

Научно-исследовательский журнал «*Chemical Bulletin*»

<https://cb-journal.ru>

2024, Том 7, № 4 / 2024, Vol. 7, Iss. 4 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 661.183.2

DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-118-130

Удаление вредных газов из потока воздуха с использованием углеродных сорбентов на основе растительных отходов Республики Союз Мьянмы

¹ Со Вин Мьинт,

¹ Зо Е Найнг *,

¹ Курикин А.А.,

¹ Нистратов А.В.,

¹ Клушин В.Н.,

¹ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

* Ответственный автор E-mail: sawwinmyint86@gmail.com

Аннотация: цели: в данной работе оценили способность адсорбента парогазового активированного угля, полученного из скорлупы орехов Макадамии одного из предприятий Мьянмы, в качестве агента технологии рекуперации на примере извлечения паров н-бутанола из их смесей с воздухом (ПВС).

Методы. Объектом исследования служили предварительно высушенные косточки орехи макадамии, которые подвергались размельчению, термообработке при 650-700 °С в течение 60 минут в пиролизе с последующей водяным паром активировали до 900°С подъёмом температуры со скоростью 15 °С/мин без термической выдержки, удельный расход водяного пара составлял 5 г на 1 г получаемого производимого активного угля. Полученных сорбентов анализировали по свойствам сорбции паром C₆H₆, CCl₄ и H₂O. Определяли их суммарным объём их пористую структуру оценивали по объёмам пор различных размеров, поглощению йода и метиленового голубого из водных растворов. Охарактеризовали их способности удаления вредных газов при адсорбции н-бутанола в разных относительной давлении и изучали их кинетики адсорбции и изотермы.

Результаты. Показано, что значения коэффициентов, полученные от кинетические уравнение $a = A(1 - e^{-B\tau})$ полученные активные угли предварительно выполняется в свой порах бутанолом. По показание величины A и B, данные сорбенты активно сорбируются вредных газов из паровоздушной смеси. Для сравнения в статье представлены качественные показатели активных углей марок СКО (скорлупа кокосового ореха) и СКС (скорлупа косточки сливы), изготовленных из ряда сельскохозяйственных отходов Мьянмы.

Выводы. исследования позволяют констатировать достаточно удовлетворительные поглощительные свойства полученного нового активного угля из скорлупы ореха макадамии, в изученном процессе извлечения паров н-бутанола из их смесей с воздухом, что указывает на вероятную

конкурентоспособность этого адсорбента в решении задач очистки от паров органических веществ выбросов высоких концентраций при условии организации его производства в условиях Мьянмы.

Ключевые слова: растительное сырьё, карбонизация, активации, парогазовой активации, сорбционные свойства

Для цитирования: Со Вин Мьинт, Зо Е Найнг, Курикин А.А., Нистратов А.В., Клушин В.Н. Удаление вредных газов из потока воздуха с использованием углеродных сорбентов на основе растительных отходов Республики Союз Мьянмы // Chemical Bulletin. 2024. Том 7. № 4. С. 118 – 130. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-118-130

Поступила в редакцию: 14 июня 2024 г.; Одобрена после рецензирования: 22 августа 2024 г.; Принята к публикации: 12 декабря 2024 г.

Removal of harmful gases from the air stream using carbon sorbents based on plant waste of the Republic of the Union of Myanmar

¹ Saw Win Myint,

¹ Zaw Ye Naing *,

¹ Kurikin A.A.,

¹ Nistratov A.V.,

¹ Klushin V.N.,

¹ D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,

* Corresponding author E-mail: sawwinmyint86@gmail.com

Abstract: objectives: in this work, we evaluated the ability of the adsorbent of gas-vapor activated carbon obtained from the shells of macadamia nuts of one of the enterprises in Myanmar as an agent of the recovery technology using the example of the extraction of n-butanol vapors from their mixtures with air (AVM).

Methods. The object of the study was pre-dried macadamia nuts, which were crushed, heat treated at 650-700°C for 60 minutes in pyrolysis, followed by water vapor at a temperature rise of 15 °C/min without thermal exposure, the specific consumption of water vapor was 5 g per 1 g of the resulting activated carbon. The obtained sorbents were analyzed for the sorption properties of C₆H₆, CCL₄ and H₂O vapour. Their total volume was determined, their porous structure was estimated by the volume of pores of various sizes, the absorption of iodine and methylene blue from aqueous solutions. Their ability to remove harmful gases during adsorption of n-butanol at different relative pressures was characterized and their adsorption kinetics and isotherms were studied.

Results. It is shown that the values of the coefficients obtained from the kinetic equation $a = A(1-e^{-B \cdot \tau})$ of the obtained active carbons are preliminarily performed in their pores with butanol. According to the values of A and

B, these sorbents are actively absorbed by harmful gases from the vapor-air mixture. For comparison, the article presents the quality indicators of active carbons of the CS (coconut shell) and PS (plum seed) brand made from a number of agricultural wastes of Myanmar.

Conclusions. *The studies allow us to state quite satisfactory absorption properties of the obtained new activated carbon from the shell of macadamia nuts, in the studied process of extracting n-butanol vapors from their mixtures with air, which indicates the probable competitiveness of this adsorbent in solving the problems of purification from vapors of organic substances of emissions of high concentrations, provided that its production is organized in the conditions of Myanmar.*

Keywords: *vegetable raw materials, carbonization, Activation, steam-gas activation, Sorption properties*

For citation: Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Kurikin A.A., Nistratov A.V., Klushin V.N. Removal of harmful gases from the air stream using carbon sorbents based on plant waste of the Republic of the Union of Myanmar. Chemical Bulletin. 2024. 7 (4). P. 118 – 130. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-4-118-130

The article was submitted: June 14, 2024; Approved after reviewing: August 22, 2024; Accepted for publication: December 12, 2024.

Введение

Макадамия – род тропических растений семейства Протеиновые. Растения представляют собой плодоносящие иногда круглогодично, вечнозелёные и быстро растущие кустарники или деревья, достигающие 10-15 м в высоту [1]. Плоды макадамии – твёрдые и весьма прочные костянки шарообразной формы, обычно 1,5-2 см в диаметре с 1-2 ядрами (семенами) внутри, плохо отделяемыми от скорлупы, являются одними из самых редких древесных орехов в мире [2, 3]. Исключительно твёрдая скорлупа покрыта кожистой двустворчатой оболочкой зеленовато-коричневого цвета. Орехи, из-за оригинального вкуса их ядер, повсеместно вызывают, несмотря на достаточно высокую стоимость, все более растущий интерес [4]. В 2019 году мировое производство ядер орехов макадамии составило 59 тыс. т или менее 8 % от мякоти других орехов, таких как миндаль, грецкий орех, кешью,

фисташки и т.п. Тем не менее, в период с 2009 по 2019 год производство орехов макадамии выросло на 57%, быстрее, чем любого другого древесного ореха. 67% продукции приходится на Австралию, Южную Африку и Кению, но другие страны, такие как Китай и Вьетнам, также увеличивают их культивацию [5]. В Мьянме [6] макадамии культивируют уже более десяти лет, причём основным продуктом является не ядро, а орех в скорлупе (ОСМ). По оценкам, к 2019 году Мьянма производила их 300-500 т/год или менее одного процента мирового производства. 90 % продукции экспортируется в Китай через штат Шан, в то время как 10 % используют для производства около 15 т/год ядра макадамии и небольших объёмов масла, которые потребляют внутри страны [7]. Ядра орехов макадамии, являясь хорошими источниками кальция, фосфора, железа и витамина В, содержат 73 % жира других [8]. Их часто обжаривают и солят, а пекари и шоколадье

используют в кондитерских изделиях и шоколаде. Извлечение ядер сопровождается образованием отходов в виде скорлупы.

Известно, что качество углеродных адсорбентов в значительной степени зависит от используемого сырья [9]. В этой связи ниже представлена информация об исследованиях лабораторного уровня, ориентированных на получение названных адсорбентов из указанных материалов, результаты которого применительно к решению задач улавливания паров летучих органических растворителей (ЛОР) из их паровоздушных смесей (на примере паров н-бутанола) [10] сопоставлены с таковыми для других национальных отходов плотного растительного сырья в виде скорлупы кокосовых орехов (СКО) и косточек сливы (СКС), на базе которых получены активные угли достаточно хорошего качества [11-13]. В процессах очистки газов, в частности, активированный уголь используется для адсорбции их вредных компонентов, которые образуются, например, при сгорании угля или нефти [14]. Наличие в этих адсорбентах обычно развивающихся объёмов микропор и удельной поверхности, наряду со способностью к регенерации и циклическому использованию, химической инертностью и относительной безопасностью, которые являются

очень нужными и полезными свойствами, обуславливает их технологичность и широкий спектр применения [15]. В данной работе мы оценили способность адсорбента парогазового активированного угля, полученного из скорлупы орехов Макадамии одного из предприятий Мьянмы, в качестве агента технологии рекуперации на примере извлечения паров н-бутанола из их смесей с воздухом (ПВС).

Материалы и методы исследований

В работе использован представительный образец скорлупы ореха макадамии (СОМ), отобранный на ферме по выращиванию этих орехов в деревне Пве-Гаук посёлка Пьин-Оо-Лвин округа Мандалай Республики Союз Мьянма [16]. С названной целью скорлупу подвергли грубой очистке водопроводной водой с целью отделения песка, а затем несколько последовательным промывкам дистиллированной водой для удаления грязи и тонких фрагментов орехов (пыли, дисперсной мелочи). После этого очищенное сырьё сушили на солнце в течение 7 дней для устранения внешней и, частично, адсорбированной влаги, а затем - в печи при 110 °С в течение 5 часов, обеспечивая получение прекурсора постоянной массы, внешний вид которого характеризует фото а рис. 1.



(а)



(б)

Рис. 1. Ансамбль фрагментов подготовленного сырья.

Fig. 1. Ensemble of fragments of prepared raw materials.

Полученный прекурсор механически дробили и посредством сита из продукта измельчения выделяли фракцию частиц размером 2-5 мм, наиболее подходящую для хорошего распределения тепла и образования пор в процессах пиролиза и активации, помещая её на хранение в герметичную тару (фото б рис. 1).

Исследование рациональных условий пиролиза подготовленного сырья проведено по итогам предварительных экспериментов при интенсивности нагревания 10 °С/мин, конечной температуры 700 °С и 60-минутной длительности изотермиче-

ской выдержки при ней обрабатываемого материала. Активация целевого продукта пиролиза выполнена при подъёме температуры со скоростью 15 °С/мин до 900 °С без термической выдержки, удельный расход водяного пара составлял 5 г на 1 г получаемого производимого активного угля. Выход и структурно-адсорбционные показатели полученных карбонизата и активного угля на основе скорлупы орехов Макадамии и названных выше углеродных адсорбентов сопоставлены в табл. 1 [17].

Таблица 1

Некоторые оценённые характеристики карбонизатов (К) и активных углей (АУ), полученных в рациональных условиях переработки плотных растительных отходов Мьянмы.

Table 1

Some estimated characteristics of carbonates (C) and active carbons (AC) obtained under rational conditions of processing dense plant waste of Myanmar.

Адсорбент	Выход от сырья, % масс.	I, мг/г	МГ, мг/г	V _Σ , см ³ /г	Vs (см ³ /г) по парам:		
					C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O
СКО (К)	25.3	403	53	0.32	0.16	0.03	0.15
СКО (АУ)	15.2	620	281	0.8	0.37	0.24	0.36
СКС (К)	31.0	108	40	0.56	0.07	0.11	0.07
СКС (АУ)	25.3	868	152	0.92	0.37	0.34	0.19
СОМ (К)	55.3	864	230	0.56	0.02	0.03	0.19
СОМ (АУ)	25.5	1183	269	1.23	0.46	0.37	0.47

С целью сопоставительной оценки целесообразности применения активного угля, полученного из СОМ, для извлечения паров летучих органических растворителей из их ПВС в практически идентичных условиях изучены кинетика и равновесие этих процессов на примерах использования паров н-бутанола и охарактеризованных активных углей лабораторного изготовления.

Результаты и обсуждения

Как подчёркнуто в работе [18], даже при близких значениях показателей состава, технических характеристик и условий переработки сырья в виде однотипных отходов географически различных мест образования выход и индивидуальные свойства полученных из них углеродных адсорбентов далеко не всегда соответствуют лучшим их образ-

цам. Это обстоятельство подтверждают и охарактеризованные ниже экспериментальные данные. Тем не менее, с разной, а в ряде случаев и с высокой эффективностью с их применением можно решать широкий спектр задач очистки от органических примесей промышленных выбросов и

сбросов [19, 20]. Сканирующая электронная микроскопия сырья проведена на различных срезах внешне непористой половины скорлупы плодового зерна (семени) СОМ при увеличениях от X 50 до X 15000. На рис. 2 представлена одна из полученных фотографий.

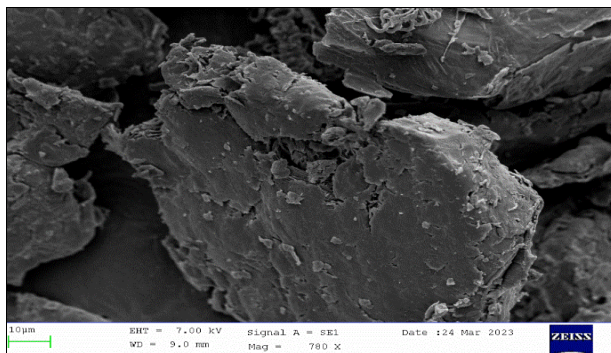


Рис. 2. Поперечный срез фрагмента СОМ (увеличение X 780).

Fig. 2. Cross-section of a fragment of the COM (magnification X 780).

Термический анализ порошка СОМ (навеска ~ 6 мг, диаметр частиц до 1 мм) выполнен с привлечением прибора TG/DTA 7300 в атмосферах воздуха (нижняя кривая рис. 3) и баллонного азота

чистотой 99,8 % с удельным расходом 50 мл/мин (верхняя кривая рис. 3) при равномерном нагревании образцов с интенсивностью 15 °С/мин от комнатной температуры до 800 °С.

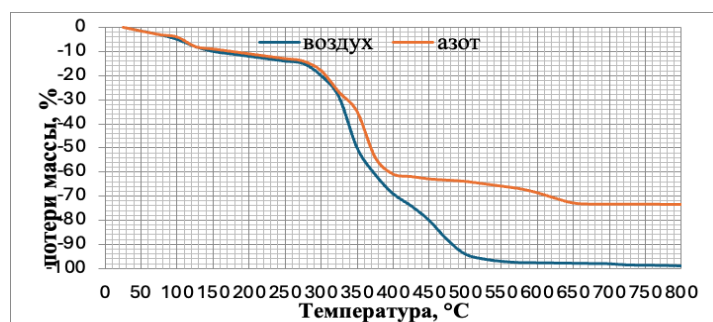


Рис. 3. Термогравиметрические кривые порошка СОМ в воздушной и азотной атмосферах.

Fig. 3. Thermogravimetric curves of SOM powder in air and nitrogen atmospheres.

Сопоставление кривых рис. 3, количественно охарактеризованных для названных атмосфер в табл. 2, свидетельствует о существенных различиях в термическом поведении масс образца, представленного в основном оригинальной совокупностью гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина, ука-

зывая на высокую негативную значимость, особенно при повышенных температурах, случайных поступлений в пиролитический реактор атмосферного воздуха и на целесообразность изучения пироллиза сырья в температурном интервале выше 450 °С.

Таблица 2

Примерные значения потерь массы образцом COM в зависимости от температуры и атмосферы анализа.

Table 2

Approximate values of mass loss of a COM sample depending on the temperature and atmosphere of analysis.

Атмосфера в печи прибора	Деструкция образца (% масс.) при температуре (°C):								
	25	100	200	300	400	500	600	700	800
Воздух	0	4.1	10.2	19,8	69,5	94,5	97,5	98,3	98,9
Азот	0	3.9	9.5	18.7	59.9	62.3	68.7	73.2	73.5

Кинетические кривые адсорбции паров н-бутанола из его ПВС полученным в работе активным углём из COM (а) сопоставлены на рис.

2 с аналогичными для активных углей лабораторного изготовления СКО (б), СКС (в).

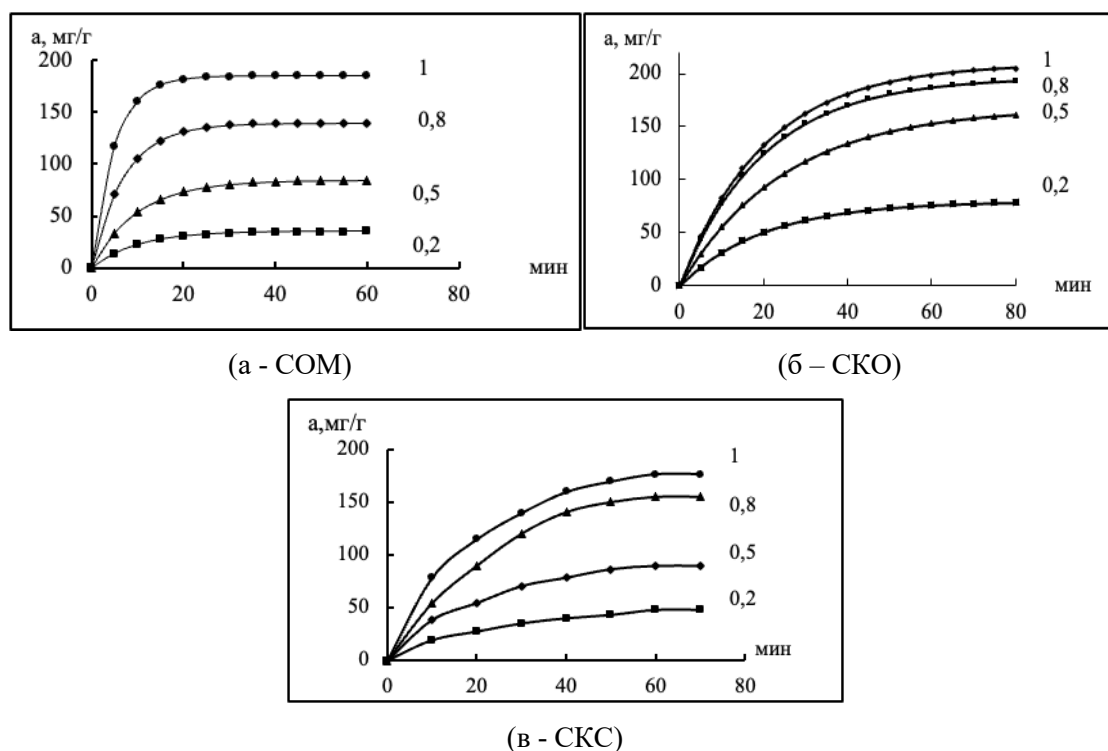


Рис. 4. Кинетика адсорбции при 20 °С паров н-бутанола из их ПВС образцами использованных активных углей (удельный расход ПВС 2,5 л/(см²·мин), размер зёрен адсорбентов 3,0 – 5,0 мм, числа у кривых – значения p/p_s).

Fig. 4. Kinetics of adsorption at 20 °C of n-butanol vapors from their PVA samples of used activated carbons (specific PVA consumption 2.5 l/(cm² min), adsorbent grain size 3.0 – 5.0 mm, numbers on the curves are p/p_s values).

Формальное описание кинетических кривых рис. 2 возможно с использованием уравнения вида $a = A(1-e^{-B\tau})$, значения коэффициентов А и В

которого приведены в табл. 2 (а – величина поглощения, мг/г; τ – время, мин).

Таблица 3

Величины коэффициентов А и В уравнения $a = A(1-e^{-B\tau})$.

Table 3

Values of coefficients A and B of the equation $a = A(1-e^{-B\tau})$.

Активный уголь	Значения коэффициентов А (числитель) и В (знаменатель) при P/P _s			
	0,2	0,5	0,8	1,0
СКО	80/0.05	167/0.04	197/0.05	208/0.05
СОМ	35/0.10	85/0.10	140/0.14	185/0.20
СКС	79/0.05	123/0.05	158/0.05	175/0.05

Охарактеризованная информация позволяет констатировать различие формы представленных кинетических кривых. В области низких величин P/P_s активный уголь СОМ демонстрирует более низкую поглотительную способность, чем СКС и СКО, что обусловлено слабым взаимным притяжением молекул адсорбата и адсорбента СОМ. Хотя у активного угля СОМ константа

скорости адсорбции В максимальна, при P/P_s = 1 этот адсорбент поглощает в своих порах н-бутанола более, чем адсорбент СКС, но уступает активному углю СКО.

По значениям предельных насыщений, показанным кинетическими кривыми на рис. 2, построены соответствующие изотермы адсорбции (рис. 3).

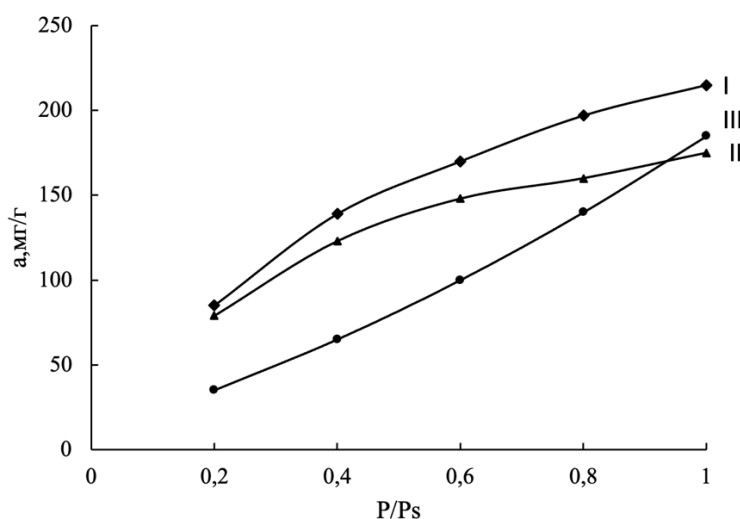


Рис. 5. Адсорбционное равновесие н-бутанола на сравниваемых активных углях, I – СКО, II – СОМ, III – СКС.

Fig. 5. Adsorption equilibrium of n-butanol on compared activated carbons, I – SKO, II – SOM, III – SKS.

Формальное описание изотерм на рис. 3 возможно с помощью уравнения вида $a =$

$K(P/P_s)^{1/n}$, значения коэффициентов K и n которого сведены в табл. 3.

Таблица 4

Значения коэффициентов уравнения $a = K(P/P_s)^{1/n}$.

Table 4

Values of the coefficients of the equation $a = K(P/P_s)^{1/n}$.

Активный уголь	Коэффициент	
	K	n
СКО	222	0.61
СКС	182	0.50
СОМ	185	1.00

Наибольшее значение K , выражающее абсорбционную способность адсорбента, наблюдается для активного угля СКО среди активных углей растительных отходов из Мьянмы от большого объема микропор. Параметр n , характеризующий энергию взаимодействия углей с бутанолом, является наименьшим для активного угля СКС. Это соответствует наиболее выпуклой изотерме адсорбции (рис. 3), которая благоприятна для улавливания низких концентраций паров бутанола. По величине n полученный новый активный уголь на основе ореховой скорлупы макадамии сопоставим с другими видами активных углей на основе ореховой скорлупы из Макадамии.

Таким образом, исследования позволяют констатировать достаточно удовлетворительные поглотительные свойства полученного нового активного угля из скорлупы ореха макадамии, в

изученном процессе извлечения паров н-бутанола из их смесей с воздухом, что указывает на вероятную конкурентоспособность этого адсорбента в решении задач очистки от паров органических веществ выбросов высоких концентраций при условии организации его производства в условиях Мьянмы.

Выводы

Полученные активные угли из СКС обладают низкой способностью адсорбции, что соответствует данному показателю полученных перспективных активных углей из СОМ и СКО. Учитывая, что методика термообработки исходного растительного сырья соответствовала условиям, при которых получены аналогичные материалы, авторами проведена сравнительная оценка их показателей качества. Полученные активные угли с целью удалением токсичных газов в промышленной масштабе выполнены в настоящее время.

Список источников

1. Jillian Kubala, Health Benefits of Macadamia Nuts, опубликовано 07,08,2024, [электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.health.com/macadamia-nuts-benefits-8681183> (дата обращения: 11.05.2024)

2. Macadamia, Britannica [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.britannica.com/plant/macadamia> (дата обращения: 11.05.2024)
3. Oxford plants 400, Plant 250 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/plants400/Profiles/mn/macadamia/> (дата обращения: 06.05.2024)
4. Хирае Х.К. и Х.Х. Распространенные проблемы ореха макадамии. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Макадамия> (дата обращения: 07.05.2024)
5. Макадамия цельнолистная. Режим доступа: <http://www.csbg.nsc.ru/catalog/macadamia-integrifolia-maiden-et-betche-makadamiya-tselnolistnaya.html> (дата обращения: 10.02.2024)
6. Где Мьянма, [электронный ресурс] Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мьянма> (дата обращения: 06.05.2024)
7. Кицикер Ж. Рыночная система макадамии в штате Шан, Мьянма. Режим доступа: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_ent/@ifp_seed/documents/publication/wcms_765026.pdf (дата обращения: 20.03.2020)
8. Мелисса П. Растение макадамии в Британике. Режим доступа: <https://www.britannica.com/plant/macadamia> (дата обращения: 29.05.2024)
9. Курманбеков А.С., Жубанова А.А., Мансуров З.А. Биосорбенты на основе карбонизированной абрикосовой косточки и рисовой шелухи. Углеродные наноматериалы в биомедицине и окружающей среде, Издательство Дженни Стэнфорд, 2020. С. 41. ISBN-9780429428647
10. Кашьяп П., Сонзу Ч., Ханкван Л., Хан С.Б., Сангил Х. Удаление летучих органических соединений из воздуха с помощью ацетата целлюлозы, пропитанного активированным углем // Исследования в области инженерии окружающей среды. 2019. Т. 24. № 4. С. 600 – 607.
11. Александр М.Г., Алина М.Г. Бутилированная и упакованная вода // Наука о напитках. 2019. Т. 4. С. 83 – 120.
12. Romanos J., Beckner M., Rash T., Firlej L., Kuchta B., Yu P., Suppes G., Wexler C., Pfeifer P. Nanospace engineering of KOH activated carbon // Nanotechnology. 2011. № 23 (1). P. 015401. doi:10.1088/0957-4484/23/1/015401
13. Sahira Joshi, Rekha Goswami Shrestha, Raja Ram Pradhananga, Katsuhiko Ariga and Lok Kumar Shrestha High surface area nanoporous activated carbons materials from areca catechu nut with excellent iodine and methylene blue adsorption // Journal of carbon research. 2022. Vol 8 (1). P. 2. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/c8010002>
14. Ким Д., Ли Д., Хонг И. NO восстановление и окисление за PAN на основе-ACF // Carbon Lett. Т. 1. С. 12 – 17.
15. Сумати С., Бхатия С., Ли К.Т., Мохамед А.Р., «Оптимизация производства микропористого активированного угля из пальмовой скорлупы для десульфуризации дымовых газов: экспериментальные и статистические исследования», режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.020.607> (дата обращения: 22.05.2022)

16. Ольга Колос. Путешествия, наеденные с мечтой [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://olgakolos.ru/aziya/myanma-chast-13-pin-u-lvin/> (дата обращения: 10.06.2024)
17. Со Вин Мьинт, Зо Е Наинг, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Горючие ископаемые и растительные отходы Мьянмы как сырье для получения углеродных адсорбентов // Успехи в химии и химической технологии. 2024. Т. XXXVIII. № 8. С. 97 – 99.
18. Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Min Thu, Myat Min Thu, Klushin V.N. Inexpensive resources of Myanmar as a source of carbon adsorbents // International Journal of Modern Agriculture. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 342 – 350. ISSN: 2305-7246.
19. Наинг Линн Со, Зин Мо, Мин Тху, Мят Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Углеродные адсорбенты на основе растительных отходов Мьянмы как средство очистки промышленных выбросов и сбросов // Сорбционно-хроматографические процессы. 2019. Т. 19. № 5. С. 574 – 581.
20. Сое Хейн Тху, Аунг Чжо Сан, Со Вин Мьинт, Найнг Линн Сое, Клушин Д.В., Клушин В.Н. Рациональные условия пиролиза скорлупы орехов макадамии при её переработке на углеродные адсорбенты // Успехи в химии и химической технологии. 2024. Т. XXXVIII. № 3. С. 99 – 101.

References

1. Jillian Kubala, Health Benefits of Macadamia Nuts, published 07.08.2024, [electronic resource] Access mode: <https://www.health.com/macadamia-nuts-benefits-8681183> (accessed: 11.05.2024)
2. Macadamia, Britannica [Electronic resource]. Access mode: <https://www.britannica.com/plant/macadamia> (accessed: 11.05.2024)
3. Oxford plants 400, Plant 250 [Electronic resource]. Access mode: <https://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/plants400/Profiles/mn/macadamia/> (accessed: 06.05.2024)
4. Hirae H.K. and H.H. Common Problems of Macadamia Nut. Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Макадамия> (date of access: 07.05.2024)
5. Macadamia integrifolia. Access mode: <http://www.csbg.nsc.ru/catalog/macadamia-integrifolia-maiden-et-betche-makadamiya-tselnolistnaya.html> (date of access: 10.02.2024)
6. Where is Myanmar, [electronic resource] Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мьянма> (date of access: 06.05.2024)
7. Kiciker J. Macadamia Marketing System in Shan State, Myanmar. Access mode: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_ent/@ifp_seed/documents/publication/wcms_765026.pdf (date of access: 20.03.2020)
8. Melissa P. Macadamia plant in Britannica. Access mode: <https://www.britannica.com/plant/macadamia> (date of access: 29.05.2024)
9. Kurmanbekov A.S., Zhubanova A.A., Mansurov Z.A. Biosorbents based on carbonized apricot kernel and rice husk. Carbon Nanomaterials in Biomedicine and the Environment, Jenny Stanford Publishers, 2020. P. 41. ISBN-9780429428647

10. Kashyap P., Sonzu C., Hankwan L., Han S.B., Sangil H. Removal of Volatile Organic Compounds from Air Using Activated Carbon-Impregnated Cellulose Acetate. *Environmental Engineering Research*. 2019. Vol. 24. No 4. P. 600 – 607.
11. Alexander M.G., Alina M.G. Bottled and Packaged Water. *Beverage Science*. 2019. T. 4. P. 83 – 120.
12. Romanos J., Beckner M., Rash T., Firlej L., Kuchta B., Yu P., Suppes G., Wexler C., Pfeifer P. Nano-space engineering of KOH activated carbon. *Nanotechnology*. 2011. No. 23 (1). P. 015401. doi:10.1088/0957-4484/23/1/015401
13. Sahira Joshi, Rekha Goswami Shrestha, Raja Ram Pradhananga, Katsuhiko Ariga and Lok Kumar Shrestha High surface area nanoporous activated carbons materials from areca catechu nut with excellent iodine and methylene blue adsorption. *Journal of carbon research*. 2022. Vol 8 (1). P. 2. Access mode: <https://doi.org/10.3390/c8010002>
14. Kim D., Lee D., Hong I. NO reduction and oxidation by PAN on dream-ACF. *Carbon Lett*. Vol. 1. Pp. 12 – 17.
15. Sumati S., Bhatia S., Lee K.T., Mohamed A.R., “Optimization of palm shell microporous activated carbon production for flue gas desulfurization: experimental and statistical studies”, access mode: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.020>.607 (accessed: 22.05.2022)
16. Olga Kolos. Travels full of dreams [Electronic resource]. Access mode: <http://olgakolos.ru/aziya/myanma-chast-13-pin-u-lvin/> (date accessed: 10.06.2024)
17. So Win Myint, Zaw Ye Naing, Nistratov A.V., Klushin V.N. Combustible fossils and plant waste of Myanmar as raw materials for producing carbon adsorbents. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2024. Vol. XXXVIII. No. 8. P. 97 – 99.
18. Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Min Thu, Myat Min Thu, Klushin V.N. Inexpensive resources of Myanmar as a source of carbon adsorbents. *International Journal of Modern Agriculture*. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 342 – 350. ISSN: 2305-7246.
19. Naing Linn Soe, Zin Mo, Min Thu, Myat Min Thu, Soe Win Myint, Nistratov A.V., Klushin V.N. Carbon adsorbents based on Myanmar plant waste as a means of cleaning industrial emissions and discharges. *Sorption and chromatographic processes*. 2019. Vol. 19. No. 5. P. 574 – 581.
20. Soe Hein Thu, Aung Kyaw San, Soe Win Myint, Naing Linn Soe, Klushin D.V., Klushin V.N. Rational conditions for pyrolysis of macadamia nut shells during its processing into carbon adsorbents. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2024. Vol. XXXVIII. No. 3. P. 99 – 101.

Информация об авторах

Со Вин Мьинт, кандидат технических наук, докторант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2531-3575>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Зо Е Найнг, кандидат технических наук, докторант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-9929>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Курилкин А.А., кандидат технических наук, доцент, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7100-6108>, email: akurilkin85@gmail.com

Нистратов А.В., кандидат технических наук, доцент, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6089-5497>, email: nistratov.a.v@muctr.ru

Клушин В.Н., доктор технических наук, профессор-консультант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-6039>, email: klushin.v.n@muctr.ru

Information about the authors

Saw Win Myint, PhD in Engineering, Doctoral Candidate, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2531-3575>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Zo Ye Naing, PhD in Engineering, Doctoral Candidate, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-9929>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Kurilkin A.A., PhD in Engineering, Associate Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-9929>, email: akurilkin85@gmail.com

Nistratov A.V., PhD in Engineering, Associate Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6089-5497>, email: nistratov.a.v@muctr.ru

Klushin V.N., Doctor of Engineering Sciences, Consulting Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-6039>, email: klushin.v.n@muctr.ru

© Со Вин Мьинт, Зо Е Найнг, Курилкин А.А., Нистратов А.В., Клушин В.Н., 2024