



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ОСТАТОЧНОЙ БИОМАССЫ CHLORELLA SOROKINIANA И РЯСКИ LEMNA MINOR

Е.Л. Шабуров¹, О.В. Деревянко¹, А.В. Федюхин²,
Ю.А. Смятская¹, Н.А. Политаева¹

¹Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский университет Московский энергетический
институт, г. Москва, Россия
derevyanko_ov@spbstu.ru

Резюме: В работе рассмотрены проблемы очистки сточных вод и утилизации отработанных адсорбентов. Предложены различные способы утилизации отработанных сорбентов, изготовленных из остаточной биомассы микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*. Рассмотрена технология получения адсорбентов из сельскохозяйственных отходов (карбонизированная шелуха проса), из отходов производства терморасширенных графитов, биополимера – хитозана, и из остаточной биомассы микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*. Остаточная биомасса образуется после экстракции ценных компонентов из водорослей и ряски. Проведен термогравиметрический анализ, который показал, что разложение отработанного сорбента под действием температуры сопровождается экзотермическими эффектами в интервале температур 360–500 °С. Это позволяет рекомендовать применение отработанных сорбционных материалов в качестве топлива для получения энергии. Впервые определена удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП (22857–25220 кДж/кг), и от ИТМ (19 079–21 117 кДж/кг). Показано, что величины удельной теплоты сгорания отработанных сорбентов из остаточной биомассы не уступают классическим видам топлива: каменным и бурым углям. Удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП выше, чем удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от ИТМ. Это объясняется наличием углеводов нефти, адсорбированных на сорбентах, которые повышают калорийность вещества.

Ключевые слова: утилизация отработанных сорбентов, топливо, остаточная биомасса *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*, очистка воды.

Благодарности: Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме проекта: «Разработка и внедрение инновационных биотехнологий переработки микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*» (СОГЛАШЕНИЕ № 14.587.21.0038 от 17 июля 2017 г.) Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58717X0038.

DETERMINATION OF THERMAL CAPACITY OF PROCESSED SORBENTS FROM RESIDUAL BIOMASS OF CHLORELLA SOROKINIANA AND DUCKWEED LEMNA MINOR

E.L. Shaburov¹, O.V. Derevianko¹, A.V. Fedyukhin²,
Yu.A. Smyatskaya¹, N.A. Politaeva¹

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

²National Research University Moscow Energy Institute, Moscow, Russia
derevyanko_ov@spbstu.ru

Abstract: *Our article reviews the issues arising during the process of wastewater purification and utilization of spent adsorbents. We are offering different ways of utilization of spent sorbents produced from residual biomass of Chlorella Sorokiniana microalgae and Lemna Minor duckweed. We review the technology of adsorbent production from agricultural waste (carbonized millet husks), wastes of the thermally expanded graphite and chitosan biopolymer production, and residual biomass of Chlorella Sorokiniana microalgae and Lemna Minor duckweed, which is formed after all the valuable components have been extracted from the algae and duckweed. We have conducted a thermogravimetric analysis that demonstrated that the spent sorbents' decomposition when exposed to high temperatures results in a variety of exothermic effects in the 300 to 500 °C range. This fact allows us to recommend application of spent sorbents as a fuel for energy generation.. For the first time we determine the specific heat of combustion of spent sorbents used in wastewater purification from oils (22,857–25,220 kJ/kg) and from heavy metal ions (19,079–21,117 kJ/kg). We demonstrate that the value of specific heat of combustion of spent sorbents produced from residual biomass is not less than that of classic fuels such as coals and brown coals. The specific heat value of combustion of spent sorbents used in wastewater purification from oils is higher than that of those used in wastewater purification from heavy metal ions because of the oil carbohydrates adsorbed on sorbents, which increases the material's calorific value.*

Keywords: *spent sorbents' utilization, fuel, residual biomass of Chlorella Sorokiniana microalgae and Lemna Minor duckweed, water purification.*

Acknowledgments: *The research was conducted within the Federal Target Program "Research and Development of Priority Directions of Development of Scientific and Technological Complex of Russia from 2014 to 2020", project topic "Development and Implementation of Innovative Biotechnologies of Processing of Chlorella Sorokiniana Microalgae and Lemna Minor Duckweed" (AGREEMENT #14.587.21.0038, July 17, 2017) Unique project ID RFMEFI58717X0038.*

For citation: Shaburov E.L., Derevianko O.V., Fedyukhin A.V., Smyatskaya Yu.A., Politaeva N.A. Determination of thermal capacity of processed sorbents from residual biomass of Chlorella Sorokiniana and duckweed Lemna Minor. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2019; 21(3-4):100-106. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-3-4-100-106.

Введение

Очистка сточных вод и утилизация отходов являются одними из важнейших экологических задач. Замкнутые циклы при очистке сточных вод, безотходные технологии на производстве, являются одними из приоритетных задач современной промышленности. Для снижения высокотоксичных концентраций в сточных водах используют эффективные сорбционные методы очистки. Перспективные и экономически выгодные сорбенты можно изготавливать из вторичного сырья (лигнин и целлюлозосодержащие отходы), что позволит одновременно решить сразу две проблемы: очистку воды и утилизацию отходов. Процесс

поглощения сорбентами примесей (ионов тяжелых металлов из нефтеперерабатывающих стоков нефтепродуктов) не бесконечен, и со временем адсорбент доходит до стадии насыщения и требует замены. Поэтому одной из экологических проблем использования сорбционной очистки воды, является десорбция (регенерация) и утилизация сорбента. Весьма важно не только очистить сточные воды производственных предприятий, но и добиться того, чтобы утилизируемых отходов было минимальное количество, чтобы они были нетоксичными и невредными для окружающей среды [1–4].

Сотрудниками Санкт-Петербургского политехнического университета разработана технология получения ценных компонентов из микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor* [5, 6]. После выделения ценных компонентов (липидов, каротиноидов, пигментов) образуется отход (остаточная биомасса) из которого были изготовлены сорбционные материалы. Для повышения сорбционной емкости в состав сорбентов были добавлены сельскохозяйственные отходы (карбонизированная шелуха проса) [7–10], отходы производства терморасширенных графитов [11–13], в качестве связующего использовался биополимер – хитозан [14–16].

Были получены 3 вида сорбентов:

- 1 – терморасширенный графит+ хитозан+ остаточная биомасса;
- 2 – хитозан + остаточная биомасса;
- 3 – хитозан + остаточная биомасса + карбонизированная шелуха проса.

Полученные сорбционные материалы использовали для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ) и нефтепродуктов (НП). Процесс регенерации отработанных сорбентов экологически не безопасен и экономически не целесообразен. Поэтому нами были рассмотрены возможные способы утилизации отработанных сорбентов с получением товаров, имеющих народно-хозяйственное значение, по схеме, показанной на рисунке.



Рис. 1. Схема утилизации отработанных сорбционных материалов на основе отходов агропромышленного комплекса

Целью данной работы явилось изучение возможности утилизации отработанных сорбентов в качестве основного или резервного топлива на твердотопливных котлах.

Приборы и методы

Термогравиметрические исследования отработанных сорбентов проводили на приборе «Дериватограф» марки ОД-103 венгерской фирмы МОМ. Навеску образца массой 0,2 г. помещали в тигли из плавленного оксида алюминия и нагревали на воздухе до 1000 °С со скоростью 10 град/мин. В качестве эталона использовали прокаленный оксид алюминия, температуру регистрировали Pt-Pt/Rh термопарой. Пробоподготовка анализа заключается в измельчении отработанных сорбентов в агатовой ступке до порошкообразного состояния.

Испытания по определению удельной теплоты сгорания отработанных сорбентов проводили в лаборатории Гамбургского университета технологии (Германия) на калориметре IKA C 5000. Используемое устройство представляет собой калориметр бомбы с адиабатической рубашкой согласно DIN EN 51900-3. Отработанные сорбенты предварительно сушат при 45 °С до постоянной массы, затем измельчают до размеров менее 0,25 мм.

Согласно DIN EN 51900-1 теплотворная способность $H_{o,v}$ определяется как отношение количества тепла, выделяемого в случае полного сгорания, и массы образца при следующих предположениях:

- сжигание происходит при постоянном объеме;
- температура топлива перед сжиганием и температура его продуктов сгорания составляет 25 °С;
- вода, присутствующая в топливе перед горением, и вода, образующаяся, когда водородсодержащие соединения горючего топлива присутствуют в жидком состоянии после сгорания;
- продукты сгорания углерода и серы присутствуют в виде двуокси углерода и двуокси серы в газообразном состоянии;
- окисления азота не происходит.

$H_{o,v}$ определяется с помощью метода, описанного ниже, с помощью калориметра. Калориметрическая бомба помещается в водонаполненный калориметрический сосуд, который расположен в адиабатической изолирующей рубашке. После времени уравнивания температуры между калориметрической бомбой и водой в калориметрическом сосуде зажигается образец топлива. Регистрируется ход повышения температуры. Из разности температур теплотворная способность образца рассчитывалась с учетом теплоемкости калориметра:

$$H_{o,v} = \frac{C \cdot \Delta T - (Q_N + Q_S + Q_Z)}{m_p} \quad (1)$$

где $H_{o,v}$ – калорийность образца, Дж/г; ΔT – изменение температуры, К; Q_N – эволюция тепла путем образования азотной кислоты, Дж; Генерация тепла Q_Z путем образования SO_2 , Дж; Q_Z – количество внешнего тепла, Дж; m_p – масса образца, г;

C определяет теплоемкость калориметрической системы. Дж/К, согласно уравнению (2):

$$C = \frac{H_{o,v} \cdot m_B + Q_Z}{\Delta T} \quad (2)$$

где: $H_{o,v}$ – теплота сгорания эталонного вещества в джоулях на грамм;

m_B – масса эталонного вещества в граммах;

Q_Z – количество внешнего тепла, в Джоулях;

ΔT повышение температуры, определенное в калибровке, в Кельвине.

Измерение происходит в два этапа. Сначала начинается температурная компенсация между калориметрической бомбой и калориметрической водой. Это время компенсации называется предварительным экспериментом. Впоследствии основной эксперимент начинается с воспламенения образца сгорания и определения увеличения температуры.

Из заданного значения теплоты сгорания и содержания элемента теплотворная способность может быть рассчитана с использованием уравнений (3) и (4):

$$H_{u,p} = H_{o,v} - [k \cdot H + 0.8 \cdot (N + O) + k_1 \cdot w] \quad (3)$$

$$N + O = 100 - (w + A + C + H + S) \quad (4)$$

где: k – теплота испарения с учетом объемных работ воды, образующейся из водорода при горении при 25 °С = 23,727 Дж/%;

k_1 удельная теплота испарения воды при постоянном давлении при 25 °С, $k_1=24,4$ Дж/%;

w – аналитическая влажность топлива, % по массе;

A – зольность топлива, % по массе;

C – содержание углерода в топливе, % по массе;

H – содержание водорода в топливе, % по массе;

S – содержание серы в топливе, % по массе [17].

Погрешность измерений не превышает 2,5 %

Результаты и их обсуждение

Отработанные сорбенты после очистки нефтепродуктов подвергались термогравиметрическому анализу (погрешность измерений составляла не более 2,5 %). Данные дифференциального термогравиметрического анализа (ДТА) отработанных сорбентов состава №1, после очистки сточных вод от НП, (рис. 2) показывают, что до 120 °С происходит удаление воды, потеря по массе составляет от 0 до 7 %. Начало разложения компонентов отработанных сорбентов начинается при 300 °С, при этом происходит разложение углеводородов (НП), адсорбированных из сточных вод. Анализ кривой ДТА показывает, что разложение отработанного адсорбента под действием температуры сопровождается экзотермическими эффектами в интервале температур 360–500 °С. Это подтверждает возможность применения отработанных сорбционных материалов в качестве топлива для получения энергии.

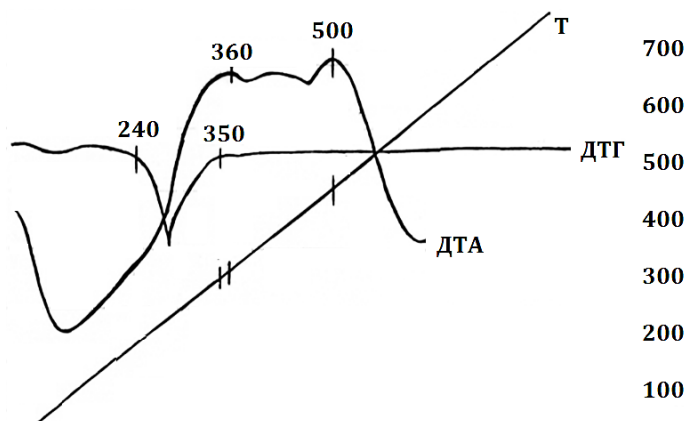


Рис. 2. Термогравиметрический анализ отработанного сорбента, после очистки сточных вод от НП

С использованием калориметра ИКА С 5000 и формул 1–4 была определена удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от ИТМ и НП (таблица).

Таблица

Сравнительные данные удельной теплоты сгорания отработанных сорбентов и классического топлива

№	Состав сорбента	Удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от ИТМ, кДж/кг	Удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП, кДж/кг
1	Терморасширенный графит + хитозан+ остаточная биомасса	21 117 ± 21	25 220 ± 15
2	Хитозан + остаточная биомасса	20 674 ± 20	23 432 ± 23
3	Хитозан + остаточная биомасса + карбонизированная шелуха проса	19 079 ± 19	22 857 ± 22
Данные для сравнения [18]			
	Вид топлива	Удельная теплота сгорания, Кдж/кг	
4	Уголь древесный	29 600	
5	Уголь каменный	20 200	
6	Уголь бурый, лигнит	16 300	

Из таблицы видно, что величины удельной теплоты сгорания отработанных сорбентов из остаточной биомассы не уступают классическим видам топлива – каменным и бурым углям. Удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП выше (22857–25220 кДж/кг), чем удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от ИТМ. Данный факт объясняется наличием углеводородов нефти, адсорбированных на сорбентах, которые повышают калорийность вещества. В результате проведенного анализа возможно рекомендовать использование отработанных сорбентов в качестве топлива.

Выводы

В результате проделанной работы рассмотрены способы утилизации отработанных сорбентов, изготовленных из остаточной биомассы микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*. Термогравиметрический анализ показал, что разложение отработанного сорбента под действием температуры сопровождается экзотермическими эффектами в интервале температур 360–500 °С. Это позволяет рекомендовать применение отработанных адсорбционных материалов в качестве топлива для получения энергии.

Впервые определена удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП (22857–25220 кДж/кг), и от ИТМ (19 079–21 117 кДж/кг). Показано, что величины удельной теплоты сгорания отработанных сорбентов из остаточной биомассы не уступают классическим видам топлива – каменным и бурым углям. Удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от НП выше, чем удельная теплота сгорания отработанных сорбентов после очистки СВ от ИТМ. Это объясняется наличием углеводородов нефти, адсорбированных на сорбентах, которые повышают калорийность вещества.

Литература

1. Жумаева Д.Ж. Угольные адсорбенты для очистки сточных вод и их вторичное использование // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. 2016. № 11(29). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3851> (дата обращения: 30.06.2018).
2. Литвинова Т.А., Цокур О.С., Зубенко Ю.Ю., Косулина Т.П. Решение проблемы утилизации нефтесодержащих отходов с вовлечением их в ресурсооборот // Современные проблемы науки и

образования. 2012. № 6. / [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://online.rae.ru/1272> (дата обращения: 23.09.2016).

3. Мисун Л.В., Мисун И.Н., Грищук В.М. Инженерная экология в АПК. Мирск.: БГАТУ, 2007. 302 с.

4. Jumaeva D.J, Toirov O.Z. The obtainment of carbon adsorbents and their composition for clearing industrial wastewater. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Vienna, 2016. № 3–4. P. 67–70.

5. Politaeva N., Kuznetsova T., Smyatskaya Y., Atamaniuk I., Trukhina E. Chlorella Microalga Biomass Cultivation for Obtaining Energy in Climatic Conditions of St. // Petersburg Chlorella Microalga Biomass Cultivation for Obtaining Energy in Climatic Conditions of St. Petersburg Advances in Intelligent Systems and Computing 2018.- 692, P. 555–562.

6. Natalia Politaeva*, Tatyana Kuznetsova, Yulia Smyatskaya, Elena Trukhina and Filipp Ovchinnikov. Impact of various physical exposures on Chlorella Sorokiniana microalgae cultivation// International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 12, No.21 (2017). P. 11488–11492

7. Собгайда Н.А. Влияние модифицирования шелухи пшеницы на ее сорбционные свойства к ионам Pb²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺ и Cu²⁺ / Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская, Ю.А. Макарова // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2010. Т.53, №11. С.36–40.

8. Собгайда Н.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов - отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной отраслей промышленности / Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская, Ю.А. Макарова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 9. С.43–45.

9. Влияние природы связующего материала на сорбционные свойства сорбентов, изготовленных из отходов агропромышленного комплекса/ Н.А. Собгайда, Ю.А.Макарова. Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 1, № 1 (52). С. 116–122.

10. Sobgaida NA, Olshanskaja LN, Makarova YA. Cleaning petroleum products from waste water with composite filters based on waste products // Chemical and Petroleum Engineering . 2010; 46(3):171–177.

11. Sobgaida NA, Olshanskaja LN, Nikitina TV. Fiber and carbon materials for removing oil products from effluent // Chemical and Petroleum Engineering. 2008; 44():41–44.

12. Politaeva Natalia A, Bazarnova Julia G, et al. Impact of carbon dopants on sorption properties of chitosan-based materials // Journal of Industrial Pollution Contro-2017;33(2):1617–1621.

13. Olshanskaya AA, Sobgaida NA, Popova SS, Olshanskaja LN. New materials for sorption of hydrogen // Russian Journal of Applied Chemistry. 2004; 77(9):1505–1509.

14. Taranovskaya EA, Sobgaida NA, Markina DV. Technology for Obtaining and Using Granulated Absorbents Based on Chitosan // Chemical and Petroleum Engineering. 2016; 52(5-6):357–361.

15. Politaeva NA, Slugin VV, Taranovskaya EA, Soloviev MA, Zakharevich AM. Granulated sorption materials for waste waters purification from zink ions (Zn²⁺) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya. 2017; 60(7):85–90.

16. Taranovskaya EA, Sobgaida NA, Markina DV. Technology for Obtaining and Using Granulated Absorbents Based on Chitosan // Chemical and Petroleum Engineering. 2016; 52(5-6):357–361.

17. Абрютин А.А. и др. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. ГОСТ 147–2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания.

Авторы публикации

Шабуров Евгений Леонидович – аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

Деревянко Олег Владимирович – ассистент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

Федюхин Александр Валерьевич – доцент кафедры «Промышленные теплоэнергетические системы» Национального исследовательского университета Московского энергетического института.

Смятская Юлия Александровна – заведующий НИЛ «Промышленная экология» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

Политаева Наталья Анатольевна – профессор Высшей школы биотехнологий и пищевых технологий, профессор кафедры «Гражданское строительство и прикладная экология» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

References:

1. Zhumaeva D.ZH. Ugol'nye adsorbenty dlya ochkistki stochnyh vod i ih vtovichnoe ispol'zovanie // Universum: Himiya i biologiya: ehlektron. nauchn. zhurn. – 2016. – № 11(29). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3851> (data obrashcheniya: 30.06.2018).
2. Litvinova T.A., Cokur O.S., Zubenko YU.YU., Kosulina T.P. Reshenie problemy utilizacii neftesoderzhashchih othodov s вовлечением ih v resursoobrot // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2012. – № 6. / [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://online.rae.ru/1272> (data obrashcheniya: 23.09.2016).
3. Misun L.V., Misun I.N., Grishchuk V.M. Inzhenernaya ehkologiya v APK. – Mn.: BGATU, 2007. – 302 s.
4. Jumaeva D.J., Toirov O.Z. The obtainment of carbon adsorbents and their composition for clearing industrial wastewater. // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2016. – № 3–4. – P. 67–70.
5. Politaeva, N., Kuznetsova, T., Smyatskaya, Y., Atamaniuk, I., Trukhina, E. Chlorella Microalga Biomass Cultivation for Obtaining Energy in Climatic Conditions of St. // Petersburg Chlorella Microalga Biomass Cultivation for Obtaining Energy in Climatic Conditions of St. Petersburg Advances in Intelligent Systems and Computing 2018. – Vol. 692, s. 555-562
6. Natalia Politaeva, Tatyana Kuznetsova, Yulia Smyatskaya, Elena Trukhina and Filipp Ovchinnikov. Impact of various physical exposures on Chlorella Sorokiniana microalgae cultivation // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – №. 21. – Pp. 11488-11492.
7. Sobgajda N. A., Ol'shanskaya L. N., Makarova YU. A. Vliyanie modifitsirovaniya sheluhi pshenicy na ee sorbcionnye svoystva k ionam Pb²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺ i Cu²⁺ // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya. – 2010. – T.53, №11. – С.36 - 40.
8. Sobgajda N. A., Ol'shanskaya L. N., Makarova YU. A. Ochkistka stochnyh vod ot ionov tyazhelyh metallov s pomoshch'yu sorbentov–othodov derevoobrabatyvayushchej i sel'skohozyajstvennoj promyshlennosti // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2009. – № 9. – С.43-45.
9. Sobgajda N. A., Makarova YU. A. Vliyanie prirody svyazuyushchego materiala na sorbcionnye svoystva sorbentov, izgotovlennyh iz othodov agropromyshlennogo kompleksa // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – T. 1. № 1 (52). – S. 116-122.
10. Sobgajda N.A., Olshanskaja L.N., Makarova Y.A. Cleaning petroleum products from waste water with composite filters based on waste products // Chemical and Petroleum Engineering – 2010. – Vol. 46, № 3. – P. 171-177.
11. Sobgajda N.A., Olshanskaja L.N., Nikitina T.V. Fiber and carbon materials for removing oil products from effluent // Chemical and Petroleum Engineering. – 2008. – Vol. 44, №. – P. 41-44.
12. Politaeva Natalia A., Bazarnova, Julia G. and el. Impact of carbon dopants on sorption properties of chitosan-based materials // Journal of Industrial Pollution Control-2017 – № 33 (2), – P. 1617-1621.
13. Olshanskaya A.A., Sobgajda N.A., Popova S.S., Olshanskaja L.N. New materials for sorption of hydrogen // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2004. – Vol. 77, № 9. – P. 1505-1509.
14. Taranovskaya, E.A., Sobgajda, N.A., Markina, D.V. Technology for Obtaining and Using Granulated Absorbents Based on Chitosan // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – 52(5-6), – P. 357-361
15. Politaeva, N.A., Slugin, V.V., Taranovskaya, E.A., Soloviev, M.A., Zakharevich, A.M. Granulated sorption materials for waste waters purification from zinc ions (Zn²⁺) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij, Seriya Khimiya i Himicheskaya Tekhnologiya. – 2017. – 60(7), – P. 85-90

© *Е.Л. Шабуров, О.В. Деревянко, А.В. Федюхин, Ю.А. Смятская, Н.А. Политаева*

16. Taranovskaya, E.A., Sobgaida, N.A., Markina, D.V. Technology for Obtaining and Using Granulated Absorbents Based on Chitosan // Chemical and Petroleum Engineering. -2016. – 52(5-6), – P. 357-361.

17. Abryutin A. A. i dr. Teplovoj raschet kotlov. Normativnyj metod. GOST 147-2013 Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie vysshej teploty sgoraniya i raschet nizshej teploty sgoraniya.

Authors of the publication

Evgeny L. Shaburov – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Oleg V. Derevianko – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Alexander V. Fedyukhin – National Research University Moscow Energy Institute, Moscow, Russia

Yulia A. Smyatskaya – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Natalia A. Politaeva – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Поступила в редакцию

14 февраля 2019 г.