ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРАСИТЕЛЯ КОНГО КРАСНЫЙ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Свергузова С.В., доктор технических наук, профессор,
Сапронова Ж.А., доктор технических наук, профессор,
Локтионова Е.В.,
Сыса В.И.,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Шайхиев И.Г., доктор технических наук, профессор,
Казанский национальный исследовательский технологический университет

Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, используя оборудование Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

***Аннотация**: результаты исследования по сорбционной очистке модельных водных сред, содержащих краситель Конго красный, с использованием в качестве сорбционного материала отхода растениеводства показали, что максимальная сорбционная емкость биомассы составляет 0,37 ммоль/г. Представлены данные электронной микроскопии и результаты исследований физико-химических и сорбционных свойств нового растительного сорбционного материала, полученного из стеблей подсолнечника (Helián̄thus án̄nuus). Обработка данных, показала, что полученная изотерма адсорбции красителя Конго красный относится к изотермам пятого типа по классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ) или S-типу, согласно классификации Гильса. При этом процесс адсорбции наиболее точно описывается моделью Фрейндлиха, процесс протекает на гетерогенной поверхности сорбционного материала.*

***Ключевые слова**: адсорбционный материал, краситель Конго красный, отход растениеводства, изотерма адсорбции*

THE USAGE OF VEGETABLE SORBENT FOR REMOVING CONGO RED DYE FROM TEST SOLUTIONS

Sverguzova S.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Sapronova Zh.A., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Loktionova E.V.,
Sysa V.I.,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Shaykhiev I.G., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Kazan National Research Technological University

Abstract: *the research findings of sorption purification of test water environment, containing Congo red dye, by using this crop farming waste as a sorption material have indicated that the maximum sorption capacity of its biomass amounts to 0.37 mmol/g. The electronic microscopy data and the research findings of physical-chemical and sorption properties of a new vegetable sorption material, obtained from sunflower (Heliánthus ánnuus) stalks, are presented. The processing of the data demonstrated that the obtained adsorption isotherm of Congo red belongs to Type V isotherms according to classification by Brunauer-Deming-Deming-Teller (BDDT) or to the S-type, according to Giles' classification. With that, adsorption process is the most accurately described by the Freundlich model, and the process proceeds on the heterogeneous surface of the sorption material.*

Keywords: *adsorption material, Congo red dye, crop farming waste, adsorption isotherm*

Загрязнение и истощение воды стало экологической проблемой во всем мире. Во многих странах население лишено возможности пользоваться чистой водой. Некоторые опасности, связанные с употреблением загрязненной воды, показаны на рис. 1 [1].

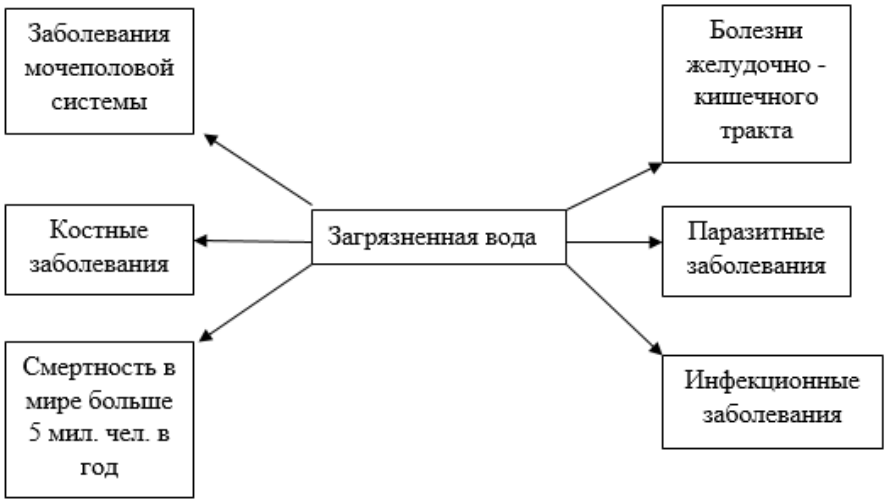


Рис. 1. Опасности, связанные с использованием загрязненной воды

Одними из широко распространённых загрязнителей водной среды являются синтетические и органические красители. Они находятся в сточных водах текстильной, кожевенной, бумажной, химической и многих других отраслях промышленности [2].

Производство красителей ежегодно возрастает на 7 млн тонн [3].

Негативное воздействие сточных вод, содержащих красители обусловлено высокой токсичностью (ПДК <0,001 мг/дм3) [4]. Поэтому создание эффективных и экономически оправданных способов очистки сточных вод от красителей является активной задачей.

Методы очистки сточных вод от красителей можно разделить на несколько групп. К окислительно-восстановительным методам относятся обработка сточных вод различными окислителями [5], электрохимические [6] или электрокаталитические процессы [7]. Физическо-химические методы для удаления красителей - коагуляция [8], флотация и электрокоагуляция [9], обратный осмос[10], ультрафильтрация [11], адсорбция.

Среди всех используемых в настоящее время методов обезвреживания окрашенных сточных вод, процесс адсорбции является одним из самых перспективных [12]. Наиболее часто в промышленном производстве для извлечения красителей используют активированные угли (АУ) различных марок, которые характеризуются высокой эффективностью при удалении названных поллютантов. Однако, сдерживающим фактором использования АУ является высокая их стоимость и связанная с этим необходимость регенерации, что еще более способствует удорожанию процесса.

В этой связи перспективными являются сорбционные материалы, полученные на основе промышленных и сельскохозяйственных отходов.

В литературных источниках описаны многочисленные данные по использованию целлюлозосодержащих отходов сельхозпереработки в качестве сорбционных материалов для извлечения красителей из сточных и природных вод [12-16].

Одним из красителей, широко применяемом в промышленном производстве, является реагент марки «Congo Red» (Конго красный) – брутто-формула C32H22N6Na2O6S2 (динатриевая соль 4,4'-бис-(1-амино-4-сульфо-2-нафтилазо)бифенила). Молекулярная масса – 696,665 г/моль. Конго красный используют в химическом анализе как индикатор, при броматометрическом определении гидразинсульфата.Индикатор применяется также для фотохимического определения нитратов. Также данный краситель находит применение в микроскопических исследованиях и используется, в виде спиртового, водного или аммиачного раствора для окрашивания клеточной оболочки грибов (самостоятельно, либо в сочетании с генциановым фиолетовым) (рис. 2).

Рис. 2. Примеры использования красителя «Конго красный» [17]

В мировой литературе описано извлечение Конго красного из водных сред с использованием в качестве сорбционных материалов отходов от переработки капусты [18], кожуры бананов [19, 20], рисовой шелухи [21] и других отходов сельскохозяйственного производства.

Одним из сельскохозяйственных растений, широко культивируемом в Российской Федерации, является подсолнечник (*Heliánthus ánnuus*), семена которого используются в производстве масла. После переработки биомассы подсолнечника в большом количестве образуются отходы в виде жмыха, листвы, стеблей и опустошенных от семян головок, которые исследовались в качестве сорбционных материалов (СМ) для удаления различных поллютантов, в том числе и различных красителей [22-25]. В частности, измельченные стебли подсолнечника использовались для удаления из водных сред красителей «Methylen blue» [22], «Basic Blue 3» [23, 25], «Telon blue AGLF» [24], «Acid red 114» [25].

На основании вышеизложенного, рассмотрена возможность использования стеблей подсолнечника в качестве СМ для извлечения красителя Конго красный из водных сред.

Ранее проведенные авторами исследования показали возможность использования измельченных стеблей подсолнечника как СМ для извлечения красителя марки «Метиленовый голубой», органического основного тиазинового красителя, из водных сред [26]. Эффективность очистки модельных растворов с начальной концентрацией названного красителя 50 мг/дм^3 составила 92%.

Цель данной работы – определение сорбционных характеристик и термодинамических параметров процесса адсорбции красителя Конго красный с использованием в качестве сорбционного материала отхода растениеводства – измельченных стеблей подсолнечника.

Экспериментальная часть

Материалы. В качестве исследуемого адсорбционного материала использовались измельченные стебли подсолнечника (ИСП), микрофотографии которого представлены на рис. 3.

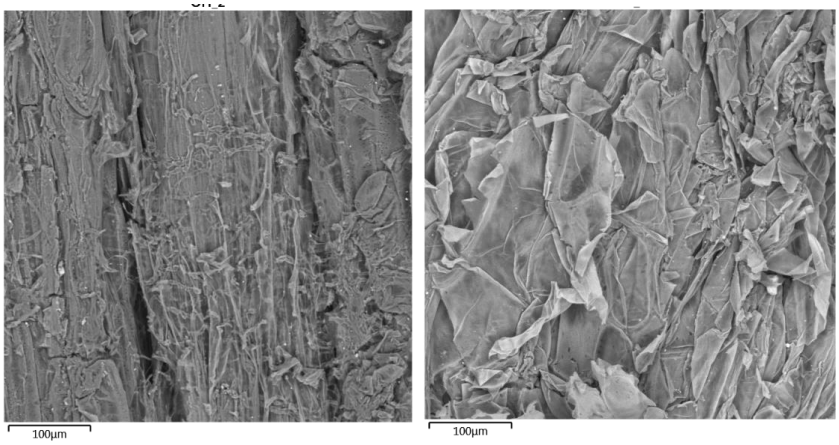


Рис. 3. Данные электронной микроскопии ИСП

Фотографии поверхности измельченной биомассы стеблей подсолнечника (рис. 3), указывают на достаточно сложную структуру последних – наблюдается рыхлость с множеством трещин и впадин, наличие пор различных размеров, что позволяет предположить о возможности использования его в качестве СМ.

Физико-химические свойства измельченных стеблей подсолнечника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства ИСП

Показатели	Обозначения	Размерность	Значение
Размер частиц	D	мм	1,5-2,0
Насыпная плотность	$\rho_{нас}$	г/см^3	0,14
pH водной вытяжки	pH	-	5,8
Потери при прокаливании	п.п.п	%	94
Влажность	W	%	8,7

В качестве модельных водных сред использовались растворы красителя «Конго красный» с концентрациями 0,01- 4,5 г/дм^3.

Процессы адсорбции исследовались в статических условиях методом переменных концентраций.

Начальные и конечные концентрации красителя «Конго красный» определялись спектрофотометрическим методом на спектрофотометре марки «КФК–2» при длине волны λ = 540 нм.

Для определения величины адсорбции (А, ммоль/г) навеска сорбционного материала вносилась в колбу объемом 250 см^3 с модельным раствором, содержащим определенную концентрацию красителя. Соотношение твердой и жидкой фаз составило 1:100 по массе. Содержимое колб периодически встряхивалось в течение 24 ч, затем жидкость отделялась фильтрованием и в фильтрате оценивалось остаточное содержание красителя.

Количество вещества, ммоль/г, сорбированного твердой фазой, рассчитывалось по формуле 1:

$$A = \frac{(C_n - C_k)V}{m} \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрация красителя Конго красный, ммоль/дм^3; C_k – конечная концентрация красителя Конго красный после равновесия, ммоль/дм^3; V – объем раствора, дм^3; m – масса навески адсорбционного материала, г.

Механизм процесса адсорбции исследовали путем обработки результатов в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха , Брунауэра, Эмметта и Теллера (БЭТ).

Обсуждение результатов

Согласно полученным значениям статической сорбционной способности (А, ммоль/г), зависимость А=f(Ср) приведена на рис 4.

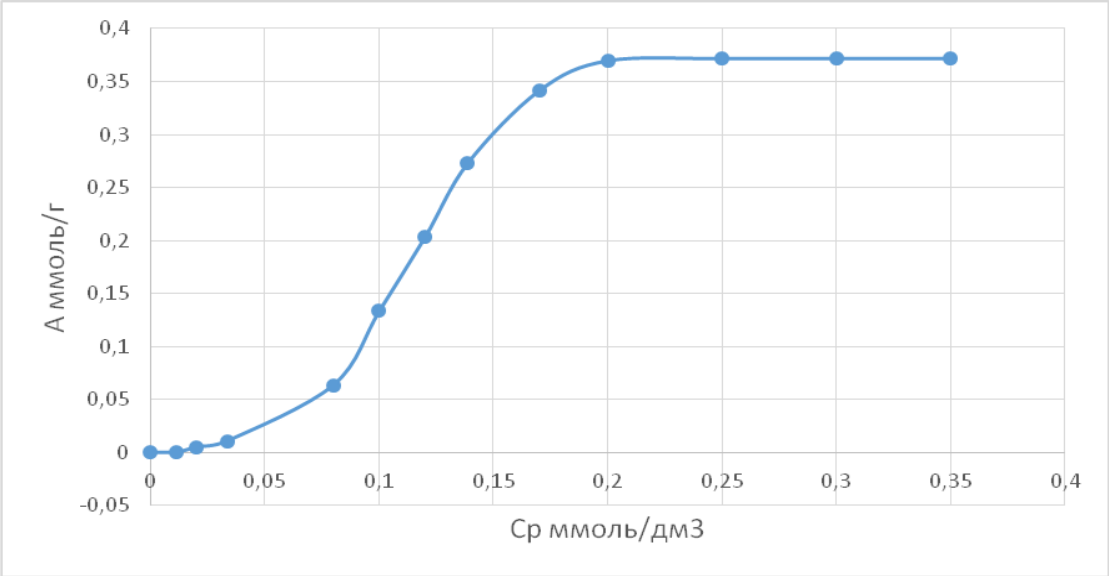
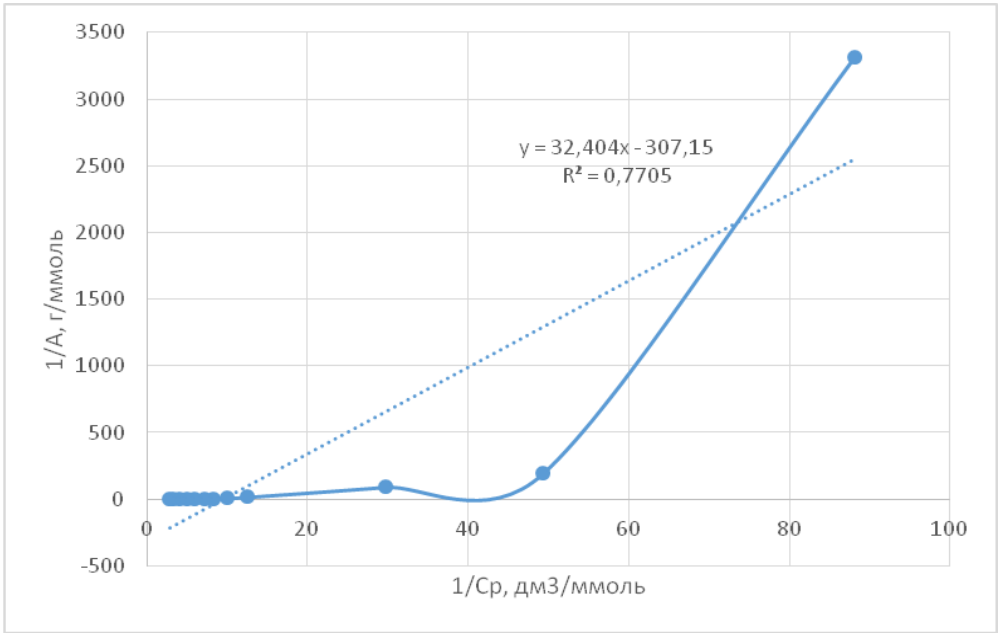


Рис. 4. Изотерма адсорбции (Т = 20 ˚С) красителя Конго красный на поверхности ИСП

Максимальная сорбционная емкость биомассы ИСП установлена на уровне 0,37 ммоль / г по Конго красному. Изотерма адсорбции относится к изотерме пятого типа в соответствии с классификацией Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ). Этот тип изотермы характерен для пористых адсорбентов с низкой энергией взаимодействия адсорбент-адсорбат [27].

Чтобы определить механизм процесса адсорбции, полученную изотерму обрабатывали с использованием моделей адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха и БЭТ рис. 5-7. В табл. 1 представлены уравнения регрессии и значения коэффициентов аппроксимации для различных моделей адсорбции.



.

Рис. 5. Изотерма сорбции Ленгмюра красителя Конго красный на поверхности ИСП

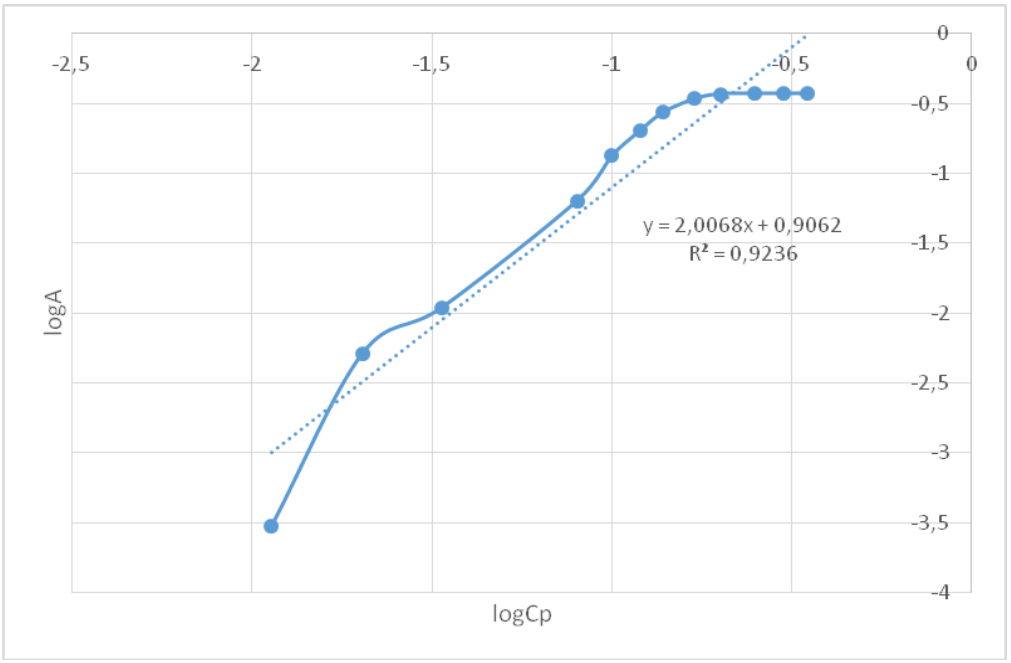


Рис. 6. Изотерма сорбции Фрейндлиха красителя Конго красный на поверхности ИСП

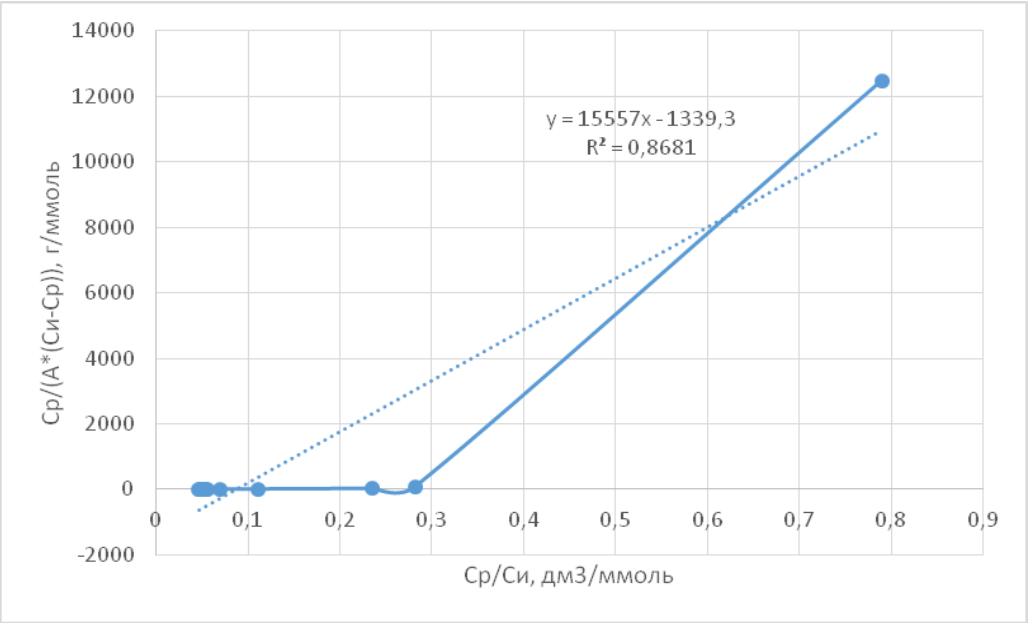


Рис. 7. Изотерма сорбции БЭТ красителя Конго красный на поверхности ИСП

Таблица 2

Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции и аппроксимации (R^2) моделей адсорбции красителя Конго красный на биомассе ИСП

Модель	Уравнение регрессии	R^2	Коэффициент корреляции
Ленгмюра	y = 32,404x - 307,15	0,7705	0,8778
Фрейндлиха	y = 2,0068x + 0,9062	0,9091	0,9704
БЭТ	y = 15557x - 1339,3	0,8681	0,9317

Результаты, исследований (табл. 2), свидетельствуют о том, что адсорбция красителя Конго красный биомассой ИСП наиболее точно описывается моделью Фрейндлиха, (R^2=0,97).

На основании результатов, проведенных исследований по сорбционному извлечению измельчёнными стеблями подсолнечника (*Helianthus annuus*) красителя Конго красный из модельных растворов можно сделать выводы:

1. Отходы растениеводства – измельченные стебли подсолнечника – обладают адсорбционной способностью и являются перспективным материалом для очистки сточных вод от красителя Конго красный.

2. Установлен механизм и природа процесса очистки водных сред от красителя Конго красный рассматриваемым отходом растениеводства. Выяв-лено, что адсорбент обладает малой энергией взаимодействия с адсорбатом и сила взаимодействия между адсорбированными молекулами больше силы взаимодействия между растворенным веществом и твердым телом.

3. Процесс адсорбции красителя Конго красный биомассой ИСП наиболее точно описывается моделью Фрейдлиха, процесс протекает на гетероген-ной поверхности сорбционного материала.

Литература

1. Крамаренко Л.В. Обеззараживание воды с использованием метода преаммонизации на Кочетокском водопроводе г. Харькова // Коммунальное хозяйство городов. 2007. № 74. С. 177 – 185.

2. Rizk S.E., Hamed M.M. Batch sorption of iron complex dye, naphthol green B, from wastewater on charcoal, kaolinite, and tafla // Desalination and Water Treatment. 2015. Т. 56. №. 6. С. 1536 – 1546. doi: 10.1080/19443994.2014.954004

3. Bhatia D., Sharma N.R., Singh J., Kanwar R.S. Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2017. Т. 47. № 19. С. 1836 – 1876. doi: 10.1080/10643389.2017.1393263

4. Вафина А.Р., Шайхиев И.Г. Исследование сорбции красителя «Анионный ярко-зеленый» из модельных растворов с использованием оболочек зерен ячменя // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 3.

5. Батоева А.А., Сизых М.Р., Асеев Д.Г. Комбинированные окислительные технологии для очистки сточных вод красильно-отделочных производств // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 3 (43).

6. Габленко М.В., Тимашева Н.А., Шалбак А., Шон Л.Т. Использование электрохимического раствора анолит для очистки сточных вод от синтетических красителей // Успехи в химии и химической технологии. 2008. Т. 22. № 13 (93).

7. Abu Ghalwa N.M., Zaggout F.R. Electrodegradation of methylene blue dye in water and wastewater using lead oxide/titanium modified electrode // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2006. Vol. 41. № 10. P. 2271 – 2282. doi: 10.1080/10934520600872888

8. Касперчик В.П., Яскевич А.Л., Бильдюкевич А.В. Очистка сточных вод от красителей с использованием коагуляционных и мембранных методов // Мембраны и мембранные технологии. 2012. Т. 2. №. 2. С. 133.

9. Mella B., Barcellos B.S. D.C. da Silva, Costa D.E., Gutterres M. Treatment of leather dyeing wastewater with associated process of coagulation-flocculation/adsorption/ozonation // Ozone: Science & Engineering. 2018. Vol. 40. № 2. С. 133-140. doi: 10.1080/01919512.2017.1346464

10. Саенко В.М., Хвостович Т.Н. Очистка сточных вод, содержащих красители, методом обратного осмоса // В сб. научн. трудов. Химия и химическая технология в бытовом обслуживании населения / Под ред. ВА Волкова. М.: ЦНИИбыт, 1983. С. 107 – 112.

11. Ellouze E., Souissi S., Jrad A., Amar R.B., Salah A.B. Performances of nanofiltration and reverse osmosis in textile industry waste water treatment // Desalination and Water Treatment. 2010. Vol. 22. № 1-3. P. 182 – 186. doi: 10.5004/dwt.2010.1432

12. Bharathi K.S., Ramesh S.T. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review // Applied Water Science. 2013. Vol. 3. P. 773 – 790. https://doi.org/10.1007/s13201-013-0117-y

13. Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 177. P. 70 – 80. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.12.047

14. Geetha K.S., Belagali S.L. Removal of heavy metals and dyes using low cost adsorbents from aqueous medium-, A review // IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology. 2013. Vol. 4. № 3. P. 56 – 68.

15. Mohammed M.A., Shitu A., Ibrahim A. Removal of Methylene Blue Using Low Cost Adsorbent: A Review // Research Journal of Chemical Sciences. 2014. Vol. 4 (1). P. 91 – 102.

16. Sulyman M., Namiesnik J., Gierak A. Low-cost adsorbents derived from agricultural by-products/wastes for enhancing contaminant uptakes from wastewater: A review // Polish Journal of Environmental Studies. 2017. Vol. 26. № 2. P. 479 – 510. DOI: 10.15244/pjoes/66769

17. https://ru.wikipedia.org/wiki/Конго_красный

18. Wekoye J.N., Wanyonyi W.C., Wangila P.T., TonuiKinetic M.K. and equilibrium studies of Congo red dye adsorption on cabbage waste powder // Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2020. Vol. 2. P. 24 – 31.

19. Mondal N.K., Kar S. Potentiality of banana peel for removal of Congo red dye from aqueous solution: isotherm, kinetics and thermodynamics studies // Applied Water Science. 2018. Vol. 8. Article 157. P. 1 – 12. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0811-x

20. Munagapati V.S., Yarramuthi V., Kim Y. et al. // Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent / Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. Vol. 148. P. 601 – 607. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.075

21. Han R., Ding D., Xu Y.et al. Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. P. 2938 – 2946. doi:10.1016/j.biortech.2007.06.027

22. Liu X., Wang B., Jing G., Sun Y. Adsorption behaviors of methylene blue on sunflower stem pith // Water Science and Technology. 2019. Vol. 79. № 8. P. 1458 – 1466.

23. Ghasemi S.M., Asgharnia H.A., Karimyan K., Adabi S. Adsorption of Basic Blue3 (BB3) dye from aqueous solution by tartaric acid modified sunflower stem: Kinetics and Equilibrium studies // International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 2015. Vol. 9. № 5. P. 686 – 694.

24. Gцnen F., Кцуль E. Environmental application of Telon Blue AGLF adsorption on sunflower pulp: A response surface methodology approach and kinetic study // Journal of Chemistry. 2016. Article ID 9621523. 10 p. http://dx.doi.org/10.1155/2016/9621523

25. Montes-Alba E.J., Camargo-Vargas G.J., Agudelo-Valencia R.N., Dйvora-Isiordia G.E. Adsorption study of Acid Red 114 and Basic Blue 3 on sunflower stalk // Journal of Water Resource and Protection. 2019. Vol. 11 P. 68 – 81.

26. Свергузова С.В., Локтионова Е.В. Использование стеблей подсолнечника в качестве сорбционных материалов для очистки сточных вод // Материалы международной научно-практической конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования». Белгород, 2019. С. 109 – 114.

27. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Обработка результатов исследования процессов адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. 2017. 60 с.

References

1. Kramarenko L.V. Obezzarazhivanie vody s ispol'zovaniem metoda preammonizacii na Kochetokskom vodoprovode g. Har'kova. Kommunal'noe hozyajstvo gorodov. 2007. № 74. S. 177 – 185.

2. Rizk S.E., Hamed M.M. Batch sorption of iron complex dye, naphthol green B, from wastewater on charcoal, kaolinite, and tafla. Desalination and Water Treatment. 2015. T. 56. №. 6. S. 1536 – 1546. doi: 10.1080/19443994.2014.954004

3. Bhatia D., Sharma N.R., Singh J., Kanwar R.S. Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2017. T. 47. № 19. S. 1836 – 1876. doi: 10.1080/10643389.2017.1393263

4. Vafina A.R., SHajhiev I.G. Issledovanie sorbcii krasitelya «Anionnyj yarko-zelenyj» iz model'nyh rastvorov s ispol'zovaniem obolochek zeren yachmenya. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. № 3.

5. Batoeva A.A., Sizyh M.R., Aseev D.G. Kombinirovannye okislitel'nye tekhnologii dlya ochistki stochnyh vod krasil'no-otdelochnyh proizvodstv. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. № 3 (43).

6. Gablenko M.V., Timasheva N.A., SHalbak A., SHon L.T. Ispol'zovanie elektrohimicheskogo rastvora anolit dlya ochistki stochnyh vod ot sinteticheskih krasitelej. Uspekhi v himii i himicheskoj tekhnologii. 2008. T. 22. № 13 (93).

7. Abu Ghalwa N.M., Zaggout F.R. Electrodegradation of methylene blue dye in water and wastewater using lead oxide/titanium modified electrode. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2006. Vol. 41. № 10. P. 2271 – 2282. doi: 10.1080/10934520600872888

8. Kasperchik V.P., YAskevich A.L., Bil'dyukevich A.V. Ochistka stochnyh vod ot krasitelej s ispol'zovaniem koagulyacionnyh i membrannyh metodov. Membrany i membrannye tekhnologii. 2012. T. 2. №. 2. S. 133.

9. Mella B., Barcellos B.S. D.C. da Silva, Costa D.E., Gutterres M. Treatment of leather dyeing wastewater with associated process of coagulation-flocculation/adsorption/ozonation. Ozone: Science & Engineering. 2018. Vol. 40. № 2. S. 133-140. doi: 10.1080/01919512.2017.1346464

10. Saenko V.M., Hvostovich T.N. Ochistka stochnyh vod, soderzhashchih krasiteli, metodom obratnogo osmo-sa. V sb. nauchn. trudov. Himiya i himicheskaya tekhnologiya v bytovom obsluzhivanii naseleniya. Pod red. VA Volkova. M.: CNIIbyt, 1983. S. 107 – 112.

11. Ellouze E., Souissi S., Jrad A., Amar R.B., Salah A.B. Performances of nanofiltration and reverse osmosis in textile industry waste water treatment. Desalination and Water Treatment. 2010. Vol. 22. № 1-3. P. 182 – 186. doi: 10.5004/dwt.2010.1432

12. Bharathi K.S., Ramesh S.T. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review. Applied Water Science. 2013. Vol. 3. P. 773 – 790. https://doi.org/10.1007/s13201-013-0117-y

13. Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsor-bents: A review. Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 177. P. 70 – 80. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.12.047

14. Geetha K.S., Belagali S.L. Removal of heavy metals and dyes using low cost adsorbents from aqueous me-dium-, A review. IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology. 2013. Vol. 4. № 3. P. 56 – 68.

15. Mohammed M.A., Shitu A., Ibrahim A. Removal of Methylene Blue Using Low Cost Adsorbent: A Review. Research Journal of Chemical Sciences. 2014. Vol. 4 (1). P. 91 – 102.

16. Sulyman M., Namiesnik J., Gierak A. Low-cost adsorbents derived from agricultural by-products/wastes for enhancing contaminant uptakes from wastewater: A review. Polish Journal of Envi-ronmental Studies. 2017. Vol. 26. № 2. P. 479 – 510. DOI: 10.15244/pjoes/66769

17. https://ru.wikipedia.org/wiki/Kongo_krasnyj

18. Wekoye J.N., Wanyonyi W.C., Wangila P.T., TonuiKinetic M.K. and equilibrium studies of Congo red dye adsorption on cabbage waste powder. Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2020. Vol. 2. P. 24 – 31.

19. Mondal N.K., Kar S. Potentiality of banana peel for removal of Congo red dye from aqueous solu-tion: iso-therm, kinetics and thermodynamics studies. Applied Water Science. 2018. Vol. 8. Article 157. P. 1 – 12. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0811-x

20. Munagapati V.S., Yarramuthi V., Kim Y. et al. Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent. Ecotoxicology and Envi-ronmental Safety. 2018. Vol. 148. P. 601 – 607. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.075

21. Han R., Ding D., Xu Y.et al. Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in col-umn mode. Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. P. 2938 – 2946. doi:10.1016/j.biortech.2007.06.027

22. Liu X., Wang B., Jing G., Sun Y. Adsorption behaviors of methylene blue on sunflower stem pith. Water Science and Technology. 2019. Vol. 79. № 8. P. 1458 – 1466.

23. Ghasemi S.M., Asgharnia H.A., Karimyan K., Adabi S. Adsorption of Basic Blue3 (BB3) dye from aqueous solution by tartaric acid modified sunflower stem: Kinetics and Equilibrium studies. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 2015. Vol. 9. № 5. P. 686 – 694.

24. Gcnen F., Kcyl' E. Environmental application of Telon Blue AGLF adsorption on sunflower pulp: A re-sponse surface methodology approach and kinetic study. Journal of Chemistry. 2016. Article ID 9621523. 10 p. http://dx.doi.org/10.1155/2016/9621523

25. Montes-Alba E.J., Camargo-Vargas G.J., Agudelo-Valencia R.N., Djvora-Isiordia G.E. Adsorption study of Acid Red 114 and Basic Blue 3 on sunflower stalk. Journal of Water Resource and Protection. 2019. Vol. 11 P. 68 – 81.

26. Sverguzova S.V., Loktionova E.V. Ispol'zovanie steblej podsolnechnika v kachestve sorbcionnyh materialov dlya ochistki stochnyh vod. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Bezopasnost', zash-chita i ohrana okruzhayushchej prirodnoj sredy: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya». Belgorod, 2019. S. 109 – 114.

27. Galimova R.Z., SHajhiev I.G., Sverguzova S.V. Obrabotka rezul'tatov issledovaniya processov adsorbcii s ispol'zovaniem programmnogo obespecheniya Microsoft Excel. 2017. 60 s.