

УДК 628.54

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-1-6-16

## Получение эффективных нефтесорбентов для очистки вод на основе отходов химической промышленности

Е. А. Татаринцева<sup>1,\*</sup>, Л. Н. Ольшанская<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
(СГТУ имени Гагарина Ю.А.), г. Саратов, Россия

---

### Аннотация

Предложены технологии получения эффективных нефтесорбентов на основе отходов химической промышленности. Показана возможность использования отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в качестве связующего при получении нефтесорбентов со специфическими свойствами (гидрофобность, олеофильность, магнитные свойства), используя в качестве наполнителей терморасширенный и окисленный графит (ТРГ и ОГ) и ферритизированный железосодержащий гальваношлам (ФГШ). Наличие ионов железа в гальваношламе позволяет получить магнетит и ферриты при ферритизации, что обуславливает появление магнитных свойств у ФГШ. Установленная с помощью вибрационного магнитометра индукция насыщения составила ~0,02 Тл. Ферритизацию гальваношлама проводили при  $t \approx 1000$  °С и  $\tau = 1,5$  ч с предварительной механической активацией. Исследованы физико-механические, химические и сорбционные свойства полученных нефтесорбентов (насыпная плотность, истираемость, измельчаемость, гранулометрический состав, нефтеемкость, влагоемкость, смачиваемость, плавучесть, удельная поверхность, химический состав, адсорбционная емкость материалов в статических и динамических условиях). Установлено, что сорбционные материалы обладают 100 % плавучестью, проявляют высокую активность при очистке водной поверхности от пленок нефтепродуктов с различной толщиной (1–5 мм). Показано, что сорбционная емкость растет при увеличении толщины пленки и достигает максимального значения при толщине 3 мм. Степень очистки составляет 99,0 %. Установлено, что сорбционная емкость сорбционных материалов зависит от природы нефтепродуктов, их вязкости, растворимости и начальной концентрации в воде. Доказано, что процессы сорбции нефтепродуктов протекают по физическому механизму, который можно представить в виде олеофильного взаимодействия частиц сорбента и нефтепродуктов, что подтверждается типом изотерм сорбции, которые относятся к типу II и IV по теории БЭТ и L типу по классификации Гильса, характерной для полимолекулярной адсорбции. Полученные изотермы адсорбции обработаны в рамках моделей Ленгмюра и Дубинина–Радужкевича, рассчитаны константы уравнений адсорбции.

---

\* Для переписки

Email addresses: tatarinceva-elen@mail.ru, ecos123@mail.ru

### **Ключевые слова**

нефтесорбенты, отходы промышленности, очистка воды, полиэтилентерефталат, терморасширенный и окисленный графиты, ферритизированный гальваноплазм

---

**Введение.** Загрязнение водных объектов нефтью и нефтепродуктами происходит в результате сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, а также при добыче и транспортировке нефтепродуктов. Этому способствуют высокий уровень износа оборудования перекачки, переработки нефти и нефтепродуктов, а также аварии на транспорте. Очистка водных объектов от нефти и продуктов ее переработки имеет ряд особенностей, так как по своей природе эти органические вещества обладают присущими им свойствами (вязкость, плотность, летучесть, горючесть и другие) [1]. Чаще всего для очистки используются сорбционные методы [2]. В последние годы в качестве сорбентов применяют материалы, изготовленные на основе отходов различных отраслей промышленности, которые являются вторичными материальными ресурсами (ВМР) [3, 4]. При выборе материалов следует учитывать их экологичность, а также доступность в регионе. Одним из направлений на ближайшие десятилетия является переработка отходов полимерных материалов (брак при производстве, литники, облой и др.). Основные преимущества полимерного вторсырья: его биологическая стойкость, сохранение физико-химических и механических свойств при переработке, низкая насыщенная плотность, высокая гидрофобность. Отмечено, что из общего количества полимерных отходов более 30 % составляют отходы полиэтилентерефталата (ПЭТФ) [5, 6]. Различные комбинации исходных компонентов (наполнители,

пластификаторы, порофоры и др.) при синтезе полимерных пористых материалов позволяют получать сорбенты с заданными свойствами – повышенной гидрофобностью, олеофильностью, биоразлагаемостью, магнитными свойствами и др. [1].

В промышленности для очистки сточных вод от нефтепродуктов широко применяются активные угли, графеновый сорбент, фуллерены, углеродные волокна, терморасширенный графит (ТРГ) и окисленный графит (ОГ) и др.) [7-13]. Использование ТРГ для очистки воды в исходном виде представляет определенную трудность, так как высокая цена и показатели по насыщенной плотности приводят к увеличению затрат на транспортные расходы. Наиболее перспективным вариантом использования ТРГ и ОГ является их применение в качестве наполнителя в композиционных материалах. Магнитные нефтесорбенты получают добавляя в полимерную матрицу магнитные оксиды железа  $Fe_3O_4$  (магнетит) и  $\gamma-Fe_2O_3$  (маггемит), электро-сталеплавильный шлак, железорудный концентрат, отходы мокрой магнитной сепарации и др. [14, 15].

**Целью** данной работы является исследование физико-механических, химических и сорбционных свойств модифицированных композиционных сорбционных материалов на основе отходов ПЭТФ, терморасширенного и окисленного графита и ферритизированного железосодержащего гальваноплазма (ФГШ).

**Материалы и методы решения задач.** Для исследования использовали модифицированные полимерные сорбционные материалы (МПС), полученные методом экструзии при температуре 270 °С, следующих составов: МПС-1 – 88 (масс.%) ПЭТФ, 2,0 (масс.%) порофор HYDROCEROL CF40E, 10 (масс. %) ТРГ, МПС-3 – 85 (масс.%) ПЭТФ, 15 (масс. %) ОГ ( $t_{расш} = 200^{\circ}\text{C}$ ). ОГ расширялся непосредственно в процессе изготовления СМ, формируя пористую структуру. Полученный композиционный материал механически измельчали до размера зерен ~2 мм [16]. Также на основе ПЭТФ был получен мелкодисперсный пористый полимерный сорбционный материал ПСМ-1 фазоинверсионным методом из смеси растворителя бензилового спирта и пластификатора дибутилфталата [17]. Полученный ПСМ-1 использовали для сорбционной очистки вод, а также в качестве связующего при производстве таблетированных СМ на основе терморасширенного (ТС-1) и окисленного (ТС-2) графитов [18]. При получении магнитного нефтесорбента КСМ-2 использовали связующее ПСМ-1 и ферритизированный железосодержащий гальванопласт. Наличие ионов железа позволяет получить магнетит и ферриты при ферритизации ( $t \approx 1000^{\circ}\text{C}$  и  $\tau = 1,5 \text{ ч}$ ), что обуславливает появление магнитных свойств у ФГШ, установленных с помощью вибрационного магнитометра [19].

Для исследования свойств СМ применяли гостированные методики определения насыпной плотности, истираемости, измельчаемости, гранулометрического состава, нефтеемкости, влагоемкости, влажности, смачиваемости, плавучести, адсорбционной емкости материалов в статических и динамических условиях и построения изотерм адсорбции. Измерение

массовой концентрации нефтепродуктов выполняли ИК-спектрофотометрическим методом на приборе марки «КН-3». Удельную поверхность измеряли методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе сорбции газов Quantachrome NOVA. ИК-спектроскопию проводили на приборе «Varian Scimitar 1000».

### **Результаты и их обсуждение.**

Модифицированные полимерные сорбционные материалы (МПС) готовили путем механического смешения компонентов до гомогенного состояния с последующим литьем под давлением, охлаждением и измельчением. Добавка порофоров, разлагающихся при нагревании и выделяющих углекислый газ, позволяет получать изделия с микроячейистой структурой, высокими физико-механическими свойствами (истираемость, измельчаемость), низкой насыпной плотностью ( $\sim 0,5 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$ ), низким водопоглощением ( $0,02 \pm 0,001 \text{ г/г}$ ).

Проведенные исследования химического состава композиций на основе ПЭТФ с помощью ИК-спектроскопии показали присутствие групп и связей, приведенных в таблице 1, что может быть результатом модификации полимера порофором марки HYDROCEROL CF40E и процесса деполимеризации. ОН-группа не обнаруживается в исходном вторичном полиэтилентерефталате. Установлено, что полученные материалы являются гидрофобными, плавучесть составила в интервале времени 24 ч – 100 %.

Изучение сорбционных свойств полученных материалов по отношению к нефтепродуктам проводили в статических условиях сорбции при температуре  $t=20^{\circ}\text{C}$ , масса сорбента от 0,5 до 1 г/100 см<sup>3</sup>.

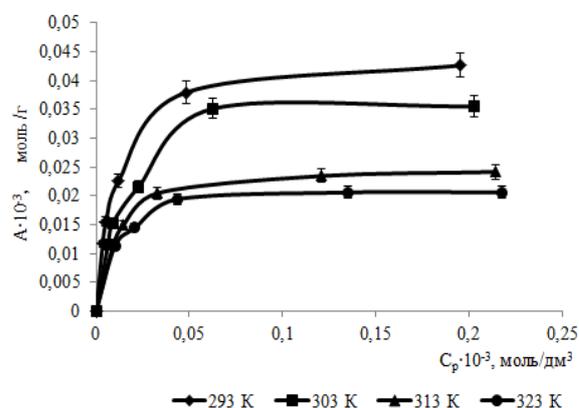
**Таблица 1 — Результаты ИК-спектроскопии сорбционных материалов**

Функциональные группы	МПС-1	МПС-3	ПСМ-1
Кислородсодержащие группы C=O (1723 см <sup>-1</sup> )	+	+	+
Карбоксильные группы >C=O (1725,8 см <sup>-1</sup> )	+	+	+
C=C – связь (1504, 1578 см <sup>-1</sup> )	-	-	+
Валентные колебания –ОН групп (3443,6 см <sup>-1</sup> )	+	+	+

Для изучения сорбционных свойств МПС в качестве модельной системы, содержащей нефтепродукты (НП), использовали дистиллированную воду с добавлением органического масла индустриального марки И-20А ( $C_{исх}=68$  мг/дм<sup>3</sup>). Установлено, что сорбционное равновесие наступает за ~30 минут. Это связано с хорошей гидрофобностью и олеофильностью сорбционного материала (СМ) на основе ПЭТФ и структурой полученных материалов. Сорбционная емкость составила 25 мг/г для МПС-1 и 28 мг/г для МПС-3, что обусловлено увеличением пористости и удельной поверхности СМ. Удельная поверхность составила, м<sup>2</sup>/г: МПС-1 – 22,0, МПС-3 – 34,5. Анализ распределения пор по размерам показал, что во всех типах ПСМ преобладают мезопоры, удобные для послойного проникновения адсорбируемых молекул органических соединений.

Для расчета термодинамических характеристик процесса адсорбции индустриального масла И-20А материалом МПС-3 строили изотермы адсорбции при различных температурах (рис. 1), для этого определяли молекулярную массу

нефтепродуктов по формуле Крега и переводили массовые единицы концентраций в мольные.



**Рисунок 1 – Изотермы адсорбции масла И-20А сорбционным материалом МПС-3**

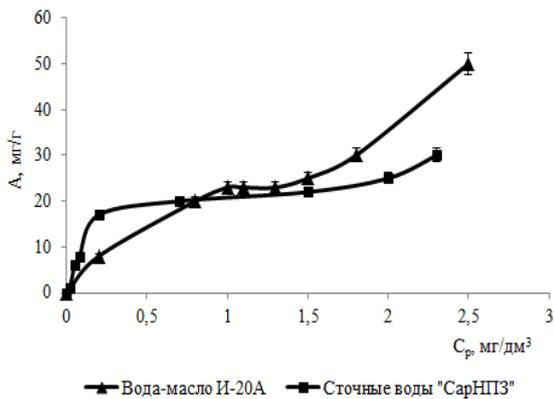
Установлено, что повышение температуры приводит к уменьшению сорбционной емкости НП (с 28 до 5,63 мг/г), это характеризует экзотермический процесс и свидетельствует о физической природе сил адсорбции. Полученные изотермы адсорбции обрабатывали в рамках моделей Ленгмюра и Дубинина–Радушкевича [20]. Расчеты показали, что  $E=7,07 < 8$  кДж/моль (физическая адсорбция),  $\Delta G^0 \sim -10-11$  кДж/моль,  $\Delta H^0 = -31,7$  кДж/моль,  $\Delta S^0 = -0,13$  кДж/моль·К.

Изучены сорбционные свойства МПС-3 в динамических условиях. Через слой СМ ( $h=12$  см,  $d=1$  см) пропускали воду по 0,5 дм<sup>3</sup>, содержащую масло И-20А 68,0 мг/дм<sup>3</sup>, со средней скоростью 2 см<sup>3</sup>/мин, при температуре  $293 \pm 2$  К. Рассчитаны динамическая и полная сорбционная емкость, которые составили 3,95 мг/г и 22,9 мг/г, соответственно.

Сорбционный материал МПС-1 обладает плавучестью в течении 96 ч 100 % и проявляет высокую активность при очистке водной поверхности от пленок индустриального масла И-20А с различной толщиной (1–5 мм) и имеет

максимальное значение 14 г/г при толщине 3 мм. Высокая сорбционная емкость может быть результатом поглощения НП всем объемом СМ. Из литературы известно, что вначале происходит смачивание поверхности СМ и далее проникновение НП в пустоты и поры материала. При использовании гранулированного материала нефтепродукты могут занимать также пустоты между гранулами в слое СМ за счет капиллярных сил и олеофильности.

Показано, что наибольшая скорость сорбции НП для ПСМ-1 как в модельных системах ( $C_{нач\ мод.} = 114,2 \text{ мг/дм}^3$ ), так и в реальных сточных водах Саратовского НПЗ ( $C_n = 86,1 \text{ мг/дм}^3$ ), отмечается в первые 10-20 мин., а сорбционное равновесие достигается за  $\approx 30$  мин. Изотермы сорбции нефтепродуктов для ПСМ-1 в статических условиях на модельных системах вода-масло И-20А и сточных водах Саратовского нефтеперерабатывающего завода («СарНПЗ») (рис. 2), относятся к типу IV по теории БЭТ и 3L типу по классификации Гильса, что свидетельствует о полимолекулярном процессе адсорбции на пористом СМ.

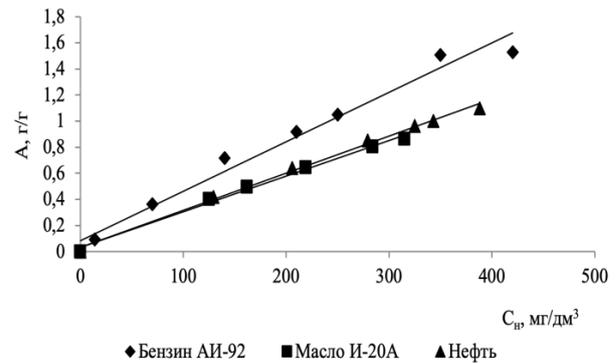


**Рисунок 2** – Изотермы адсорбции нефтепродуктов сорбционным материалом ПСМ-1

При получении таблетированных СМ рекомендуется вводить количество связующего ПСМ-1 для ТС-1 20 %, для

ТС-2 – 25 % и прессовать при давлении 2 МПа и температуре 250 °С.

Как видно из рисунка 3, сорбция НП таблетированными СМ из эмульсий в статических условиях высокая, величина сорбции растет пропорционально начальной концентрации НП в воде. Изотермы сорбции имеют линейный характер, адсорбционная емкость ТС-1 и, аналогично, у ТС-2 уменьшается в ряду НП – бензин > нефть > масло, что возможно связано с ростом молекулярной массы фракции и преобладанием молекул со сложной пространственной структурой, размер которых превосходит размер пор СМ.



**Рисунок 3** – Изотермы адсорбции эмульгированных нефтепродуктов сорбционным материалом ТС-1

Это хорошо согласуется с данными размера частиц нефтепродуктов, у нефти  $\sim 0,35$  мкм, у масла И-20А  $\sim 0,7$  мкм. При возрастании концентрации НП в воде степень очистки снижается, особенно для бензина, что связано с его лучшей растворимостью и худшей адгезией к поверхности СМ.

Композиционные сорбционные материалы характеризуются наличием мезопор (диаметр пор от 2 до 50 нм), определенные методом низкотемпературной адсорбции азота: для ПСМ-1 составляет  $89,01 \pm 4,45$  %, для ТС-1 –  $67,62 \pm 3,38$  %, ТС-2 –  $69,61 \pm 3,48$  %.

Исследования по использованию ПСМ-1, ТС-1 и ТС-2 для очистки поверхности воды от НП показали, что СМ обладают низкими значениями

водопоглощения (табл. 2), и хорошими показателями плавучести во всем временном интервале, масло- и нефтеемкости (НЕ).

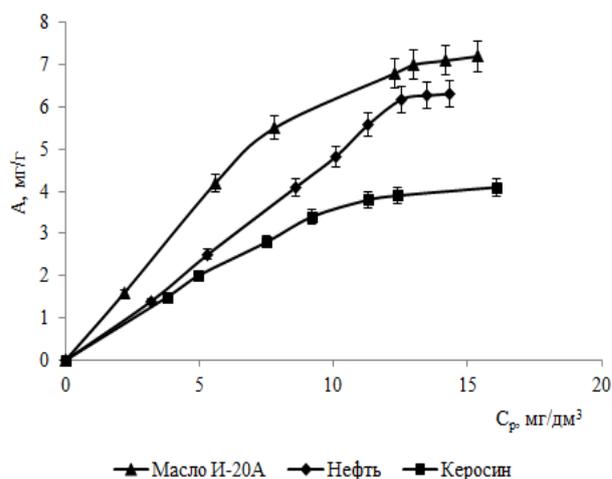
**Таблица 2 – Сравнительные характеристики разработанных сорбционных материалов**

Марка	Материал	Внешний вид	Класс опасности	Нефте-емкость кг/кг	Водопоглощение, кг/кг	Фракция, мм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
ПСМ-1	ПЭТФ	порошок	5	4,5	0,5	0,015–0,08	20,4±1,0
ТС-2	ОГ и ПСМ-1	таблетка	5	15,0	0,2	–	42,3±2,1
МПС-3	ПЭТФ, ТРГ, порофор	гранулы	4	14,0	0,02	1–3	34,5±1,04
КСМ-2	ФГШ и ПСМ-1	порошок	4	4,0	0,2	0,1–1	0,15±0,02

На основе ферритизированного гальваношлама (ФГШ) был получен магнитный сорбент КСМ-2 со связующим ПСМ-1 и проведены исследования закономерностей сорбции нефти и НП из водных сред с его использованием. Установлено, что плавучесть КСМ-2 в течение 96 ч составила 100 %, водопоглощение – 0,2 г/г.

Сорбционное равновесие при насыщении всеми видами нефтепродуктов и нефтью достигается в первые 15–30 мин. для КСМ-2. Сорбционные свойства КСМ-2 оценивали по эффективности очистки водной среды от масла И-20А, нефти Илишевского месторождения, керосина в статических условиях. Условия сорбции:  $v = 200$  об/мин,  $m_{СМ} = 1$  г/100 см<sup>3</sup>,  $\tau_{сорбции} = 1$  ч,  $t = 20$  °С. Степень очистки воды от НП с использованием КСМ-2 составила 99,0%. КСМ-2, насыщенный НП, сохраняет магнитные свойства. Установлено (рис. 4), что процесс сорбции протекает по физическому механизму, который можно представить в виде олеофильного взаимодействия частиц КСМ и НП, что

подтверждается типом изотерм сорбции, которые относятся к типу II по теории БЭТ и II типу по классификации Гильса, характерной для полимолекулярной адсорбции на непористых КСМ.



**Рисунок 4 – Изотермы адсорбции растворенных нефтепродуктов сорбционным материалом КСМ-2**

Установлено, что КСМ-2 является непористым материалом, удельная поверхность КСМ-2 составляет 1181 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>. Адсорбция протекает на

неровностях (пики, возвышения, щели, углубления и др.), имеющих на поверхности КСМ-2. Наиболее перспективным направлением в использовании магнитных КСМ является сорбция разлитых НП с поверхности воды и последующее извлечение насыщенных нефтью КСМ путем магнитной сепарации. При контакте твердых олеофильных частиц КСМ с пленкой нефти вокруг них образуются мицеллы, которые взаимодействуют между собой с образованием специфической сетчатой структуры, что приводит к образованию агрегатов КСМ–НП. Определено, что максимальная сорбционная емкость КСМ достигается при толщине пленки  $\approx 3$  мм и составляет для КСМ–2, г/г: 0,5 (керосин), 1,1 (нефть) и 1,2 (масло И–20А), которые легко удаляются с помощью магнита. Поверхность воды после удаления насыщенного КСМ была чистой, без нефтяной пленки.

**Заключение.** Разработаны эффективные нефтесорбенты на основе отходов ПЭТФ и различных наполнителей. Установлено, что сорбционная емкость КСМ зависит от природы НП, его вязкости, растворимости и начальной концентрации в воде. Доказано, что процессы сорбции НП протекают по физическому механизму, который можно представить в виде олеофильного взаимодействия частиц КСМ и НП, что подтверждается типом изотерм сорбции, которые относятся к типу II и IV по теории БЭТ и L типу по классификации Гильса, характерной для полимолекулярной адсорбции. Полученные изотермы адсорбции обработаны в рамках моделей Ленгмюра и Дубинина–Радушкевича, рассчитаны константы уравнений адсорбции. Установлено, что сорбционные материалы обладают 100% плавучестью, степень очистки составляет 99,0 %.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н.В. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Вестник Сибирского федерального университета.- 2010.- № 3.- С. 285-304.
- [2] Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: Химия и экология.- 2008.- № 1.- С. 19–25.
- [3] Косинцев В.И., Бордунов С.В., Пилипенко В.Г. Сорбенты нефти и нефтепродуктов, получаемые из отходов термопластов // Успехи современного естествознания.- 2007.- № 8.- С. 62–63.
- [4] Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Шеметов А.В. Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических сорбентов // Нефтегазовое дело.- 1999.- № 2.- С. 46 – 49.
- [5] Мелкозеров, В.М., Васильев С.И., Горбунова Л.Н. Сравнительный анализ характеристик полимерных сорбентов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности.- 2013.- №3. С. 10–14.
- [6] Сорбо И.И. Вторичная переработка пластмасс.- СПб.: Профессия.- 2007.- 88 с.
- [7] Финаенов А.И., Кольченко А.С., Яковлев А.В. Адсорбенты на основе термо-расширенного графита // Вестник Саратовского гос. технич. ун-та.- 2011.- № 2.- С. 46-54.
- [8] Сигал В.Л. Сорбционные свойства углеродных материалов // Журнал прикладной химии.- 1997.- Т.65.- Вып.7.- С. 1668–1670.
- [9] Собгайда Н.А., Финаенов А.И. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. – 2005. – Декабрь. – С. 8–11.

- [10] Власенко Е.В., Годунов И.А., Ланин С.Н. Сравнительный анализ структурных и сорбционных характеристик терморасширенных графитов и активных углей в очистке воды от органических веществ // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2005.- Т. 46.- № 4.- С. 231–235.
- [11] Темирханов Б.А., Елецкий Б.Д., Шпигун О.А. Исследование возможности регенерации и повторного использования некоторых сорбентов для сбора нефти // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2005. – № 5. – С. 19–21.
- [12] Темердашев З.А., Темирханов Б.А., Мусорина Т.Н. Очистка нефтесодержащих поверхностных и сточных вод с помощью сорбентов на углеродной основе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.- 2006.- № 9.- С. 111-113.
- [13] Петрик В.И. Углеродная смесь высокой реакционной способности // Водоснабжение и канализация.- 2009.- № 5–6.- С. 87–90.
- [14] Palchoudhury S., Lead J. R. A facile and cost-effective method for separation of oil–water mixtures using polymer-coated iron oxide nanoparticles // Environ. Sci. & Technology.- 2014.- Vol. 48, N 24.- P. 14558–14563. doi: 10.1021/es5037755.
- [15] Толмачева В.В., Апяри В.В., Кочук Е.В., Дмитриенко С.Г. Магнитные сорбенты на основе наночастиц оксидов железа для выделения и концентрирования органических соединений // Журнал аналитической химии.- 2016.- Т.71.- № 4.- С. 339-356.
- [16] Татаринцева Е.А., Карпенко А.В., Лемаев В.А. Модификация термопластов как способ получения сорбционных материалов для очистки сточных вод // Известия вузов. Химия и химическая технология.- 2014.- Т. 57. № 1.- С. 88–91.
- [17] Бухарова Е.А., Татаринцева Е.А., Ольшанская Л.Н. Получение сорбента на основе полиэтилентерефталата и его применение для очистки сточных и поверхностных вод от нефтепродуктов // Химическое и нефтегазовое машиностроение.- 2014.- № 9.- С. 31-34.
- [18] Бухарова Е.А., Татаринцева Е.А., Захаревич А.М. Изучение физико-химических и сорбционных свойств таблетированного сорбента на основе ТРГ // Журнал экологической и промышленной безопасности.- 2014.- № 1-2.- С. 18-20.
- [19] Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Шайхиев И.Г. Очистка нефтесодержащих сточных вод магнитосорбентами на основе ферритизированного гальваношлама // Вестник технологического университета.- 2016.- Т. 19.- № 23.- С. 154–156.
- [20] Галимова Р.З., Шайхиев И.Г. Обработка результатов исследования процессов адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.- Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017.- 60 с.

**Татаринцева Елена Александровна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Экология и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая 77)

**Ольшанская Любовь Николаевна** – доктор химических наук, профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая 77).

# Obtaining effective oil sorbents based on chemical industry waste for water treatment

**E. A. Tatarintseva<sup>1,\*</sup>, L. N. Olshanskaya<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia*

---

## **Abstract**

It was proposed new technologies for producing effective oil sorbents based on chemical industry waste. It was shown the possibility of using PET waste as a binder in the production of oil sorbents with specific properties (hydrophobicity, oleophilicity, magnetic properties) using thermally expanded and oxidized graphite (TEG and OG) and ferritized iron-containing galvanic sludge (FGS). The presence of iron ions in the galvanic sludge allows one to obtain magnetite and ferrites during ferritization, which leads to the appearance of magnetic properties in FGS, established using a vibration magnetometer, the saturation induction was  $\sim 0.02$  T. Electroplating sludge was carried out at  $t \approx 1000$  °C and  $\tau = 1.5$  hr with preliminary mechanical activation.

The physicomechanical, chemical, and sorption properties of the obtained oil sorbents (bulk density, abrasion, grindability, particle size distribution, oil capacity, moisture capacity, wettability, buoyancy, specific surface area, chemical composition, adsorption capacity of materials under static and dynamic conditions) are studied. It was found that sorption materials have 100% buoyancy, are highly active in cleaning water surface from films of oil products with different thicknesses (1–5 mm). It was shown that sorption capacity increases with increasing film thickness and reaches a maximum value at a thickness of 3 mm. The cleaning efficiency is 99.0%. It has been established that the sorption capacity of the sorption material (SM) depends on the nature of oil products, its viscosity, solubility and initial concentration in water.

It is proved that the processes of sorption of oil products proceed by the physical mechanism, which can be represented as the oleophilic interaction of particles of the Sorption material and oil products, which is confirmed by the type of sorption isotherms, which are type II and IV according to the BDT theory and type L according to the Hills classification characteristic of polymolecular adsorption. The obtained adsorption isotherms were processed in the framework of the Langmuir and Dubinin – Radushkevich models, and the constants of the adsorption equations were calculated.

## **Keywords**

Oil sorbents, industrial wastes, water purification, polyethylene terephthalate, thermally expanded and oxidized graphite, ferritized galvanic sludge, water purification

---

---

\* *Corresponding author*

*Email addresses: tatarinceva-elen@mail.ru, ecos123@mail.ru*

## REFERENCES

- [1] Veprikova Ye.V., Tereshchenko Ye.A., Chesnokov N.V. Osobennosti ochistki vody ot nefteproduktov s ispol'zovaniyem neftyanykh sorbentov, fil'truyushchikh materialov i aktivnykh ugley // Vestnik Sibirskogo federal'nogo universiteta.- 2010.- № 3.- P. 285-304. (In Russ.)
- [2] Artemov A.V., Pinkin A.V. Sorbtsionnyye tekhnologii ochistki vody ot neftyanykh zagryazneniy // Voda: Khimiya i ekologiya.- 2008.- № 1.- P. 19–25. (In Russ.)
- [3] Kosintsev V.I., Bordunov S.V., Pilipenko V.G. Sorbenty nefti i nefteproduktov, poluchayemyye iz otkhodov termoplastov // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya.- 2007.- № 8.- P. 62–63. (In Russ.)
- [4] Khlestkin R.N., Samoylov N.A., Shemetov A.V. Likvidatsiya rozlivov nefti pri pomoshchi sinteticheskikh sorbentov // Neftegazovoye delo.- 1999.- № 2.- P. 46 – 49. (In Russ.)
- [5] Melkozerov, V.M., Vasil'yev S.I., Gorbunova L.N. Sravnitel'nyy analiz kharakteristik polimernykh sorbentov // Mashinostroyeniye i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. - 2013.- № 3.- P. 10–14. (In Russ.)
- [6] Sorbo I.I. Vtorichnaya pererabotka plastmass.- S-Pb.: Professiya.- 2007.- 88 s.
- [7] Finayenov A.I., Kol'chenko A.S., Yakovlev A.V. Adsorbenty na osnove termorasshirennogo grafita // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.- 2011.- № 2.- P. 46–54. (In Russ.)
- [8] Sigal V.L. Sorbtsionnyye svoystva uglerodnykh materialov // Zhurnal prikladnoy khimii.- 1997.- T.65.- Vyp.7.- S. 1668–1670. (In Russ.)
- [9] Sobgayda N.A., Finayenov A.I. Novyye uglerodnyye sorbenty dlya ochistki vody ot nefteproduktov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii.- 2005.- Dekabr'.- P. 8–11. (In Russ.)
- [10] Vlasenko Ye.V., Godunov I.A., Lanin S.N. Sravnitel'nyy analiz strukturnykh i sorbtsionnykh kharakteristik termorasshirenykh grafitov i aktivnykh ugley v ochistke vody ot organicheskikh veshchestv // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya. 2005.- T. 46.- № 4.- P. 231–235. (In Russ.)
- [11] Temirkhanov B.A., Yeletskiy B.D., Shpigun O.A. Issledovaniye vozmozhnosti regeneratsii i povtornogo ispol'zovaniya nekotorykh sorbentov dlya sbora nefti // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse.- 2005.- № 5.- P. 19–21. (In Russ.)
- [12] Temerdashev Z.A., Temirkhanov B.A., Musorina T.N. Ochistka neftesoderzhashchikh poverkhnostnykh i stochnykh vod s pomoshch'yu sorbentov na uglerodnoy osnove // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse.- 2006.- № 9.- P. 111–113. (In Russ.)
- [13] Petrik V.I. Uglerodnaya smes' vysokoy reaktsionnoy sposobnosti // Vodospabzheniye i kanalizatsiya.- 2009.- № 5–6.- P. 87–90. (In Russ.)
- [14] Palchoudhury S., Lead J. R. A facile and cost-effective method for separation of oil-water mixtures using polymer-coated iron oxide nanoparticles // Environ. Sci. & Technology.- 2014.- Vol. 48, N 24.- P. 14558-14563. doi: 10.1021/es5037755.
- [15] Tolmacheva V.V., Apyari V.V., Kochuk Ye.V., Dmitriyenko S.G. Magnitnyye sorbenty na osnove nanochastits oksidov zheleza dlya vydeleniya i kontsentrirvaniya organicheskikh soyedineniy // Zhurnal analiticheskoy

khimii.- 2016.- Т.71.- № 4.- P. 339–356.  
(In Russ.)

[16] Tatarintseva Ye.A., Karpenko A.V., Lemayev V.A. Modifikatsiya termoplastov kak sposob polucheniya sorbtsionnykh materialov dlya ochistki stochnykh vod // Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya.- 2014.- Т. 57. № 1.- С. 88–91. (In Russ.)

[17] Bukharova Ye.A., Tatarintseva Ye.A., Ol'shanskaya L.N. Polucheniye sorbenta na osnove polietilentereftalata i yego primeneniye dlya ochistki stochnykh i poverkhnostnykh vod ot nefteproduktov // Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye.- 2014.- № 9.- P. 31-34. (In Russ.)

[18] Bukharova Ye.A., Tatarintseva Ye.A., Zakharevich A.M. Izucheniye fiziko-khimicheskikh i

sorbtsionnykh svoystv tabletirovannogo sorbenta na osnove TRG // Zhurnal ekologicheskoy i promyshlennoy bezopasnosti.- 2014.- № 1-2.- P. 18-20. (In Russ.)

[19] Dolbnya I.V., Tatarintseva Ye.A., Shaykhiyev I.G. Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod magnitosorbentami na osnove ferritizirovannogo gal'vanoshlama // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta.- 2016.- Т. 19.- № 23.- P. 154–156. (In Russ.)

[20] Galimova R.Z., Shaykhiyev I.G. Obrabotka rezul'tatov issledovaniya protsessov adsorbtsii s ispol'zovaniyem programmnoy obespecheniya Microsoft Excel.- Kazan': Kazanskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnologicheskii universitet, 2017.- 60 p. (In Russ.)

**Tatarintseva E. A.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Technosphere Safety, Saratov State Technical University named after Y. Gagarin (Polytechnic st. 77, Saratov, 410054 Russian Federation).

**Olshanskaya L. N.** — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Department of Ecology and Technosphere Safety, Saratov State Technical University named after Y. Gagarin, (Polytechnic st. 77, Saratov, 410054 Russian Federation).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Получение эффективных нефтесорбентов для очистки вод на основе отходов химической промышленности / Е. А. Татаринцева, Л. Н. Ольшанская // Промышленные процессы и технологии. 2021. № 1. С. 6 – 16

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-1-6-16

**Please cite this article as:**

Tatarintseva E. A., Olshanskaya L. N. Obtaining effective oil sorbents based on chemical industry waste for water treatment. Industrial processes and Technologies, 2021, no. 1, pp. 6 – 16.

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-1-6-16