

## МАГНИТНЫЙ СОРБЕНТ ИЗ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

О. Н. Горелая<sup>1</sup>, В. И. Романовский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Старший преподаватель кафедры «Экология и энергоэффективность в техносфере» Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь; e-mail: glesya@mail.ru

<sup>2</sup> К. т. н., старший научный сотрудник Института общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь; e-mail: v.romanovski@yandex.ru

### Реферат

Представлены результаты синтеза образцов магнитного сорбента для очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием мочевины в качестве восстановителя с мольным соотношением «окислитель-восстановитель», равным 1. Исследованы свойства магнитного сорбента, полученного при разных температурах инициации экзотермической реакции синтеза: полная статическая обменная емкость, удельная поверхность и нефтеемкость синтезированных сорбентов.

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка воды, магнитный сорбент, отходы.

## MAGNETIC SORBENT FROM WATER TREATMENT PRESIOITATE FOR PURIFICATION OF OIL-CONTAINING WASTE WATER

O. N. Gorelaya, V. I. Romanovski

### Abstract

The results of the synthesis of a magnetic sorbent using urea as a reducing agent with a molar ratio of "oxidizer-reducing agent" equal to 1 for the purification of oil-containing wastewater are presented. The properties of a magnetic sorbent obtained at different temperatures of initiation of an exothermic synthesis reaction were investigated: total static exchange capacity, specific surface area and oil sorption capacity of synthesized sorbents.

**Keywords:** waste water, water treatment, magnetic sorbent, waste.

### Введение

Динамичное развитие и совершенствование методов очистки сточных вод наряду с использованием природных ресурсов предполагает и развитие направлений, объектами которых являются отработанные однажды в технологических процессах ресурсные составляющие [1–6]. Как известно, для очистки нефтесодержащих сточных вод после классической очистки механическими методами наиболее часто применяют физико-химическую очистку. Значительный эффект по очистке сточных вод от содержащихся в ней эмульгированных и растворенных нефтепродуктов достигается сорбционным методом. По результатам изучения трудов отечественных и зарубежных ученых однозначными фаворитами при всем многообразии сорбентов являются активные угли и их различные модификации, далее следуют резистентные к намоканию (гидрофобные), но при этом олеофильные полимерные сорбенты. При всех явных преимуществах применение обозначенных выше сорбционных материалов несколько ограничивается дефицитностью для нашего региона и значительной стоимостью наиболее универсальных и эффективных сорбентов и влечет за собой, как правило, особый технологический процесс по их изготовлению и регенерации.

При этом мировое научное сообщество столкнулось с одной из глобальных природоохранных проблем современности – отходами. Перед учеными стоит ряд задач в данном направлении: от сложностей сортировки и переработки до вовлечения в хозяйственный оборот, как повторно применяемых ресурсов, позволяющих сократить добычу и использование полезных ископаемых. Авторами [2–4] предложено рассмотреть одно из перспективных направлений: использовать отходы станций обезжелезивания – осадок после промывки фильтров обезжелезивания (гидроокись железа и марганца) – для удаления из водных сред нефтепродуктов. Данный вид отходов по общегосударственному классификатору Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь» относится к третьему классу опасности по степени опасности; по классификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением от 22 марта 1989 г. – Y35 – основные соединения или твердые основания.

По данным предварительных исследований, содержание железа в данных отходах может составлять до 60%. В качестве исходного материала выбраны отходы промывки фильтров обезжелезивания Гомельского водозабора «Ипуть» с определенным содержанием железа 55,4%. При этом в качестве примесных ионов могут содержаться кремний и алюминий, ионы кальция и некоторые другие [3].

Исследование данных отходов преимущественно коснулось строительного и сельскохозяйственного секторов народного хозяйства. Исследования, посвященные получению сорбентов и коагулянтов несколько разрозненны и мало представлены в работах отечественных ученых – как правило, модифицированные материалы используются в дисперсном или гранулированном виде [5].

Ранее нами было предложено получение наноструктурированных сорбционных материалов для удаления нефтепродуктов из водных сред [2]. Для получения наноразмерных материалов различного назначения перспективным в последние годы считается метод экзотермического горения в растворах [7–14]. Преимуществами данного метода являются малое время подготовительных процедур и синтеза, низкие энергозатраты, легкая масштабируемость.

Следует также отметить, что полученные наноразмерные сорбенты обладают ярко выраженными магнитными свойствами [4]. Придание сорбентам магнитных свойств может обеспечить значительное повышение эффективности и сферы их использования, поскольку появляется возможность вводить сорбенты в очищенную жидкость в виде дисперсной фазы и извлекать из среды физическим методом.

### Методология исследования

В данной работе в качестве железосодержащих прекурсоров для синтеза использовали растворы кислотного (азотная кислота) выщелачивания железосодержащих осадков станций обезжелезивания. В качестве восстановителя использовалась мочевины с мольным соотношением «окислитель-восстановитель», равным 1.

Кислотное выщелачивание железа из осадков проводилось 20%-й азотной кислотой в течение 60 мин при комнатной температуре и механическом перемешивании с частотой 100 об/мин.

В данной работе, с целью исследования влияния температуры инициации экзотермической реакции синтеза на состав получаемых продуктов и сорбционные свойства получаемых материалов, температурные диапазоны были расширены и составляли 300–700 °С с шагом 100 °С. Железосодержащие магнитные сорбенты получали методом экзотермического горения в растворе согласно реакциям и методике, представленным в источнике [14].

Образцы полученного сорбента после синтеза хранили в эксикаторе при комнатной температуре для их дальнейшего исследования и обработки.

Морфология и элементный состав поверхности образцов были исследованы с помощью электронно-микроскопического анализа (Scanning Electron Microscopy, SEM).

Фазовый состав синтезированных образцов определялся с помощью рентгенографического дифракционного анализа (XRD). Фазовый состав синтезированного порошка определяли на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Для идентификации кристаллических фаз использовались международная карта PDF2 2014 года. Обработка профиля дифрактограмм осуществлялась с применением программного пакета HighScore Plus.

Расчет среднего размера кристаллитов синтезированных материалов проводился по формуле Шеррера

$$d = K\lambda / \beta \cos\theta,$$

где  $K = 1$ ,  $\lambda = 0,15418$  нм (линия CuK $\alpha$ );

$\beta$  – ширина рефлекса на полувысоте;

$\theta$  – угол дифракции.

В качестве органического модельного загрязнителя применили широко используемый для этих целей краситель метиленовый голубой (МГ). Для приготовления раствора метиленового голубого концентрацией 10 мг/л использована дистиллированная вода.

Все эксперименты по адсорбционному равновесию проводились при следующих условиях: к 50,0 мл раствора МГ с начальной концентрацией 10 мг/л добавляли 100 мг образца сорбента при постоянном перемешивании. Образцы оставляли в колбах на 24 часа при периодическом перемешивании. После адсорбции твердую фазу отделяли от жидкой центрифугированием. Анализ всех растворов на содержание МГ проводили по определению оптической плотности на характерной длине волны 645 нм с использованием спектрофотометра PV 1251C Solar. Стандартные калибровочные графики были подготовлены путем измерения оптического поглощения для различных концентраций красителя при  $K_{max} = 645$  нм; неизвестные концентрации красителя до и после адсорбции рассчитывались по калибровочным графикам.

Полную статическую обменную емкость (ПСОЕ, мг/г) определяли по формуле

$$ПСОЕ = (C_0 - C_{рав})V / m,$$

где  $C_0$  и  $C_{рав}$  – исходная и равновесная концентрация адсорбата в растворе, г/л;

$V$  – объем раствора, л;

$m$  – масса адсорбента, г.

Удельную поверхность  $S_{уд}$ , м<sup>2</sup>/г, определяют по формуле [15]

$$S_{уд} = V \cdot C \cdot N \cdot A_m / (m \cdot M),$$

где  $V$  – объем раствора метиленового голубого, см<sup>3</sup>;

$C$  – концентрация метиленового голубого, см<sup>3</sup>;

$N$  – постоянная Авогадро,  $N = 6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>;

$A_m$  – площадь, занимаемая одной молекулой адсорбированного голубого в плотно упакованной пленке, на поверхности графита, равная  $106 \cdot 10^{-20}$ , м<sup>2</sup>;

$m$  – масса навески исследуемого образца, г;

$M$  – молекулярная масса метиленового голубого, равная 319,85 г.

Нефтеемкость (НЕ) сорбента определяли следующим образом. В чашку Петри наливали водопроводную воду. Сверху наливали 5 мл отработанных масел локомотивного депо Гомель. Далее навеску 100 мг исследуемого магнитного сорбента равномерно распределяли по поверхности масла. Сбор сорбированных нефтепродуктов осуществляли неодимовым магнитом, помещенным в полиэтиленовый пакетик по размеру магнита. После однократного проведения магнитом по поверхности масла его поднимали над поверхностью и давали стечь избытку масла в течение 2 минут. После этого магнит доставали из пакета и взвешивали навеску сорбированных нефтепродуктов с пакетом. Расчет нефтеемкости сорбента НЕ, г/г, выполняли по формуле

$$НЕ = (m_1 - (m_2 + m_3)) / m_3,$$

где  $m_1$  – масса пакета с навеской сорбента и удерживаемым нефтепродуктом, г;

$m_2$  – масса пакета с учетом удерживаемого нефтепродукта (холостая проба), г;

$m_3$  – масса навески сорбента, г.

### Результаты исследований

Результаты рентгенофазового анализа полученных образцов представлены на рис. 1.

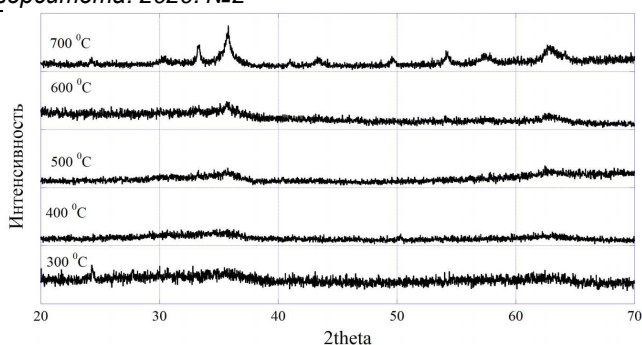


Рисунок 1 – Результаты рентгенофазового анализа образцов, полученных с использованием мочевины в качестве восстановителя

Анализ полученных данных показал, что образцы представляют собой порошки оксидов железа с кубической структурой гематита ( $R-3c$ ) и гексагональной структурой магнетита ( $Fd-3m$ ) с характерными пиками (104) и (311). Помимо оксидов железа в образцах отмечено наличие пиков (002) графита ( $2\theta$  36,5). Данный пик графита наблюдался нами и ранее [7].

Расчет среднего размера кристаллитов для наиболее интенсивных пиков гематита ( $2\theta$  33,15) и магнетита ( $2\theta$  35,77) для образцов, полученных при 700 °C составил 13,9 и 27,6 нм соответственно при использовании мочевины. При температурах до 500 °C в образцах наблюдается остаточное содержание углерода от разложения органического восстановителя. Наиболее отчетливые пики гематита и магнетита характерны для образцов, полученных при 700 °C. Это можно объяснить не полным сгоранием органического восстановителя при меньших температурах, а также коротком времени синтеза, которое составляло около 1–2 минут. Несмотря на наиболее отчетливые пики фаз для образцов полученных, при 700 °C, все образцы обладают ярко выраженными магнитными свойствами.

Полная статическая обменная емкость сорбента варьируется от температуры синтеза и имеет достаточно стабильные показатели, которые отражены на рис. 2. Исследуемые образцы характеризуются достаточно высокими значениями обменной емкости: от 3,0 до 4,2 мг/г – ПСОЕ превышает для ряда природных и синтетических материалов (например, ПСОЕ сорбента из железисто-шлама в зависимости от способа приготовления образцов варьируется от 0,9 до 5,7 мг/г [16]). При температуре 700 °C ПСОЕ несколько выше, чем при более низких температурах. Это объясняется тем, что органическая часть при синтезе выгорает более полно и характеристики выражаются сильнее, что способствует более высоким показателям поглощения вещества при равновесии в данных рабочих условиях.

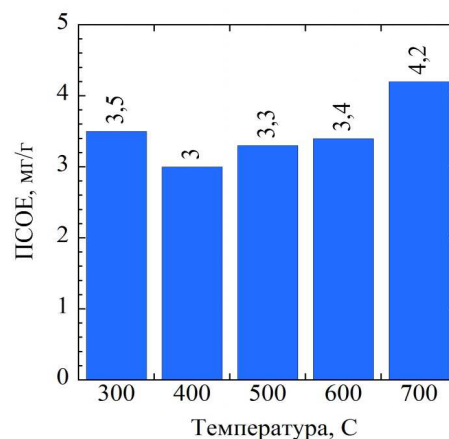


Рисунок 2 – Зависимость полной статической обменной емкости от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

Принимая, что сорбция МГ на поверхности полученных образцов осуществляется в один молекулярный слой, можно рассчитать удельную поверхность. Данный способ широко применяется для сравнительного анализа образцов [15]. На рис. 3 представлены результаты изучения влияния температуры обработки образцов сорбентов на величину их удельной поверхности – одной из наиболее важных характеристик полученных материалов.

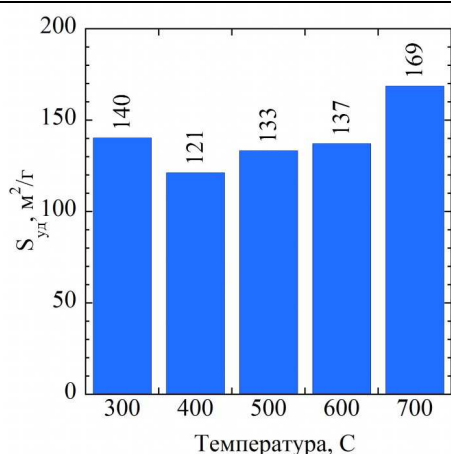


Рисунок 3 – Зависимость удельной поверхности от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

Экспериментально показано, что максимальное значение удельной поверхности достигается в образцах, синтезированных при температуре 700 °С, и составляет 168,7 м<sup>2</sup>/г. При исследовании шлама химводоподготовки ТЭЦ в качестве нефтяного сорбента [5] удельная поверхность в зависимости от температуры обработки образцов изменялась от 23,1 до 64,7 м<sup>2</sup>/г. Исследованные почвы и глины по МГ имеют удельную поверхность от 7,8 до 344,5 м<sup>2</sup>/г, но, в основном, не превышают 90 м<sup>2</sup>/г [17, 18].

Для оценки сорбционных свойств полученных материалов нефтеемкость определяли по величине сорбционной емкости по отношению к отработанным маслам. Нефтеемкость является важнейшей характеристикой сорбента и, соответственно, существует немало методик по ее определению. Все они имеют свои особенности использования, но нацелены на один результат: привести сорбент в контакт с нефтепродуктом и определить количество сорбата, удерживаемого 1 граммом сорбента. Нами была выбрана стандартная методика [19–22], претерпевшая изменения только за счет предположения [2–4], что сорбент обладает ярковыраженными магнитными свойствами, т. е. извлечение насыщенного нефтепродуктом сорбента из модельного раствора осуществлялось с помощью магнита. В результате снижается вероятность недостоверного определения массы нефтепродукта, которую способен удержать 1 г сорбента, без учета нефтепродукта, удерживаемого посудой, оборудованием и др. непредвиденными или трудно устранимыми факторами. Результаты представлены на рис. 4.

При проведении сравнительного анализа нефтеемкости существующих промышленных сорбентов и предложенного авторами наноструктурированного магнитного сорбента, полученного из осадков после промывки фильтров обезжелезивания, можно сделать вывод, что предложенный сорбент достигает показателей нефтеемкости природных органических материалов для сбора нефти и их модификаций [15, 23, 24] (например, кора осины/сосны – 0,5/0,3 г/г; лигнин гидролизный – 1,5–3,0 г/г; уголь бурый измельченный – 1,0–2,0 г/г; МАУ-А2 – 0,38 г/г).

Отрицательное значение нефтеемкости при синтезе сорбента 300 °С можно объяснить образованием незначительной доли магнитной фракции в общей массе сорбента и, как следствие, невозможностью полностью извлечь насыщенный нефтепродуктом образец сорбента с помощью магнита.

#### Заключение

В результате проведения исследований можно сделать выводы:

- осадок после промывки фильтров обезжелезивания является перспективным исходным материалом для получения наноразмерных магнитных сорбентов методом экзотермического горения в растворах;
- полученные сорбенты содержат преимущественно магнетит, при этом пики магнетита начинают явно проявляться при температурах синтеза более 500 °С;
- полученные сорбенты обладают достаточно высокой удельной поверхностью (более 150 м<sup>2</sup>/г), сравнимой с суммарной площадью поверхности пористых адсорбентов [15];

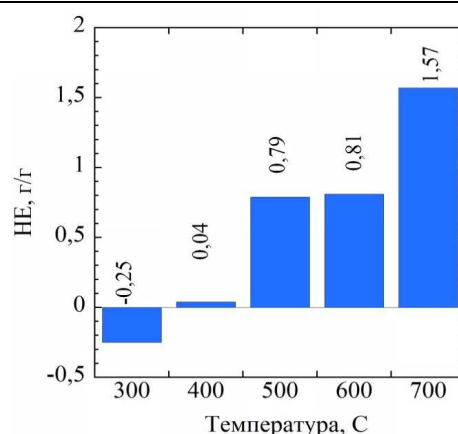


Рисунок 4 – Зависимость нефтеемкости от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

- нефтеемкость, определенная для образцов сорбента 1,57 г/г, сопоставима с нефтеемкостью природных органических материалов и некоторых композиционных материалов, предлагаемых в качестве нефтяных сорбентов;
- наиболее перспективным сорбентом являются образцы, полученные при температуре 700 °С;
- наличие магнитных свойств по сравнению с обыкновенными сорбентами позволит извлекать сорбент из водных сред посредством наведенного магнитного поля;
- получение магнитных нефтяных сорбентов возможно без использования дорогостоящих технологий с одновременным использованием отходов станций обезжелезивания, что позволит сократить негативное антропогенное влияние на окружающую среду и получить экономический эффект, как минимум за счет снижения себестоимости продукции.

#### Список цитированных источников

1. Романовский, В. И. Термохимическая и механохимическая переработка отходов сетчатых полимеров : дис. ... канд. тех. наук : 25.00.36 – Геоэкология; 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов / В. И. Романовский. – Минск : БГТУ, 2008. – 178 с.
2. Романовский, В. И. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / В. И. Романовский, О. Н. Горелая, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Беларус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – Ч. 1 – С. 215–216.
3. Горелая, О. Н. Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / О. Н. Горелая, Е. В. Романовская // М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Беларус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Ч. 1 – С. 415–415 с. – С. 277–279.
4. Горелая, О. Н. Влияние условий синтеза на фазовый состав магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, Е. В. Романовская // Инновационные материалы и технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 258–260.
5. Николаева, Л. А. Исследование шлама химводоподготовки в качестве нефтяного сорбента при очистке водных объектов / Л. А. Николаева, Д. А. Хамзина // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 200–204.
6. Романовский, В. И. Отходы синтетических материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 1. – С. 24–29.
7. Propolsky, D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapiński, V. Romanovski // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996.
8. Romanovskiy, V. I. One-step synthesis of polymetallic nanoparticles in air environment / V. I. Romanovski [et al.] // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. – 2018. – V. 61. – N.9–10. – P. 43–48.
9. Romanovskii, V. I. Modified Anthracites for Deironing of Underground Water / V. I. Romanovskii, A. A. Khort // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2017. – Vol. 39. – Issue 5. – P. 299–304.

10. Романовский, В. И. Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, П. А. Клебеко, Е. В. Крышилович // *Вода magazine*. – 2017. – № 6(118). – С. 12–15.
11. Романовский, В. И. Модифицированные антрациты для очистки подземных вод от железа / В. И. Романовский, А. А. Хорт // *Химия и технология воды*. – 2017. – Т. 39. – № 5. – С. 532–543.
12. Романовский, В. И. Железо-цинк-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // *Водоочистка*. – 2019. – № 4(178). – С. 71–77.
13. Романовский, В. И. Железо-молибден-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко // *Водоочистка*. – 2019. – № 6(180). – С. 73–78.
14. Романовский, В. И. Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В. И. Романовский, Д. М. Куличик, М. В. Пилипенко, Е. В. Романовская // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2019. – № 4. – С. 18–22.
15. Каменщиков, Ф. А. Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. – М.-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.
16. Лукашевич, О. Д. Сорбент из железистого шлама для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / О. Д. Лукашевич, Н. Т. Усова // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2018. – Т. 20. – № 1. – С. 148–159.
17. Perneszi, T. Methylene Blue Adsorption Study on Microcline Particles in the Function of Particle Size Range and Temperature / T. Perneszi, R. Farkas, J. Kovács // *Minerals*. – 2019. – V. 9. – № 9. – P. 555.
18. Aringhieri, R. Testing a simple methylene blue method for surface area estimation in soils / R. Aringhieri [et al.] // *AGROCHIMICA-PISA*. – 1992. – V. 36. – P. 224–224.
19. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов : ГОСТ 33622-2015. – М. : Изд-во стандартов, 2016. – 10 с.
20. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов : ГОСТ 33627-2015. – М. : Изд-во стандартов, 2016. – 13 с.
21. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия. – М. : Химия, 1984. – 448 с.
22. Лим, Л. А. Нефтеемкость сорбента: проблема выбора методики определения / Л. А. Лим [и др.] // *Успехи современного естествознания*. – 2018. – № 10. – С. 144–150.
23. Веприкова, Е. В. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей / Е. В. Веприкова [и др.] // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. – 2010. – Т. 3. – № 3. – С. 285–304.
24. Грузинова, В. Л. Сорбционные свойства и эксплуатационные характеристики угольных волокнистых материалов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский // *Вестник полоцкого государственного университета. Серия F. – 2015. – №16 : Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети, экология и ресурсоэнергосбережение*. – С. 141–145.
- under commonly. Yu. I. Kuradenko. – Gomel : BelGUT, 2019. – Ch. 1 – 415 p. – P. 277-279.
4. Fire, O. N. Effect of synthesis conditions on the phase composition of magnetic sorbents from precipitation of degelation stations / O. N. Gorelai, E. V. Romanovskaya // *Innovative materials and technologies: Interuniversity scientific and technical conference Young scientists*. – Minsk : BGTU, 2020. – P. 258-260.
5. Nikolayeva, L. A. Study of chemical water treatment sludge as an oil sorbent in water body purification / L. A. Nikolayeva, D. A. Hamzina // *Journal of Technological University*. – 2018. – Vol. 21. – № 2. – P. 200–204.
6. Romanovsky, V. I. Wastes of synthetic materials for treatment of oil-containing waste water / V. I. Romanovsky, V. L. Georginova // *Water treatment. Water supply*. – 2018. – № 1. – P. 24–29.
7. Propolsky, D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapinski, V. Romanovsky // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996.
8. Romanovskiy, V. I. One-step synthesis of polymetallic nanoparticles in air environment / V. I. Romanovski [et al.] // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* – 2018. – V. 61. – N.9–10. – P. 43–48.
9. Romanovskii, V. I. Modified Anthracites for Deironing of Underground Water / V. I. Romanovskii, A. A. Khort // *Journal of Water Chemistry and Technology*. – 2017. – Vol. 39. – Issue 5. – P. 299–304.
10. Romanovsky, V. I. Obtaining catalytic materials for water treatment and treatment of waste water from waste stations / V. I. Romanovsky, D. M. Kulichik, P. A. Klebeko, E. V. Roshilovich // *Water magazine*. – 2017. – № 6 (118). – P. 12–15.
11. Romanovsky, V. I. Modified anthracites for purification of underground waters from iron / V. I. Romanovsky, A. A. Hort // *Chemistry and water technology*. – 2017. – Vol. 39. – № 5. – P. 532–543.
12. Romanovsky, V. I. Iron-zinc-containing photocatalysts from the precipitation of purification of washing waters of deselection filters / V. I. Romanovsky, D. M. Kulichik, M. V. Piliipenko // *Water treatment*. – 2019. – № 4 (178). – P. 71–77.
13. Romanovsky, V. I. Iron-molybdenum-containing photocatalysts from the precipitation of cleaning washing waters of filters / V. I. Romanovsky, D. M. Kulichik, M. V. Piliipenko // *Water purification*. – 2019. – № 6 (180). – P. 73–78.
14. Romanovsky, V. I. Iron-containing photocatalysts from the precipitation of purification of washing waters of deselection filters / V. I. Romanovsky, D. M. Kulichik, M. V. Piliipenko, E. V. Romanovskaya // *Water purification. Water treatment. Water supply*. – 2019. – № 4. – P. 18–22.
15. Kamenchikov, F. A. Petroleum Sorbents / F. A. Kamenchikov, E. I. Bogomolny. – M.-Ishuchsk : NIC "Regular and Chaotic Dynamics", 2005. – 268 p.
16. Lukashovich, O. D. Sorbent from iron sludge for treatment of waste water from heavy metal ions / O. D. Lukashovich, N. T. Usova // *Journal of the Tomsk State Architectural and Construction University*. – 2018. – Vol. 20. – № 1. – P. 148–159.
17. Perneszi, T. Methylene Blue Adsorption Study on Microcline Particles in the Function of Particle Size Range and Temperature / T. Perneszi, R. Farkas, J. Kovács // *Minerals*. – 2019. – V. 9. – № 9. – P. 555.
18. Aringhieri, R. Testing a simple methylene blue method for surface area estimation in soils / R. Aringhieri [et al.] // *AGROCHIMICA-PISA*. – 1992. – V. 36. – P. 224–224.
19. The coal activated. Standard method of determining sorption characteristics of adsorbents : GOST 33622-2015. – М. : Standard, 2016. – 10 p.
20. The coal activated. Standard method of determining sorption characteristics of adsorbents : GOST 33627-2015. – М. : Standard, 2016. – 13 p.
21. Lurie, Yu. Yu. Analytical chemistry. – М. : Chemistry, 1984. – 448 p.
22. Lim, L. A. Oil intensity of the sorbent: the problem of choosing the method of determination / L. A. Lim [et al.] // *Successes of modern natural science*. – 2018. – № 10. – P. 144–150.
23. Veprikova, E. V. Features of water purification from oil products using petroleum sorbents, filtering materials and active coals / E. V. Veprikova [et al.] // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. – 2010. – Vol. 3. – No. 3. – P. 285–304.
24. Georginov, V. L. Sorption Properties and Operational Characteristics of Coal Fibrous Materials / V. L. Georginov, V. I. Romanovsky // *Journal of Polotsk State University. Series F. – 2015. – No. 16 : Construction. Applied sciences. Engineering networks, ecology and resource conservation*. – P. 141–145.

**References**

Материал поступил в редакцию 23.03.2020