСТ 33-82 GOST 33-82	12.35 5.28
3	Вязкость динамическая, мПа×с, Dynamic viscosity, mPa×s, при 20 °С / at 20 °С при 50 °С / at 50 °С	ГОСТ 33-82 GOST 33-82	10.3 4.40
4	Содержание серы, масс. %, Sulfur content, mass %, в том числе: including: сероводород hydrogen sulfides меркаптаны mercaptans	ГОСТ 1437-75 GOST 1437-75 ГОСТ 17323-71 GOST 17323-71	0.31 Следы Traces 0.0075
5	Содержание хлористых солей, масс. % (мг/дм ³) Chloride content, mass % (mg/dm ³)	ГОСТ 21534-76 GOST 21534-76	0.010 (82.03)
6	Содержание смол силикагелевых, масс. % Silica gel resin content, mass %	ГОСТ 11858-66 GOST 11858-66	1.08
7	Содержание парафинов, масс. % Paraffin content, mass %		2.1
8	Содержание асфальтенов, масс. % Asphaltene content, mass %		0.03
9	Содержание воды, масс. % Water content, mass %	ГОСТ 2477-65 GOST 2477-65	Отсутствие None
10	Содержание механических примесей, масс. % Mechanical impurity content, mass %	ГОСТ 6370-83 GOST 6370-83	0.001
11	Температура застывания, °С Pour point, °С	ГОСТ 20287-96 GOST 20287-96	-20
12	Температура плавления парафина, °С Paraffin melting point, °С	ГОСТ 4255-75 GOST 4255-75	+54
13	Температура вспышки в закрытом тигле, °С Closed cup flash point, °С	ГОСТ 4333-87 GOST 4333-87	-17
14	Температура вспышки в открытом тигле, °С Open cup flash point, °С		0
15	Температура воспламенения, °С Flash point, °С		+11
16	Давление насыщенных паров, кПа (мм.рт.ст) Saturated steam pressure, kPa (mm Hg)	ГОСТ 1756-52 GOST 1756-52	24.4 (183)
17	Кислотность, мг КОН/100см ³ Acidity, mg KOH/100 cm ³	ГОСТ 5985-79 GOST 5985-79	0.015
18	Зольность, % Ash content, %	ГОСТ 1461-75 GOST 1461-75	0.017
19	Молекулярная масса Molecular mass	ГОСТ Р 8.903-2015 GOST R 8.903- 2015	213

гексаном с последующим хроматографическим отделением нефтепродуктов от соединений других классов в колонке, заполненной окисью алюминия.

Эффективность сорбента оценивалась для дистиллированной воды, загрязненной нефтью с концентрацией 23.5 мг/л.

Лабораторная установка представляла собой колонку 50×3 см, заполненную сорбентом на высоту 20 см (общая масса сорбента составила 5 г), в которую с помощью делительной воронки подавалась вода, загрязненная нефтью, проходившая через слой сорбента самотеком с объемной скоростью 6 мл/мин. Очищенную воду собирали в сборник порциями по 250 мл (4 порции). На выходе из колонки получали прозрачную воду, что соответствует РД 52.24.496-2005².

Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в воде по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водо-

снабжения. Контроль качества» составляет 0.1 мг/дм³. Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в сточных водах – 0.3 мг/л.

Анализ воды на остаточное содержание нефтепродуктов в воде, проведенный методом ИК-спектроскопии с использованием ИК-Фурье-спектрометра «Инфралюм ФТ-08», свидетельствует о том, что концентрация нефти в воде находится ниже уровня предельно допустимой концентрации для сточных вод. Определение нефтепродуктов проводили по методике М-01-39-2010³.

Полученные данные о концентрации нефтепродуктов в очищенной воде приведены в табл. 4. После первых 3 проб, то есть после прохождения 750 мл загрязненной воды происходит проскок нефтепродуктов через слой сорбента. Поры начинают забиваться, требуется регенерация сорбента. Эффективность очистки снижается от первой порции к последней, причем концентрация нефтепродуктов в первых двух пробах остается ниже 0.3 мг/л.

Таблица 3. Сорбционная емкость КРШ по нефти и нефтепродуктам
Table 3. Sorption capacity of the carbonized rice husk (CRH) for oil and its products

Сорбент Sorbent	Сорбционная емкость по нефти, г/г Oil sorption capacity, g/g				
	5 мин 5 min	10 мин 10 min	30 мин 30 min	60 мин 60 min	120 мин 120 min
КРШ CRH	4.3	4.7	4.9	5.1	5.2
	Сорбционная емкость по дизельному топливу, г/г Sorption capacity for diesel fuel, g/g				
	4.4	4.6	4.8	5.0	5.0
	Сорбционная емкость по бензину (АИ-93), г/г Sorption capacity for gasoline (AI-93), g/g				
	2.1	3.3	3.9	3.5	3.8

Таблица 4. Концентрация нефтепродуктов в воде до и после фильтрации через КРШ (объем пробы 250 мл)
Table 4. Concentration of oil products in water before and after CRH filtration (sample volume is 250 ml)

Сорбент Sorbent	Концентрация нефти, мг/л Oil concentration, mg/l				
	До фильтрации Before filtration	После фильтрации After filtration			
		1 проба Sample 1	2 проба Sample 2	3 проба Sample 3	4 проба Sample 4
КРШ CRH	23.5	0.22	0.26	0.31	4.8

² Руководящий документ РД 52.24.496-2005: Температура, прозрачность и запах поверхностных вод суши. Методика выполнения измерений. Утв. Росгидрометом 15.05.2005 г. [Guidance document RD 52.24.496-2005: *Temperatura, prozrachnost' i zapakh poverkhnostnykh vod sushy. Metodika vypolneniya izmerenii* (Temperature, transparency and smell of surface water of land. Methodology for making measurements) (approved by Roshydromet, May 15, 2005). (in Russ.).]

³ М-01-39-2010. Определение нефтепродуктов в пробах природных, питьевых и сточных вод. ГОСТ Р 51797-2001 [M-01-39-2010. *Opredelenie nefteproduktov v probakh prirodnykh, pit'evykh i stochnykh vod* (Determination of petroleum products in samples of natural, drinking and wastewater). GOST R 51797-2001 (in Russ.).]

ВЫВОДЫ

Методом ртутной порозиметрии на приборе Pascal компании Thermo Scientific были определены основные характеристики сорбента из карбонизированной рисовой шелухи. Показано, что исследуемые образцы являются объемно-пористыми материалами, которые могут быть применены в качестве сорбентов, обладающих развитой пористой структурой.

Установлена сорбционная емкость исследуемого сорбента по отношению к нефти и нефтепродуктам, которая составила 2–5 г/г. Исследованы процессы сорбции нефтепродуктов на сорбенте из рисовой шелухи в динамических

условиях. Показано, что используемые сорбенты очищают воду от растворенных и эмульгированных нефтепродуктов.

Благодарности

Работа выполнена в инженеринговом центре ИнгГУ «Разработка модифицированных сорбционных материалов» при поддержке Минпромторга РФ и Минобрнауки РФ.

Acknowledgments

The study was performed at the Engineering Center “Development of Modified Sorption Materials” of the Ingush State University with the support of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плаченнов Т.Г., Колосенцев С.Д. *Порозиметрия*. Л.: Химия; 1988. 176 с.
2. Карнаухова А.П. *Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов*. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН; 1999. 470 с.
3. Грег С., Синг К. *Адсорбция, удельная поверхность, пористость*. М.: Мир; 1984. 310 с.
4. Арчакова Р.Д., Ужахова Л.Я. *Переработка нефти в регионе (на примере Республики Ингушетия)*. Монография, Магас: 2019, 152 с.
5. Темирханов Б. А., Темердашев З. А., Шпигун О.А. *Оценка некоторых свойств сорбентов при ликвидации нефтяных загрязнений. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2005;2:16.
6. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. *Нефтяные сорбенты*. Москва – Ижевск; Регулярная и хаотическая динамика; 2005. 268 с.
7. *Сборник методик и инструктивных материалов по определению вредных веществ для контроля источников загрязнения окружающей среды. Часть 5*. Краснодар: Сев. Кавказ; 1996. 128 с.

Об авторах:

Костоев Рашид Керимсултанович, студент химико-биологического факультета Ингушского государственного университета, (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: kostoevrasid62@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-2618-6099>

Точиев Джабраил Салангиреевич, аспирант кафедры химии Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: d.tochiev@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-3340-8008>

Нилхо Эсет Исаевна, аспирант кафедры химии Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: a.nilkho@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0281-6356>

Султыгова Захират Хасановна, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: sul-za@yandex.ru. Scopus Author ID 6503995007, <https://orcid.org/0000-0002-8730-4554>

REFERENCES

1. Plachenov T. G., Kolosentsev S.D. *Porozimetriya* (Porosimetry). Leningrad: Khimiya; 1988. 176 p. (in Russ.).
2. Karnaukhov A.P. *Adsorbtsiya. Tekstura dispersnykh i poristykh materialov* (Adsorption. Texture of disperse and porous materials). Novosibirsk: Nauka. Sib. predpriyatie RAN; 1999, 470 p. (in Russ.).
3. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'* (Adsorption, specific surface, porosity). M.: Mir; 1984. 310 p. (in Russ.).
4. Archakova R.D., Uzhakhova L.Ya. *Pererabotka nefti v regione (na primere Respubliki Ingushetiya)* (Oil Refining in the Region (Case Study of the Republic of Ingushetia)). Monograph, Magas: 2019. 152 p. (in Russ.).
5. Temirkhanov B. A., Temerdashev Z. A., Shpigun O. A. *Evaluation of some properties of sorbents in the elimination of oil pollution. Zashchita okruzhayuschei sredy v neftegazovom komplekse = Environmental Protection in the Oil and Gas Complex*. 2005;2:16 (in Russ.).
6. Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. *Neftyanye sorbenty* (Oil sorbents). Moscow – Izhevsk. 2005. 268 p. (in Russ.).
7. *Sbornik metodik i instruktivnykh materialov po opredeleniyu vrednykh veshchestv dlya kontrolya istochnikov zagryazneniya okruzhayushchei sredy. Chast' 5*. (A collection of methods and guidance materials for the determination of harmful substances for controlling sources of environmental pollution. Part 5). Krasnodar: 1996. 128 p. (in Russ.).

Арчакова Раиса Джабраиловна, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры химии Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: r_archakova@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6975-3612>

Темирханов Багаудин Ахметович, кандидат химических наук, доцент кафедры химии Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: бага@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6710-8081>

Ужахова Лейла Яхьяевна, доцент кафедры химии Ингушского государственного университета (Россия, 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, пр-кт И.Б. Зязикова, 7). E-mail: lenau62@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1396-6456>

About the authors:

Rashid K. Kostoev, Student, Chemical and Biological Faculty, Ingush State University (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: kostoevrasid62@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-2618-6099>

Dzhabrail S. Tochiev, Post-Graduate Student, Department of Chemistry, Ingush State University (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: d.tochiev@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-3340-8008>

Eset I. Niklho, Post-Graduate Student, Department of Chemistry, Ingush State University (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: a.nilkho@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0281-6356>

Zakhirat Kh. Sultygova, Dr. of Sci. (Chemistry), Professor, Vice-rector, Ingush State University (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: sul-za@yandex.ru. Scopus Author ID 6503995007, <https://orcid.org/0000-0002-8730-4554>

Raisa D. Archakova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Chemistry, Ingush State University (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: r_archakova@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6975-3612>

Bagaudin A. Temirkhanov, Cand. of Sci. (Chemistry), Associate Professor, Department of Chemistry, Ingush State University, (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: бага@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6710-8081>

Leyla Ya. Uzhakhova, Associate Professor, Department of Chemistry, Ingush State University, (7, I.B. Zyazikova pr., Magas, Republic of Ingushetia, 386001, Russia). E-mail: lenau62@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1396-6456>

*Поступила: 09.09.2019; Получена после доработки: 03.12.2019; Принята к опубликованию: 18.02.2020.
Submitted: September 09, 2019; Reviewed: December 03, 2019; Accepted: February 18, 2020.*