

О. А. САМОДОЛОВА
Д. В. УЛЬРИХ
Т. М. ЛОНЗИНГЕР
С. Г. ГОЛОВИНА

СКОРЛУПА ГРЕЦКОГО ОРЕХА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СОРБЕНТ В ОЧИСТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

WALNUT SHELLS AS A PROMISING SORBENT FOR TREATMENT
OF URBAN SURFACE WASTEWATER

Пищевая промышленность является одной из наиболее стабильных отраслей мирового рынка, который ежегодно демонстрирует рост объемов производства, в том числе ядра грецкого ореха, с последующим образованием отходов при его переработке. Перспективным способом утилизации является использование скорлупы грецкого ореха в качестве материала для производства сорбента. Цель исследования – оценка сорбционной способности скорлупы грецкого ореха при очистке поверхностных сточных вод с городских территорий. Объектом исследований являлись поверхностные сточные воды с городских территорий. При исследованиях использовалось оборудование OPTIMA 2100DV (Perkin Elmer), pH-метр 150МИ, электронный растровый микроскоп JEOL JSM-6460 LV. Полученные экспериментальные данные показали, что скорлупа грецкого ореха является перспективным материалом для изготовления сорбентов.

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, сорбент, скорлупа грецкого ореха, сорбция, локальная очистка

Food industry is one of the most stable sectors of the global market demonstrating the annual growth of the production output, including in the walnut kernel production, with subsequent generation of waste as a result of its processing. The use of walnut shells as a material for production of sorbents is a promising method of waste disposal. The goal of this research is to evaluate the sorption capacity of walnut shells to clean surface wastewater from urban territories. The object of research was the surface wastewater from urban territories. OPTIMA 2100DV spectrometer (Perkin Elmer), pH-150MI microprocessor pH meter, and JEOL JSM-6460 LV scanning electron microscope were used during the research. The obtained experiment data have shown that walnut shells are a promising material for production of sorbents.

Keywords: surface wastewater, sorbent, walnut shells, sorption, local treatment

Введение

Начиная с 2012 г. мировое производство грецкого ореха выросло на 88 %, а в 2020 г. их доля в мировых продажах была на уровне 19 %, обеспечив второе место в рейтинге востребованности и популярности среди потребителей. Период 2022/2023 г. определил для грецкого ореха самые лучшие перспективы. Благодаря хорошим урожаям практически во всех регионах произрастания наблюдается общий рост на 12 %, до 2,7 млн т орехов в скорлупе, а с учетом переходящих остатков миру будет предложено 2,9 млн т (+20 %). Очищенных орехов планируется произвести на 20 % больше (1,2 млн т), а общее предложение на рынке вырастет на 30 %, до 1,3 млн т. Крупнейшим мировым производителем является Китай, где урожай 2022/2023 г. прогнозируется на уровне 1,4 млн т. Далее идут США, урожай – 715 тыс. т, что на 9 % больше,

чем в 2021 г. Третье место занимает Чили – 170 тыс. т, что на 4 % больше, чем в 2021 г. [1, 2].

Побочными продуктами (отходами) при производстве ядра грецкого ореха являются скорлупа и перегородки. Скорлупа грецкого ореха состоит из 17,74 % целлюлозы, 36,06 % гемицеллюлозы и 36,90 % лигнина [3]. При переработке среднестатистического ореха, принятого у населения, из 3 кг целого, просушенного ореха можно получить 1 кг ядра. У сортовых грецких орехов показатель выхода ядра заметно выше – 35–45 %, а у некоторых сортов – даже до 50 %. Поэтому сортовые орехи ценятся намного больше [4]. Согласно статистике по оценке мирового производства грецких орехов процент отходов урожая, полученного в 2022/2023 г. составляет 56 % от всего объема (1 604 тыс. т) [2]. Весь этот объем необходимо утилизировать, так как отходы представляют собой колоссальную проблему для окружающей среды.

В настоящее время скорлупа грецкого ореха нашла применение в промышленности, в том числе:

- для изготовления биотоплива – в качестве субстрата биопленочного реактора микроводорослей (для выращивания биопленки микроводорослей и накопления липидов [5]);
- в качестве биодобавки в муку и хлебобулочные изделия (зеленая скорлупа грецкого ореха) [6]; добавки для производства хлеба функционального назначения позволяет повысить качество, а также пищевую и биологическую ценность хлеба, снизить энергетическую ценность, увеличить выход и срок сохранения свежести хлеба [7];
- в производстве алкогольных напитков – бальзамов [8];
- в косметической промышленности (добавляя в скрабы, крема, пилинги, сыворотки, средства для механической депиляции [9]);
- в качестве абразивного материала для пескоструйных работ. Абразивы из скорлупы грецкого ореха имеют широкий спектр применения, особенно в промышленных областях, поскольку они обладают уникальными физическими характеристиками и химическими свойствами [10];
- в качестве сорбентов органических загрязнителей и тяжёлых металлов для очистки сточных вод различного происхождения [11].

Известные области применения сорбентов из скорлупы грецкого ореха: в виде золы для эффективного улавливания нефтепродуктов [12].

Биоуголь, полученный из промышленных отходов красного шлама и недорогой скорлупы грецкого ореха, позволяет простым методом пиролиза адсорбировать фосфор в сточных водах [13].

Используется загрузка из скорлупы грецкого ореха для сорбционных фильтров в устройствах кондиционирования для эффективной очистки от органических веществ, дезинфекции и дезодорации воздуха в помещениях [14]; очистки газоздушных смесей от летучих органических соединений [15]. Активированный уголь из скорлупы грецкого ореха позволяет улавливать газообразный йод с высокой концентрацией в динамических условиях [16].

С помощью фильтров из скорлупы грецкого ореха проводится одновременное электрохимическое обнаружение ионов тяжелых металлов в пробах воды и почвы [17].

Испарители воды на основе скорлупы грецкого ореха могут иметь потенциальное применение при опреснении воды, производстве водорода/электроэнергии на основе испарения воды, особенно в некоторых развивающихся странах или отдаленных районах [18].

Скорлупа грецкого ореха используется для получения пористых и полировочных материалов для драгоценных металлов и ювелирных изделий, полировки загрязнений, деревянного корпуса, джинсовой полировки, полировки бамбука и изделий из дерева, фильтров очистки маслянистых сточных вод и обезжиривания. Фильтрующий материал из скорлупы грецкого ореха широко используется в нефтяной, химической, кожевенной и других отраслях промышленности для очистки сточных вод и в городском водоснабжении для дренажа, является идеальным фильтрующим материалом для очистки воды и воздуха в различных фильтрах [10, 19].

Литературный обзор, проведенный группой исследователей, доказывает эффективность использования измельченной скорлупы грецкого ореха в качестве сорбционного материала для удаления ионов металлов, красителей и некоторых органических соединений из водных сред. Показано также, что повысить сорбционные характеристики возможно путем химической модификации скорлупы грецкого ореха [20].

Цель данной работы – оценка сорбционной способности скорлупы грецкого ореха при очистке поверхностных сточных вод с городских территорий.

Материалы и методы

Объект исследований – поверхностные сточные воды с городских территорий. Скорлупу грецкого ореха перед проведением исследования измельчали и подвергали термической обработке (карбонизации) в течение 15 мин при температуре 300 °С. Карбонизация органического материала имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами модификации. Обычно процесс занимает всего несколько часов (вместо дней или месяцев), что позволяет создать более компактную конструкцию реактора. Высокие температуры процесса могут разрушать патогенные микроорганизмы и улучшить сорбционные характеристики материала [1].

Поверхностные сточные воды с городских территорий города Челябинска отбирали согласно общепринятым методикам.

Эффективность сорбционного процесса оценивали в статических и динамических условиях. Исследование в статических условиях проводили при использовании метода ограниченного объема при соотношении твёрдая фаза-жидкость, равном 1:20. Сорбент помещали в лабораторный стакан, поллютанты находились в жидкой фазе и приводились в контакт

с неподвижным сорбентом. Температуру системы изменяли от 0 до 20 °С. Время экспозиции составляло 3–168 ч.

Исследования в динамическом режиме проходили на специальной установке, где поллютанты в подвижной жидкой фазе пропускались через слой сорбента. Размеры сорбционной колонки в лабораторной установке составляли: высота 250 мм; диаметр 50 мм; высота загрузки 150 мм. При динамическом режиме сорбции расход исследуемого стока составлял 0,3; 0,6; 1,2; 13,8 л/ч.

Изменение состава исследуемого стока при взаимодействии с сорбентами определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии на приборе OPTIMA 2100DV (Perkin Elmer). В качестве фонового раствора применяли воду особой очистки, полученную на приборе очистки воды «Simplicity UV». Водородный показатель измеряли на рН-метре 150МИ.

Структуру и состав поверхности сорбентов изучали на электронном растровом микроскопе JEOL JSM-6460 LV с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа. Электронно-микроскопический анализ карбонизированной скорлупы грецкого ореха показал, что фрагменты сорбента имеют неправильную форму с шершавой поверхностью и состоят из углерода, кислорода и незначительного количества калия. Размер компонентов (кусков) материала варьируется от 1 до 10 мм. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхности образцов приведены в табл. 1.

Исследование микрорельефа поверхности проводилось при степени увеличения в 500 и в 1 200 раз. Микрофотографии гранул приведены на рис. 1.

На них, хорошо видна развитая пористая структура сорбента.

Таблица 1
Table 1

Результаты микрорентгеноспектрального анализа образца, %
Results of microgenospectral analysis of the sample, %

№ области анализа	С	О	К
1	55,26	44,46	0,28
2	56,40	43,49	0,11

Результаты исследования

В табл. 2 приведены результаты исследования эффективности сорбционного процесса в системе карбонизированная скорлупа грецкого ореха – сточная (ливневая) вода в статических условиях.

Полученные данные показывают, что карбонизированная скорлупа грецкого ореха обеспечивала полное извлечение хрома и меди из сточной ливневой воды, независимо от температуры и времени контакта.

Концентрация катионов железа максимально снижается на 99,6 % при времени экспозиции 3 ч и температуре 20 °С. При увеличении времени контакта, при данной температуре, в системе происходит снижение степени извлечения поллютанта.

Сорбция алюминия наиболее эффективно происходит при температуре 0 °С, причем время взаимодействия имеет важное значение – чем больше время контакта, тем эффективнее происходит очистка сточной воды. При температуре 10 и 20 °С максимальная степень извлечения алюминия составляет 82 % (168 ч / 7 сут).

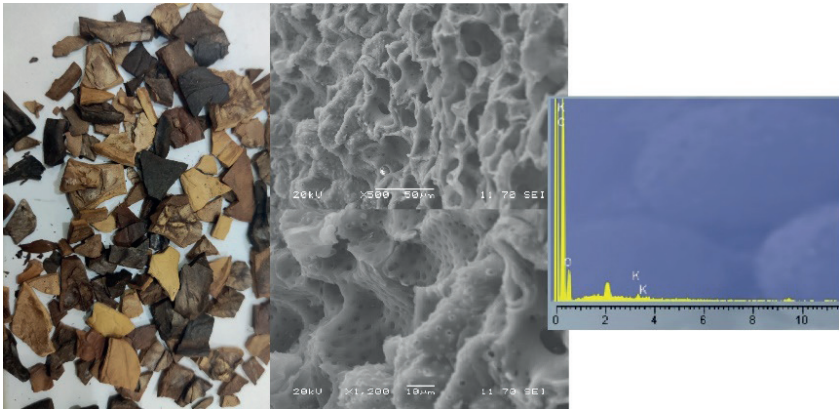


Рис. 1. Микрофотографии скорлупы грецкого ореха (карбонизированного) и данные микрорентгеноспектрального анализа
Fig. 1. Walnut shell (carbonized) micrographs and microrentgenospectral analysis data

Таблица 2
Table 2

Эффективность извлечения загрязнителей из сточной воды
в зависимости от температуры, °С и времени контакта, %
Efficiency of extraction of pollutants from waste water depending
on temperature, °C and contact time, %

Показатель	Содержание тяжелых металлов в поверхностном стоке, мг/л	Эффективность очистки при температуре и времени контакта, %								
		0 °C			10 °C			20 °C		
		3 ч	6 ч	168 ч	3 ч	6 ч	168 ч	3 ч	6 ч	168 ч
Алюминий (3+)	2,707	76	82	88	71	76	82	41	65	82
Хром (3+)	0,01	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Медь (2+)	0,028	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Железо (общ.)	2,624	80	76	87	72	59	40	99,6	69	68
Магний (2+)	12,306	67	73	76	69	73	74	61	71	72
Цинк (2+)	0,286	83	83	83	83	67	67	83	83	83

Очистка сточной воды от цинка происходит при заданных температурах с максимальной эффективностью 83 %.

С увеличением времени контакта концентрация катионов магния в растворе увеличивается. Магний является обменным катионом, который содержится в скорлупе грецкого ореха и переходит в раствор в процессе хемосорбции, его замещают катионы тяжёлых металлов из сточной воды. Экспериментальные данные показывают, что взаимодействие скорлупы грецкого ореха со сточной водой является сложным физико-химическим процессом, состоящим из нескольких видов взаимодействия (адсорбция, хемосорбция, десорбция), на эффективность которого оказывает влияние скорость диффузии катионов в растворе, определяемая временем контакта сорбента с сорбатом и температурой системы.

На рис. 2 представлены фотографии системы сорбент – сорбат при проведении эксперимента в статических условиях. Отчётливо видно, что цвет сорбата при контакте с сорбентом изменяется, снижается мутность раствора. В процессе очистки наблюдалось изменение цветности сточной воды, что вызвано наличием в скорлупе грецкого ореха дубильных веществ, пигмента (органическое соединение – юглон), и его переход из сорбента в сточную воду.

График на рис. 3 показывает зависимость водородного показателя от времени контакта сорбента с сорбатом и температуры системы.

При увеличении времени контакта сорбента с сорбатом происходит повышение pH системы, что связано с поглощением загрязнителей из сточной воды. С повышением температуры степень сорбции уменьшается. Адсорбционные процессы при повышении температуры замедляются, а процессы хемосорбции активируются при росте температуры системы, поэтому на графиках результирующий процесс проявляется увеличением водородного показателя с ростом температуры, что соответственно связано с повышением сорбционной способности системы.

В табл. 3 приведены результаты исследования системы скорлупа грецкого ореха – сточные воды с городских территорий в динамических условиях. Приведенные в таблице данные являются средними значениями для трех проб, отобранных в течение двух часов, через равные промежутки времени.

Исследования в динамических условиях показали, что эффективность очистки сточных вод от катионов хрома не зависит от расхода сорбата и равна 100 %. При сорбции меди увеличение расхода фильтрата до 13,8 л/ч снижает эффективность процесса в два раза. Катионы алюминия полностью сорбируются из сточной воды при расходе фильтрата 1,2 и 13,8 л/ч. Катионы железа предпочтительно извлекать скорлупой грецкого ореха при расходе фильтрата 0,6 л/ч, при этом эффективность очистки составляет 63 %. Сорбция цинка из сточных вод при использовании карбонизированной скорлупы грецкого ореха в качестве сорбента не происходит.

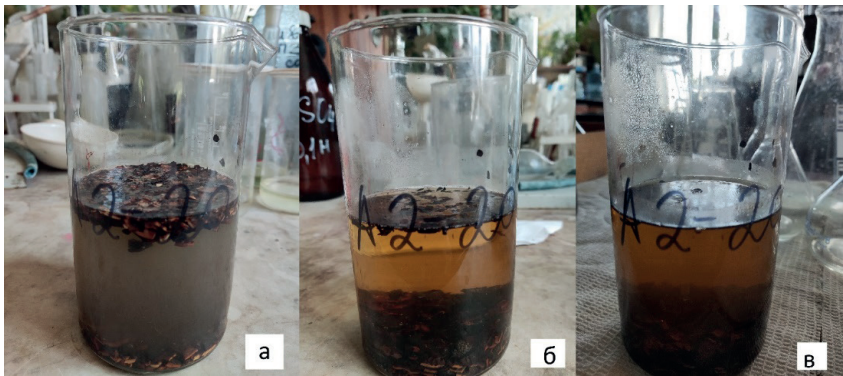


Рис. 2. Изучение сорбции поллютантов из пробы в статических условиях:
а – при контакте сорбента с сорбатом 0 ч; б – при контакте сорбента с сорбатом 72 ч;
в – при контакте сорбента с сорбатом 168 ч
Fig. 2. Study of the sorption of pollutants from the sample under static conditions:
а – at contact of sorbent with sorbate for 0 h; б – at contact of sorbent with sorbate 72 h;
в – at contact of sorbent with sorbate 168 h

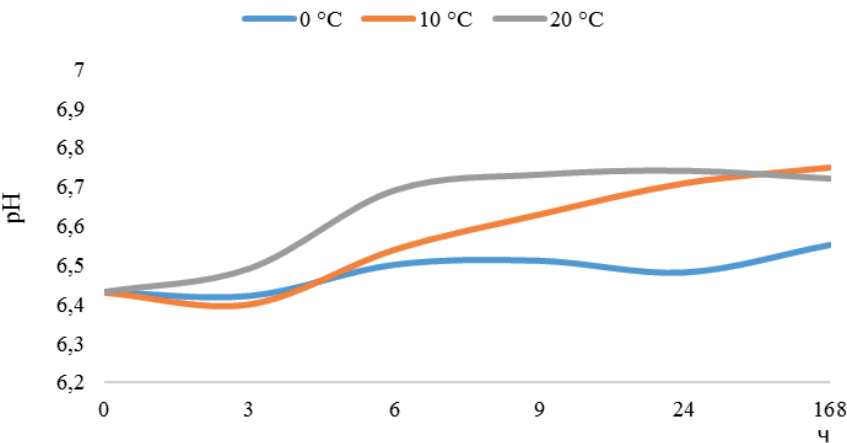


Рис. 3. Изменение pH при изменении температуры и времени контакта сорбента
(скорлупы грецкого ореха) с сорбатом (сточная вода)
Fig. 3. Change in pH when changing the temperature and contact time of the sorbent
(walnut shells) with sorbate (waste water)

Таблица 3
Table 3

Эффективность очистки сточных вод от поллютантов
Efficiency of waste water treatment from pollutants

Показатель	Эффективность очистки при расходе сорбата, %			
	0,3 л/ч	0,6 л/ч	1,2 л/ч	13,8 л/ч
Алюминий (3+)	50	56	100	100
Хром (3+)	100	100	100	100
Медь (2+)	100	100	100	50
Железо (общ.)	61	63	44	40
Магний (2+)	29	31	36	45
Цинк (2+)	0	0	0	0

Заключение и обсуждение

Исследована эффективность сорбционной способности карбонизированной скорлупы грецкого ореха при очистке поверхностных сточных вод с городских территорий в статических и динамических условиях.

Полученные данные показывают, что карбонизированная скорлупа грецкого ореха обеспечивает полное извлечение хрома и меди из сточной ливневой воды независимо от температуры и времени контакта.

Концентрация катионов железа максимально снижается на 99,6 % при времени экспозиции 3 ч и температуре 20 °С.

Очистка сточной воды от цинка происходит при заданных температурах с максимальной эффективностью 83 %.

Экспериментальные данные показывают, что взаимодействие скорлупы грецкого ореха со сточной водой является сложным физико-химическим процессом, состоящим из нескольких видов взаимодействия (адсорбция, хемосорбция, десорбция), на эффективность которого оказывает влияние скорость диффузии катионов в растворе, определяемая временем контакта сорбента с сорбатом и температурой системы. При увеличении времени контакта сорбента с сорбатом происходит повышение рН системы, что связано с поглощением поллютантов из сточной воды.

Исследования в динамических условиях показали, что эффективность очистки сточных вод от катионов хрома не зависит от расхода сорбата и равна 100 %. При сорбции меди увеличение расхода фильтрата до 13,8 л/ч снижает эффективность процесса в два раза. Катионы алюминия полностью сорбируются из сточной воды при расходе фильтрата 1,2 и 13,8 л/ч. Катионы железа предпочтительно извлекать скорлупой грецкого ореха при расходе фильтрата 0,6 л/ч, при этом эффективность очистки составляет 63 %. Сорбция цинка из сточных вод при использовании карбонизированной скорлупы грецкого ореха в качестве сорбента не происходит.

Экспериментальные данные показали, что скорлупа грецкого ореха, карбонизированная при температуре 300 °С в течение 15 мин, является перспективным сорбционным материалом для извлечения из сточных вод ионов тяжёлых металлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Растительные материалы как сырье для производства сорбентов [Электронный ресурс]. URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/3744/1/27.pdf?ysclid=ljb35rp7v4901300967> (дата обращения: 25.06.2023).
2. Орехи 2022/2023: производство, предложение, прогнозы. Кедровые и грецкие орехи, pekan [Электронный ресурс]. URL: <https://berekat.ru/info/articles/orekhi-2022-2023-proizvodstvo-predlozhenie-prognozy-kedrovye-i-gretskie-orekhi-pekan/?ysclid=ljp6e8nf60899773357> (дата обращения: 05.07.2023).
3. Yabalak E., Eliuz E. Green synthesis of walnut shell hydrochar, its antimicrobial activity and mechanism on some pathogens as a natural sanitizer // Food Chemistry. 2021. V. 366 (3). DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130608.
4. Грецкий орех: правила закупки и переработки сырья [Электронный ресурс]. URL: <https://berekat.ru/info/articles/gretskiy-orekh-pravila-zakupki-i-pererabotki-syrya/> (дата обращения: 08.07.2023).
5. A novel microalgal biofilm reactor using walnut shell as substratum for microalgae biofilm cultivation and lipid accumulation / X. Zou, K. Xu, W. Chang, Y. Qu, Y. Li // Renewable Energy. V. 175. 2021. P. 676–685.
6. Хошимова Н. Х., Джахангирова Г. З. Обогащение муки и хлебобулочных изделий на основе нетрадиционного сырья // Universum: технические науки. 2022. № 11–4 (104). С. 68–72.
7. Способ производства хлеба функционального назначения: пат. № 2613249 Рос. Федерация, № 2016101108 / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, А. В. Одинцова [и др.]; заявл. 15.01.2016; опубл. 15.03.2017.
8. Бальзам: пат. № 2171836 Рос. Федерация № 99109513/13 / Кочергина В. Е., Фурсов Г. А., Глазнев Н. Г.; заявл. 07.05.1999; опубл. 10.08.2001.
9. Средство для механической эпиляции: пат. № 2088208 Рос. Федерация, № 93016769/14 / Шкурко В. Ф., Шкурко З. А.; заявл. 31.03.1993; опубл. 27.08.1997.
10. Абразивные материалы из скорлупы грецкого ореха [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.xinliabrasive.com/Walnut-Shell-Abrasives-ru.html?ysclid=ljci2auw29876036810> (дата обращения 26.06.2023).
11. Albatrni H., Qiblawey H., Al-Marri M.J. Walnut shell based adsorbents: A review study on preparation, mechanism, and application // Journal of Water Process Engineering. 2022. V. 45. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102527.
12. Синтез высокоэффективных сорбентов из скорлупы грецкого ореха / Б. А. Темирханов, З. Х. Султыгова, Р. Д. Арчакова, З. С.-А. Медова // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. Вып. 6. С. 1025–1032.
13. Functional biochar fabricated from red mud and walnut shell for phosphorus wastewater treatment: Role of minerals / J. Yang, X. Ma, Q. Xiong, X. Zhou, H. Wu, S. Yan, Z. Zhang // Environmental Research. 2023. N. 323. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116348.
14. Углеродные сорбенты в процессах обеззараживания воздуха / Е.А. Фарберова, А.В. Виноградова, К.А. Ощепкова, Е.А. Тиньгаева // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 52. № 10. С. 98–103.
15. Новые углеродсодержащие материалы для очистки газовоздушных смесей от летучих органических соединений / Н.Н. Несипбаева, Р.Р. Токпаев, А.Т. Кабулов, Н.Х. Байматова // Вестник Восточ-

но-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2017. № 2. С. 84–89.

16. An activated carbon from walnut shell for dynamic capture of high concentration gaseous iodine / X. Yang, D. Xie, W. Wang, S. Li, Z. Tang, S. Dai // Chemical Engineering Journal. 2023. N. 454. DOI: 10.1016/j.cej.2022.140365.

17. Biomass valorization of walnut shell into biochar as a resource for electrochemical simultaneous detection of heavy metal ions in water and soil samples: Preparation, characterization, and applications / Y. El Hamdouni, S. El Hajjaji T. Szabó, L. Trif, I. Felhősi, K. Abbi, N. Labjar, L. Harmouche, A. Shaban // Arabian Journal of Chemistry. 2022. N. 15. DOI: 10.1016/j.arabjc.2022.104252.

18. Turning waste into treasure: Carbonized walnut shell for solar-driven water evaporation / Y. Wang, X. Luo, X. Song, W. Guo, K. Yu, C. Yang, F. Qu // Materials Letters. 2022. V. 307. DOI: 10.1016/j.matlet.2021.131057.

19. Науменко Д.В., Шаповалов В.В. Получение активных углей из скорлупы грецкого ореха для очистки воздуха и воды // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. материалов XIII международной научной конференции аспирантов и студентов. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 9–11.

20. Использование скорлупы грецкого ореха (*Juglans Regia*) в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из природных сточных вод / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, К.И. Шайхиева, Ж.А. Сапронова // Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 5–18.

REFERENCES

1. *Plant materials as raw materials for sorbento production*. Available at: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/3744/1/27.pdf?ysclid=ljb35rp7v4901300967> (accessed 25 June 2023).

2. *Nuts 2022/2023: production, supply, forecasts. Pine and walnuts, pecan*. Available at: <https://berekat.ru/info/articles/orekhi-2022-2023-proizvodstvo-predlozhenie-prognozy-kedrovye-i-gretskie-orekhi-pekani/?ysclid=ljp6e8nf60899773357> (accessed 05 July 2023).

3. Yabalak E., Eliuz E. Green synthesis of walnut shell hydrochar, its antimicrobial activity and mechanism on some pathogens as a natural sanitizer. Food Chemistry. 2021. V. 366 (3). DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130608

4. *Walnut: rules for the purchase and processing of raw materials*. Available at: <https://berekat.ru/info/articles/gretskiy-orekh-pravila-zakupki-i-pererabotki-syrya/> (accessed 08 July 2023).

5. Zou X., Xu K., Chang W., Qu Y., Li Y. A novel microalgal biofilm reactor using walnut shell as substratum for microalgae biofilm cultivation and lipid accumulation. Renewable Energy. V. 175. 2021. P. 676–685.

6. Khoshimova N. Kh., Dzhakhangirova G. Z. Enrichment of flour and bakery products based on unconventional raw materials. *Universum: tekhnicheskie*

nauki [Universum: Technical Sciences], 2022, no. 11–4 (104), pp. 68–72. (in Russian)

7. Ponomareva E.I., Lukina S.I., Odintsova A.V. *Sposob proizvodstva hleba funkcional'nogo naznachenija* [Functional purpose bread production method]. Patent RF, no. 2613249, 2017.

8. Kochergina V.E., Fursov G.A., Glaznev N.G. *Bal'zam* [Balm]. Patent RF, no. 2171836, 2001.

9. Shkurko V.F., Shkurko Z. A. *Sredstvo dlja mehanicheskoy jepilljacji* [Mechanical epilation agent]. Patent RF, no. 2088208, 1997.

10. *Walnut shell abrasives*. Available at: <https://ru.xinliabrasive.com/Walnut-Shell-Abrasives-ru.html?ysclid=ljci2auw29876036810> (accessed 26 June 2023).

11. Albatrni H., Qiblawey H., Al-Marri M.J. Walnut shell based adsorbents: A review study on preparation, mechanism, and application. Journal of Water Process Engineering. 2022. V. 45. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102527

12. Temirkhanov B.A., Sultygova Z.Kh., Archakova R.D., Medova Z.S-A. Synthesis of highly effective walnut shell sorbents. *Sorbcionnye i hromatograficheskie process* [Sorption and Chromatographic Processes], 2012, vol. 12, no. 6, pp. 1025–1032. (in Russian)

13. Yang J., Ma X., Xiong Q., Zhou X., Wu H., Yan S., Zhang Z. Functional biochar fabricated from red mud and walnut shell for phosphorus wastewater treatment: Role of minerals. Environmental Research. 2023. N. 323. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116348

14. Farberova E.A., Vinogradova A.V., Oshchepkova K.A., Tingaeva E.A. *Uglerodnye sorbenty v processah obezrazazhivaniya vozduha* [Carbon sorbents in air disinfection processes], 2017, vol. 52, no. 10, pp. 98–103. (in Russian)

15. Nesipbaeva N.N., Tokpayev R.R., Kabulov A.T., Baymatova N.H. New carbon-containing materials for the purification of gas-air mixtures from volatile organic compounds. *Vestnik Vostochno-Kazhastanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva* [Bulletin of East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbayev], 2017, no. 2, pp. 84–89. (in Russian)

16. Yang X., Xie D., Wang W., Li S., Tang Z., Dai S. An activated carbon from walnut shell for dynamic capture of high concentration gaseous iodine. Chemical Engineering Journal. 2023. N. 454. DOI: 10.1016/j.cej.2022.140365

17. Hamdouni Y. El., Hajjaji S. El., Szabó T., Trif L., Felhősi I., Abbi K., Labjar N., Harmouche L., Shaban A. Biomass valorization of walnut shell into biochar as a resource for electrochemical simultaneous detection of heavy metal ions in water and soil samples: Preparation, characterization, and applications. Arabian Journal of Chemistry. 2022. N. 15. DOI: 10.1016/j.arabjc.2022.104252

18. Wang Y., Luo Y., Song X., Guo W., Yu K., Yang C., Qu F. Turning waste into treasure: Carbonized walnut shell for solar-driven water evaporation. Materials Letters. 2022. V. 307. DOI: 10.1016/j.matlet.2021.131057

19. Naumenko D.V., Shapovalov V.V. Production of active coals from walnut shells for air and water purification. *Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'noe*

ispol'zovanie prirodnih resursov: sb. materialov XIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii aspirantov i studentov [Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources: Sat. materials of the XIII International Scientific Conference of Graduate Students and Students]. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2019, pp. 9–11. (In Russian).

20. Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V., Shaikhieva K.I., Sapronova Zh.A. Use of walnut shells (*Juglans Regia*) as sorption materials to remove pollutants from natural wastewater. *Himija rastitel'nogo syr'ja* [Plant Raw Material Chemistry], 2020, no. 2, pp. 5–18. (in Russian)
Об авторах:

САМОДОЛОВА Олеся Александровна

аспирант кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем
Южно-Уральский государственный университет
454080, Россия, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76
E-mail: samodolova@mail.ru

SAMODOLOVA Olesya A.

Postgraduate Student of the Town Planning, Engineering Networks and Systems Chair
South Ural State University
454080, Russia, Chelyabinsk, 76 Lenin Prospekt, 76
E-mail: samodolova@mail.ru

УЛЬРИХ Дмитрий Владимирович

доктор технических наук, доцент, директор архитектурно-строительного института
Южно-Уральский государственный университет
454080, Россия, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76
профессор кафедры водопользования и экологии
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
E-mail: ulrikhdv@susu.ru

ULRIKH Dmitrii V.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Architecture and Construction
South Ural State University
454080, Russia, Chelyabinsk, 76 Lenin Prospekt, 76
Professor of the Water Use and Environment Chair
St Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
1900054, Russia, Saint Petersburg,
2nd Krasnoarmeyskaya str., 4
E-mail: ulrikhdv@susu.ru

ЛОНЗИНГЕР Татьяна Моэровна

кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник кафедры материаловедения и физико-химии материалов
Южно-Уральский государственный университет
454080, Россия, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76
E-mail: lonzinger@tm@susu.ru

LONZINGER Tatiana M.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Researcher of the Materials Science, Physical and Chemical Properties of Materials Chair
South Ural State University
454080, Russia, Chelyabinsk, 76 Lenin Prospekt, 76
E-mail: lonzinger@tm@susu.ru

ГОЛОВИНА Светлана Геннадьевна

кандидат архитектуры, доцент, первый проректор, заведующая кафедрой архитектурно-строительных конструкций
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет 190005,
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4
E-mail: prorektor.1st@spbgasu.ru

GOLOVINA Svetlana G.

PhD in Architecture, Associate Professor, First Vice-Rector, Head of the Architectural and Building Structures Chair
St Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
1900054, Russia, Saint Petersburg,
2nd Krasnoarmeyskaya str., 4
E-mail: prorektor.1st@spbgasu.ru

Для цитирования: Самодолова О.А., Ульрих Д.В., Лонзингер Т.М., Головина С.Г. Скорлупа грецкого ореха как перспективный сорбент в очистке поверхностных сточных вод с городских территорий // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 1. С. 19–26. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.03.

For citation: Samodolova O.A., Ulrikh D.V., Lonzinger T.M., Golovina S.G. Walnut shells as a promising sorbent for treatment of urban surface wastewater. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 19–26. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.03.