

Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов Water supply, sewage, water conservation construction systems

Научная статья

УДК 628.3

DOI: 10.14529/build240207

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КОЖЕВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТОДОМ ФИЛЬТРАЦИИ-ПЕРКОЛЯЦИИ НА ФИЛЬТРУЮЩЕМ МАТЕРИАЛЕ ИЗ ПОРОШКА СКОРЛУПЫ ПЛОДОВ БАОБАБА

Д. Лассана, lassanakarifo@gmail.com

В.Н. Саинова, sainovav@yandex.ru

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Аннотация. Сточные воды кожевенной промышленности неоднородны по своей природе, содержат различные виды как органических, так и неорганических примесей. Присутствие среди них тяжелых металлов и сульфидов делает эти сточные воды более токсичными. Следовательно, необходимо обрабатывать их перед выпуском в окружающую среду. Традиционные методы, обычно используемые при очистке сточных вод кожевенных заводов, не способны за один раз удалить все виды веществ, присутствующих в сбросах. Поэтому крайне важны поиск и развитие инновационных экологически эффективных технологий. Натуральные смешанные сточные воды кожевенного завода очищались методом фильтрации-перколяции с использованием отходов агролесохозяйственного комплекса (скорлупы плодов баобаба). Исследование проводилось в лабораторных условиях с 200 г адсорбента, помещенного в колонку из стекла Рухе высотой 100 см и диаметром 4 см, через которую пропускали 200 мл образца сложных стоков кожевенного завода. Очищаемые сточные воды имели начальную концентрацию 2630 мг/л по БПК₅, 7000 мг/л по ХПК, 1650 мг/л по взвешенным веществам, 2 мг/л по сульфидам и 10 мг/л по общему хрому. Фильтрация-перколяция на порошке скорлупы плодов баобаба позволила достичь снижения БПК₅ на 86,70 %, ХПК – на 93,0 %, взвешенных веществ – на 94,47 %, сульфидов и хрома – на 100 %. Фиксация загрязнений на матрице фильтра (порошок из сырой скорлупы плодов баобаба) перспективна и представляет собой альтернативу использованию некоторых чрезвычайно дорогих фильтрующих материалов.

Ключевые слова: кожевенный завод, сточные воды, фильтрующий материал, фильтрация-перколяция, хром, БПК₅, ХПК

Для цитирования. Лассана Д., Саинова В.Н. Исследование технологии очистки сточных вод кожевенных предприятий методом фильтрации-перколяции на фильтрующем материале из порошка скорлупы плодов баобаба // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 2. С. 48–54. DOI: 10.14529/build240207

Original article

DOI: 10.14529/build240207

RESEARCH OF TECHNOLOGIES OF LEATHER PRODUCTION WASTEWATER TREATMENT BY FILTRATION-PERCOLATION METHOD WITH BAOBAB FRUIT SHELL POWDER

D. Lassana, lassanakarifo@gmail.com

V.N. Sainova, sainovav@yandex.ru

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract. Wastewater from the leather industry is heterogeneous in nature, containing various organic and inorganic impurities. The presence of heavy metals and sulfides makes these wastewater streams more toxic. Therefore,

© Лассана Д., Саинова В.Н., 2024.

it is necessary to treat them before discharging into the environment. Traditional methods commonly used for treating wastewater from leather factories are not capable of removing all types of substances present in the discharges in one go. Hence, it is crucially important to search for and develop innovative technologies that can be economically and environmentally effective. Natural mixed wastewater from a leather factory was treated using the filtration-percolation method with the use of waste from the agroforestry complex (baobab fruit shells). The study was conducted under laboratory conditions with 200 grams of adsorbent placed in a Pyrex glass column measuring 100 cm in length and 4 cm in diameter, through which 200 ml of a sample of complex leather factory effluent was passed. The untreated wastewater had initial concentrations of 2630 mg/l for BOD₅, 7000 mg/l for COD, 1650 mg/l for suspended solids, 2 mg/l for sulfides, and 10 mg/l for chromium. Filtration-percolation on baobab fruit shell powder achieved a reduction of 86.70% for BOD₅, 93.0% for COD, 94.47% for suspended solids, and 100% for sulfides and chromium. The retention of pollutants on the filter matrix (powder from raw baobab fruit shells) is promising and offers an alternative to the use of some extremely expensive filtering materials.

Keywords: leather factory wastewater, filtering material, filtration-percolation, chromium, BOD₅, COD

For citation. Lassana D., Sainova V.N. Research of technologies of leather production wastewater treatment by filtration-percolation method with baobab fruit shell powder. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(2):48–54. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240207

Введение

Вода – один из самых ценных природных ресурсов, ее жизненно важная роль в поддержании жизни на Земле неоспорима [1]. К сожалению, темпы урбанизации, коммерческой и горнодобывающей деятельности в сочетании с промышленным развитием в значительной степени способствовали загрязнению воды различными загрязнителями [2].

Дубильный сектор играет центральную роль в производстве шкур для многих секторов, таких как модная, автомобильная и обувная промышленность. Этот сектор ежедневно потребляет большое количество воды в ходе технологических процессов, образуя значительные объемы сточных вод, содержащих широкий спектр загрязняющих веществ, включая органические соединения, тяжелые металлы, красители и химикаты, используемые в процессе кожевенного производства.

Эти сточные воды, если их не очистить должным образом, могут оказать пагубное воздействие на водные экосистемы, ресурсы пресной воды и здоровье человека. Поэтому глубокая очистка сточных вод кожевенных заводов является серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья.

Из-за наличия в этих водах тяжелых металлов (хрома) они относятся к наиболее загрязненным категориям промышленных сточных вод. Тяжелые металлы не поддаются биоразложению, но они биоаккумулируются, а также наносят вред водным животным и окружающей среде [3, 4]. Исследования токсичности хрома показали, что при очень низких концентрациях, превышающих допустимые уровни, шестивалентный хром оказывает вредное воздействие на экосистему и человека. Он опасен для здоровья людей, так как является источником канцерогенных и мутагенных рисков [5, 6].

Загрязнение воды тяжелыми металлами может вызвать уничтожение водной флоры и фауны и снижение ее репродуктивного потенциала [7]. Поэтому удаление ионов хрома и других токсичных

загрязнителей из сточных вод перед их сбросом в окружающую среду имеет важное значение для промышленников этого сектора. Однако существует несколько традиционных методов удаления тяжелых металлов (хрома) и органических загрязнителей, но большинство из них не обеспечивает полного удаления этих загрязнителей. Кроме того, они характеризуются высокими эксплуатационными затратами, большим расходом реагентов, энергии и образованием вторичных загрязнителей [8, 9].

В контексте поиска инновационных решений по очистке сточных вод кожевенных заводов использование материалов биологического происхождения в качестве адсорбентов вызывает все больший интерес. Материалы природного происхождения имеют определенные преимущества, в частности, их доступность и низкая цена [10]. Оболочка плодов баобаба демонстрирует многообещающие свойства в качестве биоадсорбентов.

В Мали, точнее в районе Кайес и Сегу, баобабы встречаются в изобилии. Они играют важную экономическую роль, производя около 100 000 тонн плодов и листьев баобаба в год. Целлюлозу баобаба перерабатывают в порошок и масла, экспортируемые для пищевой промышленности [11]. На местном уровне плоды баобаба используются недостаточно и в основном потребляются из-за мякоти, которая составляет менее 10 % от общей массы плода [12, 13]. Однако при потреблении плодов баобаба образуется значительное количество скорлупы в качестве отходов, которые необходимо утилизировать.

Для решения проблемы обращения с потенциально утилизируемыми твердыми отходами были проведены исследования по использованию скорлупы плодов баобаба в качестве фильтрующего материала для очистки сточных вод кожевенных заводов.

Скорлупа плодов баобаба имеет некоторую ценность, а именно: золу плодов шелухи используют для изготовления мыла в связи с наличием калия. Учитывая наличие в скорлупе плодов бао-

баба некоторых соединений, в том числе полисахаридов и фенольных веществ, его стали использовать в процессах очистки сточных вод. Некоторые авторы изучали использование древесного угля, изготовленного из скорлупы плодов баобаба, для удаления метиленового синего из водного раствора (Эдуард Мбарик Ндиай и др., 2022) [11].

Другие исследователи использовали скорлупу плодов баобаба для удаления тяжелых металлов из водных растворов (Jane M. Misihairabgwi et al. (2013); F. Chigondo et al. (2013);) для удаления фенолов (Radhia Nedjai et al. (2021)). Адсорбционная способность органических загрязнений изучалась Кодзвой и др. (2015). Был сделан вывод, что активированный уголь из скорлупы плодов баобаба способен удалять органические загрязнения из воды [14]. Все эти исследования проводились в псевдооживленном слое с химически или физически модифицированным адсорбентом.

Основная цель данного исследования – оценить эффективность скорлупы плодов баобаба в качестве фильтрующего материала (адсорбента) для очистки сточных вод кожевенных заводов. Этот подход, с одной стороны, способствует повышению ценности возобновляемых и распространенных материалов, таких как скорлупа плодов баобаба, а с другой стороны, он предлагает перспективный способ для глубокой очистки сточных вод кожевенных заводов, богатых как органическими, так и неорганическими загрязнениями.

Материалы и методы

Приготовление адсорбента из скорлупы плодов баобаба. После сезона сбора плодов баобаба с марта по май 2023 года в деревне Уалия, расположенной в регионе Кайес в Мали, скорлупа, была отобрана, а затем очищена, чтобы удалить волоски, которые были на их поверхности.

Сначала очищенную скорлупу толкли в ступке, а затем отправляли на мельницу, чтобы получить очень мелкие частицы. Затем их осторожно сушили на солнце при температуре 40 °С в течение нескольких дней. После сушки их превращали в порошок в механической мельнице. Порошок последовательно просеивали через сита диаметром 1, 0,50, 0,25 и 0,125 мм. Для проведения исследования были отобраны семена диаметром 0,125 мм.

Адсорбент, приготовленный в Мали, был аккуратно помещен в коробку и затем доставлен в Российскую Федерацию (Астрахань), где проводились экспериментальные исследования по очистке сточных вод.

Отбор проб и характеристика сточных вод. Сточные воды, с которыми проводили исследования, были собраны на кожевенном заводе после стадий известкования и хромового дубления. Обе пробы были отобраны в один и тот же день и в одно и то же время в полиэтиленовые бутылки. Затем их помещали в холодильник для обеспече-

ния безопасной транспортировки. По прибытии в пункт назначения бутылки хранились в холодильнике при температуре 4 °С до дня проведения эксперимента. При проведении эксперимента пробы сточных вод после процессов известкования и дубления смешивали поровну до получения гомогенизированной пробы.

По окончании эксперимента две пробы (исходная и очищенная сточная вода) были доставлены в Астраханскую агрохимическую лабораторию для определения физико-химических показателей с целью оценки эффективности исследуемой технологии. Следует отметить, что определение концентрации ионов хрома и БПК₅ проводилось в лаборатории АГТУ.

Протокол эксперимента. Фильтрационная колонка, используемая в этом исследовании, идентична той, которую использовал Эль Каррач Карима (2020) [15]. В колонку помещали 200 г адсорбента (порошок скорлупы плодов баобаба). Эксперимент проводили с несколькими повторностями в течение двух месяцев.

По окончании всех экспериментов нам удалось собрать фильтрат. Фильтрат и необработанный образец были проанализированы для оценки эффективности очистки.

Результаты и их обсуждение

Физико-химические характеристики сырого гомогенизированного образца. Физико-химические характеристики сточной воды определяли согласно стандартным методикам. Результаты анализов показаны в табл. 1.

Результаты показывают, что гомогенизированные сточные воды кожевенных заводов содержат разнообразный спектр загрязнений. Большинство параметров превышает нормативы сброса, поэтому необходимо очищать эту воду перед сбросом. Соотношение ХПК/БПК₅ = 2,66, что доказывает, что данная вода очень трудно поддается очистке биологическими методами, поэтому необходима физико-химическая очистка. Концентрация хрома значительно превышает существующие нормы, поэтому его присутствие в природе может нанести ущерб окружающей среде и здоровью человека.

Результаты эксперимента

После обработки полученный фильтрат анализировали по тем же показателям, что и неочищенную воду. Результаты экспериментальных исследований процесса фильтрационно-перколяционной очистки сточных вод кожевенных предприятий представлены в табл. 2.

Кинетика рН. После фильтрации было отмечено увеличение рН с 9 до 11. Вероятно, это увеличение объясняется присутствием щелочей в порошке из оболочек плодов баобаба. Концентрация ионов щелочных минералов (кальций, магний и калий) в скорлупе могла увеличиться во время обработки.

Таблица 1

Физико-химические характеристики сточных вод кожевенного завода

Наименование определяемого показателя	Единица измерения	Фактическое значение	Метод испытания
Водородный показатель рН		11	ПНД Ф 14.1:2:3.1-95 (2017)
ХПК	мг/дм ³	7000	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 (2012)
БПК ₅	мг/дм ³	2630	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97 (2004)
Взвешенные вещества	мг/дм ³	1650	ПНД Ф 14.1:2:3.110-97 (2016)
Ион аммония	мг/дм ³	117	М101
Нитрат-ион	мг/дм ³	6,20	М101
Нитрит-ион	мг/дм ³	88	М101
Фосфат-ион	мг/дм ³	< 0,1	М101
Сульфат-ион	мг/дм ³	6900	М101
Общий хром	мг/дм ³	10	ПНД Ф 14.1:2:4.214-06
Сероводород и сульфиды	мг/дм ³	< 2	ПНД Ф 14.1:2.109-97 (2004)

Таблица 2

Показатели очистки сточных вод кожевенного завода фильтрованием на органическом адсорбенте

Наименование определяемого показателя	Единица измерения	Исходные воды	Очищенные воды
Водородный показатель рН		9	11
БПК	мг/дм ³	2630	350
ХПК	мг/дм ³	7000	450
Взвешенные вещества	мг/дм ³	1630	90
Сероводород и сульфиды	мг/дм ³	< 2	0
Общий хром	мг/дм ³	10	0

Снижение органических веществ (по ХПК и БПК₅). Очищенные сточные воды демонстрируют значительное снижение органических загрязнений по ХПК – до 93 %. Фильтрация-перколяция позволила существенно снизить органические загрязнения по БПК₅ до 86,70 %. Щелочной рН водного раствора способствует адсорбция органических веществ за счет образования органоминеральных комплексов [16]. Кроме того, показатели очистки, полученные в этом исследовании, выше, чем полученные А. Bellarbi et al. (2018). Эти авторы получили 87 и 76 % соответственно по ХПК и БПК₅, они использовали смесь песка и активированный уголь электростанции для очистки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности.

Лучшие результаты (78 % по ХПК и 86 % по БПК₅) показали исследования, проведенные Палой и Токой (2002). Они использовали активированный уголь для фильтрации сточных вод кожевенных заводов. Таким образом, скорлупа плодов баобаба обладает меньшей очищающей способностью от органических загрязнений по сравнению с активированным углем.

Восстановление органических веществ путем адсорбции достигается за счет двух механизмов [17]. К ним относятся:

- 1) химическая адсорбция, при которой устанавливается обмен ионов на поверхности;
- 2) физическая адсорбция, при которой неполярные вещества могут поглощаться микропорами

адсорбента или адсорбироваться на поверхности адсорбента.

Уменьшение взвешенных веществ. В процессе исследований отмечено явное снижение содержания взвешенных веществ (до 94,47 %). Это объясняется улавливанием взвешенных частиц в сыпучей массе. Явления адсорбции действуют таким образом, чтобы нейтрализовать их заряды, способствовать их агломерации и обеспечить их декантацию. Таким образом, взвешенные вещества будут улавливаться зернистой массой фильтра и образовывать агрегаты за счет флокуляции, что и объясняет их максимальное снижение [18]. С другой стороны, размер частиц также играет роль в удержании мелких частиц. Чем мельче зерна, тем больше сокращается пространство между ними, что также способствует удержанию взвешенных веществ.

Сокращение сульфидов. Анализ фильтрата показывает полное восстановление сульфидов с исходной концентрацией менее 2 мг/л. Начальная концентрация сульфидов уже соответствует нормативам.

Восстановление ионов хрома. Зафиксировано общее снижение ионов хрома при начальной концентрации 10 мг/л, что можно объяснить наличием нескольких центров адсорбции благодаря большой массе адсорбента в колонке (200 г), имеющего потенциал для фиксации ионов хрома благодаря богатой клетчатке и другим органическим соединениям. Процесс адсорбции тяжелых металлов интенсифицируется с увеличением дозы

адсорбента. Чем больше масса адсорбента, тем больше центров адсорбции. Кроме того, размер частиц адсорбента играет важную роль в процессе адсорбции загрязняющих веществ, поскольку последние могут поглощаться микропорами или адсорбироваться на меньшей поверхности.

Сырая биомасса оболочки плодов баобаба содержит такие функциональные группы, как: карбонильная и гидроксильная группа [19]. Эти два фактора могут способствовать полярности поверхности адсорбента, тем самым улучшая ее сродство к заряженным ионам металлов. Таким образом, наличие карбонильных и гидроксильных групп в адсорбенте облегчает адсорбцию ионов металлов за счет создания дополнительных мест связывания и модуляции свойств поверхности адсорбента. Полное удаление ионов хрома можно объяснить также химическими характеристиками биомассы использованной скорлупы плодов баобаба, а также временем контакта хрома с адсорбентом.

Заключение

Результаты настоящего исследования продемонстрировали эффективность технологии, применяемой при очистке композиционной кожевен-

ной воды с использованием биологического материала (скорлупы плодов баобаба) в качестве фильтрующего носителя. Эффективность очистки процесса составляет 86, 70 %, 93 %, 94,47 % и 100 % соответственно для БПК₅, ХПК, материалов, сульфидов и хрома.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что фильтрационно-перколяционная очистка стоков кожевенных предприятий оказалась экономически и экологически эффективной. Использование порошка, полученного из сырой скорлупы плодов баобаба, в качестве фильтрующего материала при очистке сточных вод кожевенных заводов предлагает многообещающий подход, который сочетает в себе эффективность процесса фильтрации и повышение ценности отходов агро- и лесного хозяйства, тем самым открывая путь к более экологически безопасным методам в кожевенной промышленности.

Тем не менее, дальнейшие исследования будут необходимы для совершенствования технологии и ее внедрения в более широком масштабе, что будет способствовать комплексному и рациональному управлению водными ресурсами и устойчивости кожевенной промышленности.

Список литературы

1. Heavy metal removal from wastewaters by agricultural waste low-cost adsorbents: hindrances of adsorption technology to the large scale industrial application – a review / A. Habineza, J. Zhai, Th. Ntakirutimana, F. Qiu, X. Li, Q. Wang // *Desalination and Water Treatment*. 2017. Vol. 78. P. 192–214. DOI: 10.5004/dwt.2017.20581.
2. Varma G.V., Singh Dr.R.K., Sahu V. A comparative study on the removal of heavy metals by adsorption using fly ash and sludge: A review // *Int. J. Appl. Innov. Eng. Manage.* 2013. Vol. 2, issue 7. P. 45–56.
3. Ojedokun A.T., Bello O.S. Sequestering heavy metals from wastewater using cow dung // *Water Resour. Ind.* 2016. Vol. 13. P. 7–13. DOI: 10.1016/j.wri.2016.02.002
4. Uddin M. K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade // *Chem. Eng. J.* 2017. Vol. 308. P. 438–462. DOI: 10.1016/j.cej.2016.09.029
5. Igwe J. C., Abia A.A. A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents // *Afr J Biotechnol.* 2006. № 11. P. 1167–1179. DOI: 10.4314/ajb.v5i11.43005
6. Park S.J., Jung W.Y. Removal of chromium by activated carbon fibers plated with copper metal // *Carbon Sci.* 2001. № 1. P. 15–21.
7. Sankpal S.T., Naikwade P.V. Heavy metal concentration in effluent discharge of pharmaceutical industries // *Science research reporter.* 2012. № 1. P. 88–90.
8. Solvent extraction of scandium(III), yttrium(III), lanthanum(III) and gadolinium(III) using Cyanex 302 in heptane from hydrochloric acid solutions/ D.Wu, Ch. Niu, D. Li, B. Yan // *Journal of Alloys and Compounds.* 2004. № 1-2. P. 442–446. DOI: 10.1016/j.jallcom.2003.11.058
9. Eccles H. Treatment of metal-contaminated wastes: why select a biological process // *Trends in biotechnology.* 1999. Vol. 17, Issue 12. P. 462–465. DOI: 10.1016/S0167-7799(99)01381-5
10. Utilisation d'un lit fixe d'origine naturelle pour le traitement biologique d'effluents laitiers / A. Aitchekh, N. Boutaleb, B. Bahlaouan, M. Bennani, S. Lazar, S. El Antri // *Déchets Sciences et Techniques.* 2018. № 78. DOI: 10.4267/dechets-sciences-techniques.3881
11. Valorization of Natural Residue into Activated Carbon: Example of the Shells of the African Baobab Fruit (*Adansonia digitata*) L. / Ed. M. Ndiaye, K. Ba, A. Sow, A. Diop et al. // *Journal of Materials Science and Engineering A.* 2022. № 4-6. P. 41–54. DOI: 10.17265/2161-6213/2022.4-6.001
12. Sow A. Valorisation des graines de baobab (*Adansonia digitata* L): Influence des procédés de transformation sur la qualité de l'huile de baobab. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 2019. 230 p.

13. Caractérisation du fruit du baobab et étude de sa transformation en nectar / M.Cisse, M.Sakho, M. Dornier, C.G. Mar, R. Reynes, O. Sock // *Fruits*. 2009. № 64(01). P. 19–34. DOI: 10.1051/fruits/2008052
14. Activated carbon from baobab fruit shells through domestic processes / J.J. Kodzwa, C. Danha, L. Mangori, A. Chemura // *Zimbabwe Journal of Technological Sciences. Special*. 2015. №2. P.19-28.
15. El Karrach Karima. Contribution au traitement des effluents de tannerie par voies biologique et physico-chimique: Optimisation, modélisation et innovation. Thèse de Doctorat, Biochimie et Biotechnologie. Fès, 2020. 221 p.
16. Ridha A. Contribution Au Développement Des Techniques Economiques D'élimination Du Cuivre, Du Plomb Et De L'argent, Contenus Dans des eaux usées industrielles. Thèse de Doctorat, Chimie analytique. Maroc, 1998.
17. Comparison Study of Ammonia and COD Adsorption on Zeolite, Activated Carbon and Composite Materials in Landfill Leachate Treatment / A.A. Halim, H.A. Aziz, M.A.M. Johari, K.S. Ariffin // *Desalination*. 2010. № 262(1-3). P. 31–35. DOI: 10.1016/j.desal.2010.05.036
18. Bellarbi A., Graich A., Khaidar M., Laamyem A. et al. Traitement des rejets liquides d'une industrie d'emballage de carton par infiltration percolation sur une colonne de mâchefers et de sable // *Revue de L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances*. 2018. Vol. 416. P. 79–85.
19. Vunain E., Kenneth D., Biswick T. Synthesis and characterization of low-cost activated carbon prepared from Malawian baobab fruit shells by H₃PO₄ activation for removal of Cu(II) ions: equilibrium and kinetics studies // *Applied Water Science*. 2017. Vol. 7. P. 4301–4319. DOI: 10.1007/s13201-017-0573-x

References

1. Habineza A., Zhai J., Ntakirutimana Th., Qiu F., Li X., Wang Q. Heavy metal removal from wastewaters by agricultural waste low-cost adsorbents: hindrances of adsorption technology to the large scale industrial application – a review. *Desalination and Water Treatment*. 2017;78:192–214. DOI: 10.5004/dwt.2017.20581.
2. Varma G.V., Singh Dr.R.K., Sahu V. A comparative study on the removal of heavy metals by adsorption using fly ash and sludge: A review. *Int. J. Appl. Innov. Eng. Manage.* 2013;2(7):45–56.
3. Ojedokun A.T., Bello O.S. Sequestering heavy metals from wastewater using cow dung. *Water Resour. Ind.* 2016;13:7–13. DOI: 10.1016/j.wri.2016.02.002
4. Uddin M. K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chem. Eng. J.* 2017;308:438–462. DOI: 10.1016/j.cej.2016.09.029
5. Igwe J.C., Abia A.A. A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. *Afr J Biotechnol.* 2006;11:1167–1179. DOI: 10.4314/ajb.v5i11.43005
6. Park S.J., Jung W.Y. Removal of chromium by activated carbon fibers plated with copper metal. *Carbon Sci.* 2001;1:15–21.
7. Sankpal S.T., Naikwade P.V. Heavy metal concentration in effluent discharge of pharmaceutical industries. *Science research reporter*. 2012;1:88–90.
8. Wu D., Niu Ch., Li D., Yan B. Solvent extraction of scandium(III), yttrium(III), lanthanum(III) and gadolinium(III) using Cyanex 302 in heptane from hydrochloric acid solutions. *Journal of Alloys and Compounds*. 2004;1-2:442–446. DOI: 10.1016/j.jallcom.2003.11.058
9. Eccles H. Treatment of metal-contaminated wastes: why select a biological process. *Trends in biotechnology*. 1999;17(12):462–465. DOI: 10.1016/S0167-7799(99)01381-5
10. Aitcheikh A., Boutaleb N., Bahlaouan B., Bennani M., Lazar S., El Antri S. Utilisation d'un lit fixe d'origine naturelle pour le traitement biologique d'effluents laitiers. *Déchets Sciences et Techniques*. 2018;78. DOI: 10.4267/dechets-sciences-techniques.3881
11. Ndiaye Ed. M., Ba K., Sow A., Diop A. et al. Valorization of Natural Residue into Activated Carbon: Example of the Shells of the African Baobab Fruit (*Adansonia digitata*) L. *Journal of Materials Science and Engineering A*. 2022;4-6:41–54. DOI: 10.17265/2161-6213/2022.4-6.001
12. Sow A. Valorisation des graines de baobab (*Adansonia digitata* L): Influence des procédés de transformation sur la qualité de l'huile de baobab. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 2019. 230 p.
13. Cisse M., Sakho M., Dornier M., Mar C.G., Reynes R., Sock O. Caractérisation du fruit du baobab et étude de sa transformation en nectar. *Fruits*. 2009;64(01):19–34. DOI: 10.1051/fruits/2008052
14. Kodzwa J.J., Danha C., Mangori L., Chemura A. Activated carbon from baobab fruit shells through domestic processes. *Zimbabwe Journal of Technological Sciences. Special*. 2015;2:19–28.
15. El Karrach Karima. Contribution au traitement des effluents de tannerie par voies biologique et physico-chimique: Optimisation, modélisation et innovation. Thèse de Doctorat, Biochimie et Biotechnologie. Fès, 2020. 221 p.
16. Ridha A. Contribution Au Développement Des Techniques Economiques D'élimination Du Cuivre, Du Plomb Et De L'argent, Contenus Dans des eaux usées industrielles. Thèse de Doctorat, Chimie analytique. Maroc, 1998.

17. Halim A.A., Aziz H.A., Johari M.A.M., Ariffin K.S. Comparison Study of Ammonia and COD Adsorption on Zeolite, Activated Carbon and Composite Materials in Landfill Leachate Treatment. *Desalination*. 2010;262(1-3):31–35. DOI: 10.1016/j.desal.2010.05.036

18. Bellarbi A., Graich A., Khaidar M., Laamyem A. et al. Traitement des rejets liquides d'une industrie d'emballage de carton par infiltration percolation sur une colonne de mâchefers et de sable. *Revue de L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances*. 2018;416:79–85.

19. Vunain E., Kenneth D., Biswick T. Synthesis and characterization of low-cost activated carbon prepared from Malawian baobab fruit shells by H_3PO_4 activation for removal of Cu(II) ions: equilibrium and kinetics studies. *Applied Water Science*. 2017;7:4301–4319. DOI: 10.1007/s13201-017-0573-x

Информация об авторах:

Лассана Диоп, аспирант, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; lassanakarifo@gmail.com

Сайнова Виктория Николаевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; sainovav@yandex.ru

Information about the authors:

Diop Lassana, Post-graduate student, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; lassanakarifo@gmail.com

Victoriya N. Sainova, Candidate of Sciences Engineering, Associate Professor, Head of the Department of “Life Safety and Environmental Engineering”, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; sainovav@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.03.2024, принята к публикации 26.03.2024.

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 26.03.2024.