

УДК 658.567.1

DOI: 10.17277/voprosy.2023.03.pp.007-017

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ОТХОДОВ

Т. А. Василенко, А. К. Мальцева

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия

Ключевые слова: бентонитовая глина; краситель метиленовый голубой; отход отбеливающей глины; растительный отход механической очистки семян сои; сорбционная емкость; сорбция; углеродсодержащий сорбционный материал; удельная поверхность; утилизация.

Аннотация: Представлены результаты по применению сорбционного материала, полученного при совместной термической обработке отработанной отбеливающей глины (ОГ) и отхода растительного происхождения (ОР), образующегося при механической уборке урожая сои, для очистки от красителя метиленовый голубой (МГ) на примере модельных растворов. Проведение термообработки ОР и ОГ осуществлено при температурах 350 °С и соотношениях 1 : 3, 1 : 1 и 3 : 1, а также отдельно для ОГ при температурах 250 и 350 °С в закрытом металлическом контейнере в условиях недостатка кислорода. Методами электронно-микроскопического анализа изучена пористая структура сорбционных материалов.

При проведении десорбции установлен химический характер сорбции (краситель МГ вымывается с поверхности углеродсодержащих сорбционных материалов менее чем на 3,0 %).

Введение

На сегодняшний день Белгородская область в России входит в тройку лидеров по производству растительного масла. В области успешно функционируют крупнейшие производители масла (ГК «ЭФКО» и ГК «Юг Руси»), где ежегодно в среднем перерабатывается более 2 млн т семян для

Василенко Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры экобиотехнологии, e-mail: land-vna78@list.ru; Мальцева Алина Константиновна – магистрант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия.

получения растительного масла. Технологический процесс производства подсолнечного рафинированного дезодорированного вымороженного масла заключается в следующем. Рафинация – ряд важнейших технологических процессов обработки масел в целях удаления из них примесей и тех сопутствующих веществ, которые снижают качество и технологические свойства продукта. Химическая рафинация состоит из следующих стадий технологического процесса: щелочной нейтрализации; сухой предварительной обработки, совмещенной с непрерывной отбелкой; винтеризации масла; дезодорации. Традиционно для отбелки подсолнечного, хлопкового и соевого масел используют активированные лимонной кислотой бентонитовые глины.

Бентонитовые глины – порошки бежевого цвета для удаления полярных соединений (каротиноидов, фосфолипидов, пероксидов, металлов). В технологическом процессе бентонитовую глину активируют лимонной кислотой, поэтому отход имеет значение $pH = 3 \dots 4$. В зависимости от аппаратного оформления процесса очистки и качества исходного адсорбента отработанный материал содержит 15 – 80 % рафинированного жира согласно техническим условиям [1].

Рекомендуемое использование отхода отбеливающей глины (**ОГ**): в качестве кормовых добавок к рационам животных и птицы [1]; в производстве мыла [2], керамзита [3] или кирпича [4]. Расширение спектра применения отработанной ОГ, как перспективного вторичного материального ресурса, образующегося в процессе очистки растительных масел, является важной задачей. На рынке представлены испанские и индийские марки бентонитовых глин, такие как Tonsil 277FF; Galleon V2 Super; Galleon V2 Supreme. В их составе присутствуют оксиды кремния SiO_2 – от 52,5 до 59,2 %; магния MgO – от 1,13 до 17,3 %; алюминия Al_2O_3 – от 8,3 до 8,5 %; железа Fe_2O_3 – от 3,3 до 9,47 %; кальция CaO – от 2,3 до 5,18 %; титана TiO – от 0,7 до 2,72 %; серы SO_3 – от 2,8 до 5,4%; калия K_2O и натрия Na_2O – от 0,81 до 2,8 %, а также возможны потери при прокаливании – от 10,18 до 12,4 %.

Природные глины, в том числе и бентониты, традиционно после модификации полигидроксокатионами циркония (IV) совместно с полигидроксокатионами алюминия и железа (III) и алюминия рекомендуются для очистки нескольких видов красителей, сорбции хромат-, арсенат- и селенит-анионов [5, 6]. Установлена сорбционная емкость минерала трепела (содержит до 89 % SiO_2) после модификации его поверхности растворами $FeCl_3$ и $NaOH$ в отношении нефтепродуктов и ионов $H_2AsO_4^-$, CrO_4^{2-} , Ni^{2+} , Fe^{3+} [7]. В качестве сорбционного материала для очистки модельных растворов от ионов Cu (II) предложена смесь древесных опилок и активированная 5%-м раствором Na_2CO_3 бентонитовая глина [8]. Отработанный фильтровальный порошок (кизельгуровый шлам), также образующийся при фильтрации растительного масла, рассмотрен в качестве углеродсодержащего сорбционного материала после термообработки для очистки растворов от красителя метиленового голубого (**МГ**) [9, 10]. В научной

литературе [11 – 13] в качестве сорбционного материала для удаления красителя МГ из водных сред авторами предлагаются растительный опад и опилки платана; скорлупа арахиса и другие материалы. Такие отходы растительного происхождения, как скорлупа грецкого ореха, пивная дробина и гидролизный лигнин, применяются после стадии карбонизации как углеродсодержащие сорбционные материалы [14 – 16].

Материалы и методы

Для решения экологической проблемы по использованию отхода бентонитовой глины предложен способ получения сорбционного материала на основе ОГ и отходов растительного происхождения (ОР). Целлюлозо-содержащие отходы сои относятся к V классу опасности и имеют название «Отходы механической очистки семян многолетних бобовых трав» (код отхода 1 11 130 11 49 5). Валовый сбор сои в 2021 г. достиг почти 20 тыс. т. Черешки, прилистник и оболочка семян традиционно поступают в отход при жатке и обмолоте сои. Годовое количество отработанной глины на предприятиях Белгородской области составляет более 7 тыс. т, из которых до 15 % перерабатывается, а остальное подлежит захоронению. Название по классификатору «Отходы отбеливающей глины, содержащей растительные масла» (код отхода 3 01 141 51 29 4).

Свойства отходов: зольность для РО и ОГ составляет соответственно 7,51 и 59,81 %; pH водной вытяжки РО и ОГ – 5,94 и 3,13 соответственно; насыпная плотность, кг/м³, РО – 107,9, ОГ – 668,4. В таблице 1 представлен состав термообработанной при температуре 850 °С отбеливающей глины (установлен с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра Scientific ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции). Сумма оксидов кремния и алюминия составляет до 82 %. Преобладающая фракция РО, используемого как объект исследования, – от 0,2 до 2,0 см (60,67 %) и ОГ – от 0,2 до 0,315 мм (62,1 %).

Результаты и обсуждение

Проведена термообработка ОР и ОГ в соотношениях 1 : 3, 1 : 1 и 3 : 1 при температуре 350 °С (рис. 1), при этом происходит изменение цвета отходов на серый (1 : 3), после увеличения ОР цвет изменяется из темно-серого (1 : 1) в черный цвет (3 : 1). Время обработки образцов при заданной температуре составляло 60 мин. Проведенные ранее эксперименты при температуре обработки ниже и выше 350 °С не рекомендуются (растительный материал сгорает частично или при повышении температуры происходит его полное сгорание).

Таблица 1

Состав термообработанной отбеливающей глины, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SrO	MnO	ZnO
68,49	13,34	5,22	4,18	3,24	2,14	1,17	1,08	0,485	0,383	0,0426	0,2270	0,0054

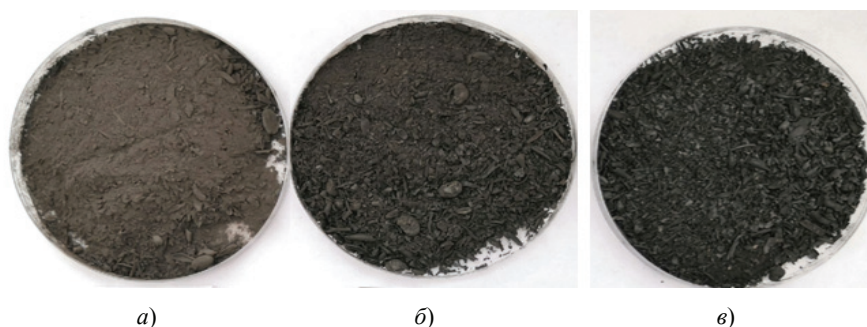


Рис. 1. Фотографии сорбционного материала, полученного при различных соотношениях РО и ОГ:
a – 1 : 3; *б* – 1 : 1; *в* – 3 : 1

Структура сорбционных материалов и энергодисперсионный состав определен на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU. В таблице 2 представлен элементный состав термообработанных смесей и ОГ. Результаты анализа свидетельствуют о том, что при соотношении, где преобладает растительный материал в смеси, увеличивается содержание углерода и снижается количество кремния в два раза – с 15,74 до 7,24 %. Для ОГ с повышением температуры обработки от 250 до 350 °С снижается количество углерода, так как органическая часть сгорает и увеличивается минеральная составляющая.

На микрофотографиях (рис. 2 и 3) фиксируются открытые с утолщением макропоры (со средним \varnothing более 50 нм). На серии полученных микрофотографий с разрешением 1...100 мкм присутствуют частицы с размером пор 0,5...10 мкм (см. рис. 3).

Важными показателями с точки зрения эффективности применения сорбционного материала являются удельная поверхность S , $\text{см}^2/\text{г}$, и адсорбционная активность по йоду AJ , %. Удельную поверхность измеряли

Таблица 2

Элементный состав термообработанных смесей и ОГ

Образец	$T_{\text{обр}},$ °С	Элементный состав, %										
		C	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	S	Fe
РО : ОГ = = 1 : 3	350	38,23	35,62	0,46	0,69	3,44	15,74	0,21	0,90	1,74	1,04	1,61
РО : ОГ = = 1 : 1		47,58	32,06	0,35	0,56	2,64	12,17	0,16	1,25	1,38	0,64	1,22
РО : ОГ = = 3 : 1		59,94	26,08	0,42	0,57	0,91	7,24	0,42	2,67	1,42	0,29	0,47
ОГ	250	27,91	39,46	0,55	0,85	4,58	20,56	0,19	0,34	1,67	1,00	2,47
ОГ	350	18,07	43,45	0,65	0,95	5,42	24,54	0,21	0,41	1,97	1,42	2,42

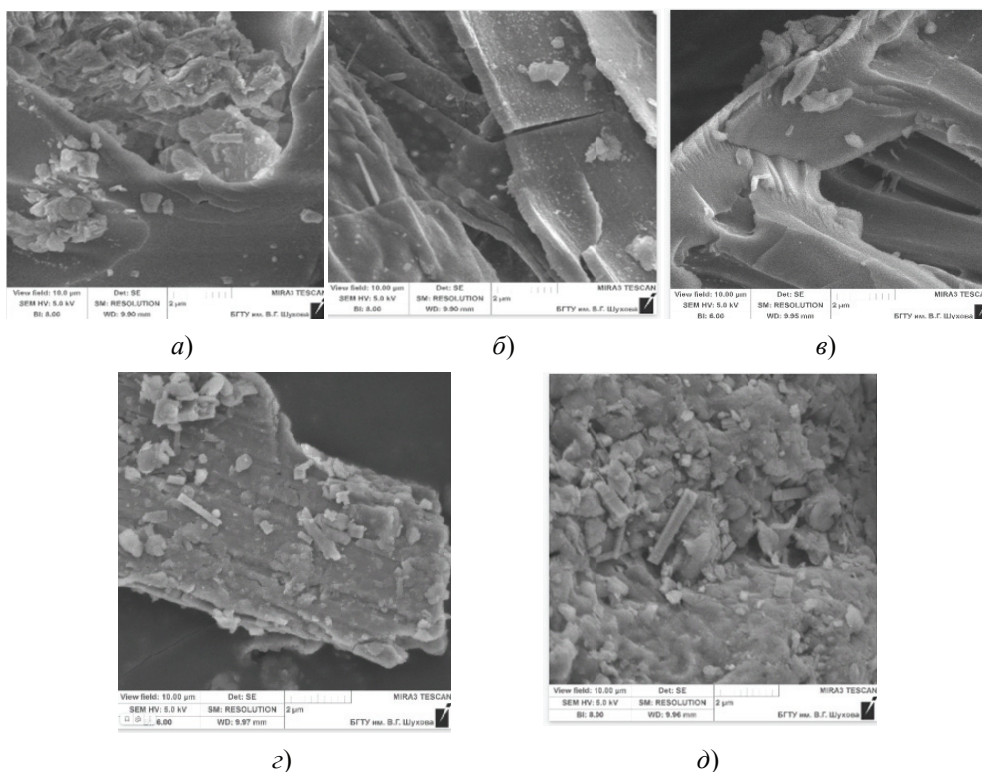


Рис. 2. Микрофотографии частиц термообработанных отходов с размером фракций 1...10 мкм:
a – ПО : ОГ = 1 : 3 ($T_{\text{обр}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$); *б* – ПО : ОГ = 1 : 1 ($T_{\text{обр}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$);
в – ПО : ОГ = 3 : 1 ($T_{\text{обр}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$); *г* – ОГ ($T_{\text{обр}} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$); *д* – ОГ ($T_{\text{обр}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$)

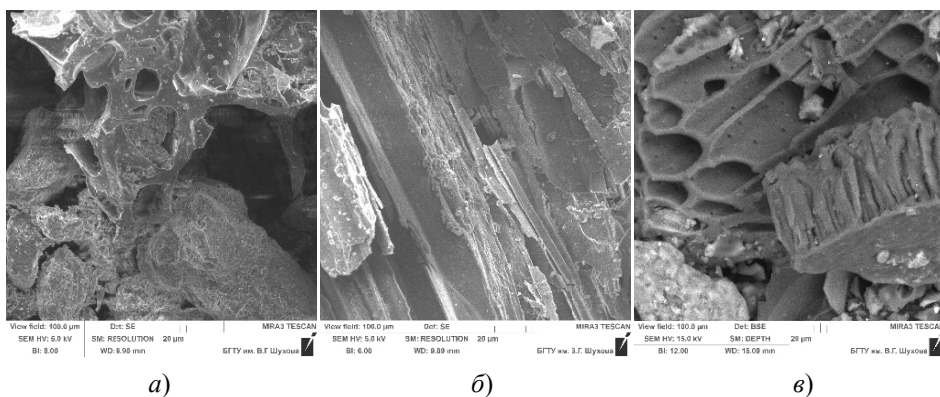


Рис. 3. Микрофотографии частиц термообработанных отходов ($T_{\text{обр}} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$) с размером фракций 1...100 мкм:
a – ПО : ОГ = 1 : 3; *б* – ПО : ОГ = 1 : 1; *в* – ПО : ОГ = 3 : 1

на приборе ПСХ-10а; адсорбционную активность по йоду определяли по ГОСТ 6217–74 [17]. Полученные значения данных показателей и параметр «степень обгара» приведены в табл. 3. Степень обгара полученных материалов W , %, вычисляли по формуле

Таблица 3

**Влияние температуры термообработки на изменение
удельной поверхности, адсорбционной активности по йоду
и степени обгара сорбционных материалов**

Образец	$T_{обр},$ °C	Степень обгара $W,$ %	Удельная поверхность $S,$ см ² /г	Адсорбционная активность по йоду $AJ, \%$
РО : ОГ = 1 : 3	350	52,02	3750	14,15
РО : ОГ = 1 : 1		41,06	2251	15,66
РО : ОГ = 3 : 1		23,84	2822	14,39
ОГ	250	17,40	3818	17,78
ОГ	350	28,50	5130	13,34

$$W = \frac{(M_{исх} - M_T)}{M_{исх}} 100 \%, \quad (1)$$

где $M_{исх}$, M_T – массы материала до и после термообработки соответственно, г.

Если данный показатель находится ниже 50 %, то это свидетельствует о получении микропористой структуры.

С увеличением доли отбеливающей глины в составе композиционной смеси растут значения степени обгара и удельной поверхности. При содержании отбеливающей глины 75 % в составе смеси значение удельной поверхности составляет 3750 см²/г. Адсорбционная активность по йоду для всех образцов находится приблизительно на одном уровне (13,34 – 17,78 %). Микропористость структуры для исследуемых образцов возрастет для двухкомпонентных сорбционных смесей с увеличением доли отбеливающей глины. Для образца, где отношение РО : ОГ = 1 : 3, характерно формирование как макро-, так и микроструктуры.

Традиционным красителем, используемым при проведении адсорбционных исследований (древесных углей и др.), является метиленовый голубой. Получены результаты сорбции красителя в статических условиях на поверхности материалов после термообработки при $T_{обр} = 350$ °C. Градуировочный график, начальная и конечные концентрации красителя ($C_{нач} = 20 \dots 1200$ мг/дм³) определяли фотометрически на приборе AP-101 при длине волны $\lambda = 600$ нм в кюветах с толщиной поглощающего свет слоя 10 мм. Применялся метод переменных концентраций ($T = (295 \pm 2)$ К) при установлении равновесной концентрации красителя. Сорбционную емкость A , ммоль/г, определяли по формуле

$$A = \frac{(C_{нач} - C_{рав})V}{m}, \quad (2)$$

где $C_{\text{нач}}$, $C_{\text{рав}}$ – начальная и конечная (после установления равновесия) концентрации МГ в модельном растворе соответственно, ммоль/дм³; V – объем раствора, дм³; m – масса навески, г.

На рисунке 4 представлены изотермы адсорбции красителя МГ на обеливающей глине и композиционных сорбционных материалах, полученных при термообработке отходов ($T_{\text{обр}} = 350$ °С) при трех соотношениях. Анализ данных изотерм адсорбции показал, что максимальная сорбционная емкость находится в одном диапазоне. Предельная адсорбция по МГ при соотношении РО : ОГ = 3 : 1 составляет 0,338 ммоль/г при равновесной концентрации 0,369 ммоль/дм³, емкость монослоя – 0,22 ммоль/г. Предельная адсорбция ОГ по метиленовому голубому – 0,342 ммоль/г при равновесной концентрации 0,329 ммоль/дм³, емкость монослоя – 0,15 ммоль/г. Установлено, что МГ сорбируется в полимолекулярной форме на исследуемых материалах и изотермы имеют S-образный вид.

Десорбцию проводили дистиллированной водой в герметичной стеклянной посуде, время установления равновесия составило 48 ч. Краситель МГ вымывается с поверхности углеродсодержащих сорбционных материалов менее чем на 3,0 %, что свидетельствует о химической адсорбции красителя (табл. 4).

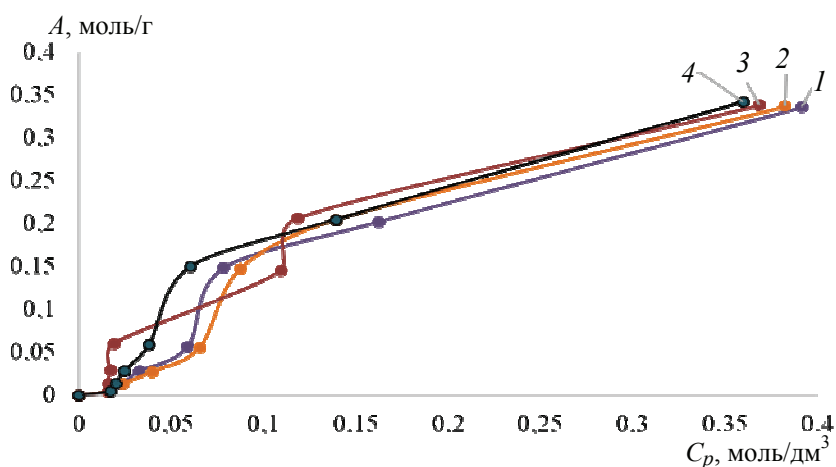


Рис. 4. Изотерма адсорбции красителя МГ на сорбционных материалах при соотношениях РО : ОГ – 1 : 3 (1); 1 : 1 (2); 3 : 1 (3) и ОГ (4)

Таблица 4

Вымывание красителя МГ с поверхности сорбционных материалов при десорбции, %

Отношения компонентов в композиционном сорбционном материале, %			ОГ, %
РО : ОГ = 1 : 3	РО : ОГ = 1 : 1	РО : ОГ = 3 : 1	ОГ
2,65	2,43	2,84	0,13

Заключение

Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что два отхода, которые в достаточном объеме образуются на территории Белгородской области, можно потенциально рассматривать как сырье для получения композиционного сорбционного материала. Выявлено оптимальное соотношение компонентов растительного и органоминерального происхождения в целях получения сорбционного материала, которое составляет РО : ОГ = 1 : 3. При $T_{\text{обр}} = 350$ °С в течение 1 ч достигается степень обгара, равная 52,02 %, и образуется материал с удельной поверхностью 3750 см²/г. При соотношениях материалов, равных РО : ОГ = 1 : 1 и РО : ОГ = 3 : 1, значения удельной поверхности после карбонизации составили 2251 и 2822 см²/г соответственно. На серии полученных микрофотографий с разрешением 1...100 мкм присутствуют частицы материала с размером пор 0,5...10 мкм.

Несмотря на отличающиеся значения удельной поверхности, при исследовании величины сорбционной емкости по красителю МГ, максимальные значения находятся в одном диапазоне, в том числе и для ОГ после карбонизации ($T_{\text{обр}} = 350$ °С), которая была использована для сравнения. Максимальная сорбционная емкость для материала, полученного при соотношении РО : ОГ = 1 : 3 равна 0,336 ммоль/г ($C_{\text{рав}} = 0,391$ ммоль/дм³), для ОГ – 0,342 ммоль/г ($C_{\text{рав}} = 0,36$ ммоль/дм³). Общий вид изотерм адсорбции имеет сходные черты и S-образный вид, что характерно для полимолекулярной адсорбции. Десорбция красителя дистиллированной водой на всех четырех образцах показала, что десорбируется менее 3,0 % МГ, что свидетельствует о химическом механизме, лежащем в основе взаимодействия экспериментально полученных сорбционных материалов и адсорбата.

Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Список литературы

1. Технические условия 9147-411-00334534–2004. Глины отбельные жирные и порошки фильтровальные жирные. – Введ. 15.10.2004. СПб. : [б. и.], 2004. – 10 с.
2. Отработанные жирные глины отбелки растительных масел – ценное сырье для производства мылоподобных поверхностно-активных веществ / Н. Б. Кадирова, Д. С. Салиханова, Д. С. Сагдуллаева [и др.] // Universum: технические науки. – 2021. – № 2(83). – С. 23–25.
3. Карпов, Д. А. Применение отходов пищевого производства в технологии керамзитового гравия с целью снижения энергозатрат / Д. А. Карпов // Строительные материалы. – 2010. – № 8. – С. 16–17.
4. Полетаева, М. А. Утилизация отбельной глины при производстве растительных масел / М. А. Полетаева, Н. М. Сусоева // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 249 – 251.
5. Никитина, Н. В. Адсорбция органических реагентов природным бентонитом, модифицированным полигидроксикомплексами алюминия и железа (III) / Н. В. Никитина, А. П. Ламихова, Н. В. Никитина, И. А. Казаринов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 23 – 30. doi: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-23-30

6. Никитина, Н. В. Сорбенты на основе природных бентонитов, модифицированных полигидроксокаатионами циркония (IV), алюминия и железа (III) методом «соосаждения» / Н. В. Никитина, И. А. Казаринов, Е. В. Фартукова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 20 – 24. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-20-24
7. Юрмазова, Т. А. Адсорбция нефтепродуктов и неорганических ионов на минеральном сорбенте / Т. А. Юрмазова, Н. Б. Шахова, Хоанг Чан Туан, М. В. Планкина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 5. – С. 125 – 134.
8. Фогель, А. А. Изучение сорбционных свойств материалов на основе отходов производства древесины и минерального сырья / А. А. Фогель, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – № 19. – С. 461 – 465.
9. Отработанный кизельгуровый шлам маслоэкстракционного производства – сырье для получения сорбционного материала / И. В. Старостина, С. В. Свергузова, Д. В. Столяров [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 16. – С. 133 – 136.
10. Старостина, И. В. Кислотно-основная активация углеродсодержащего сорбционного материала и его применение для извлечения красителя метиленовой голубой из водных сред / И. В. Старостина, Д. О. Половнева, Ю. Л. Макридина, Е. В. Локтионова // Вопр. совр. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2021. – № 4(82). – С. 29 – 38. doi: 10.17277/voprosy.2021.04.pp.029-038
11. Извлечение красителя метиленовой голубой из растворов биомассой опилок платана / В. А. Белый, С. В. Свергузова, И. Г. Шайхиев [и др.] // Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 5. – С. 139 – 145. doi: 10.6060/ivkkt.20236605.6757
12. Свергузова, С. В. Сорбционные свойства листового опада платана по отношению к красителю метиленовому голубому / С. В. Свергузова, И. Г. Шайхиев, Ж. А. Сапронова, А. В. Святченко // Chemical Bulletin. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 5 – 13.
13. Использование отходов переработки арахиса в качестве сорбционного материала / Л. Хунади, И. Г. Шайхиев, А. В. Святченко [и др.] // Chemical Bulletin. – 2018. – Т. 1, № 4. – С. 40 – 49.
14. Руденко, Е. Ю. Адсорбенты из отходов пивоваренной промышленности для удаления загрязнений из природных и сточных вод / Е. Ю. Руденко // Экология и промышленность России. – 2022. – № 26 (10). – С. 16 – 21. doi:10.18412/1816-0395-2022-10-16-21
15. Получение активированных углей из гидролизного лигнина с использованием отходов стадии карбонизации / В. В. Самонин, Е. А. Спиридонова, М. Л. Подвязников [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – № 26(9). – С. 4 – 9. doi: 10.18412/1816-0395-2022-9-4-9
16. Получение углеродсодержащих сорбционных материалов из вторичного растительного сырья / А. И. Везенцев, Тъяу Нгуен Хоай, Н. Г. Габрук [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 18 (267). – С. 15 – 20.
17. ГОСТ 6217–74. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. – Введ. 01.01.1976. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

References

1. Tekhnicheskiye usloviya 9147-411-00334534-2004. *Gliny otbel'nyye zhirnyye i poroshki fil'troval'nyye zhirnyye* [Fat bleaching clays and oil filter powders], 10 p. (In Russ.).

2. Kadirova N.B., Salikhanova D.S., Sagdullaeva D.S., Anorov R.A., Abdurakhimov C.A. [Waste fatty clays bleaching vegetable oils valuable raw materials for production of soap-like surface-active substances], *Universum: tekhnicheskiye nauki* [Universum: technical science], 2021, vol. 83, no. 2, pp. 23-25 (In Russ., abstract in Eng.).
3. Karpov D.A. [The use of food production waste in the technology of expanded clay gravel in order to reduce energy consumption], *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2010, no. 8, pp. 16-17 (In Russ., abstract in Eng.).
4. Poletaeva M.A., Susoeva N.M. [Utilization of bleached clay in the production of vegetable oils], *Polzunovskiy Vestnik*, 2014, no. 3, pp. 249-251 (In Russ., abstract in Eng.).
5. Nikitina N.V., Lamikhova A.P., Nikitina N.V., Kazarinov I.A. [Adsorption of organic reagents by natural bentonites modified with aluminum and iron (III) polyhydroxocations], *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [News of Saratov University. New episode. Series: Chemistry. Biology. Ecology], 2021, vol. 21, no. 1, pp. 23-30. doi: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-23-30 (In Russ., abstract in Eng.).
6. Nikitina N.V., Nikitina N.V., Kazarinov I.A., Fartukova E.V. [Sorbents Based on Natural Bentonites, Modified by Polyhydroxocationes Zirconium (IV), Aluminum and Iron (III) by the «Coprecipitation» Method]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [News of Saratov University. New episode. Series: Chemistry. Biology. Ecology], 2018, vol. 18, no. 1, pp. 20-24, doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-20-24 (In Russ., abstract in Eng.).
7. Yurmazova T.A., Shakhova N.B., Chan Tuan Hoang, Plankina M.V. [Adsorption of petroleum products and inorganic ions on mineral sorbent], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering], 2018, vol. 329, no. 5, pp. 125-134 (In Russ., abstract in Eng.).
8. Fogel A.A., Somin V.A., Komarova L.F. [Study of sorption properties of materials based on wood and mineral waste], *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for sustainable development], 2011. no. 19, pp. 461-465. (In Russ., abstract in Eng.).
9. Starostina I.V., Svergzova S.V., Stolyarov D.V., Porozhniuk Ye.V., Anichina Ya.N., Shaikhiev I.G. [Spent kieselguhr sludge from oil extraction production - raw material for obtaining sorption material], *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2017, vol. 20, no. 16, pp. 133-136 (In Russ., abstract in Eng.).
10. Starostina I.V., Polovneva D.O., Makridina Yu.L., Loktionova E.V. [Acid-basic activation of carbon-containing sorption material and its application for extraction of methylene blue dye from aquatic media], *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*. [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2021, vol. 4, no. 82, pp. 2938 (In Russ., abstract in Eng.).
11. Belyy V.A., Svergzova S.V., Shaikhiev I.G., Saponova Zh.A., Voronina Yu.S. [Extraction of the methylene blue dye from solutions with sycamore biomass sawdust], *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and chemical technology], 2023, vol. 66. no 5. pp. 139145. doi: 10.6060/ivkkt.20236605.6757 (In Russ., abstract in Eng.).
12. Svergzova S.V., Shaykhiev I.G., Saponova Zh.A., Svyatchenko A.V. [Sorption properties of sycamore leaf litter in relation to methylene blue dye], *Chemical Bulletin*, 2020. vol. 3, no. 4, pp. 5-13 (In Russ., abstract in Eng.).
13. Hunadi L., Shaykhiev I.G., Svyatchenko A.V., Saponova Zh.A., Bomba I.V. [The use of peanut processing waste as a sorption material], *Chemical Bulletin*, 2018, vol. 1, no. 4, pp. 40-49. (In Russ., abstract in Eng.).
14. Rudenko E.Yu. [Waste-derived adsorbents from brewing industry for pollutant removal in natural waters and wastewaters], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2022, vol. 26, no 10, pp. 16-21, doi: 10.18412/1816-0395-2022-10-16-21 (In Russ., abstract in Eng.).

15. Samonin V.V., Spiridonova E.A., Podvyaznikov M.L., Khrylova E.D., Khokhlachev S.P., Klischevskaya L.S. [Obtaining Activated Carbons from Hydrolysed Lignin Using Waste Products of the Carbonization Process]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2022, vol. 26, no 9, pp. 4-9, doi: 10.18412/1816-0395-2022-9-4-9 (In Russ., abstract in Eng.).

16. Vezenzev A.I., Nguen Hoay Tyau, Gabruk N.G., Oleynikova I.I., Chuteeva T.A. [Production of carbon-containing sorption materials from secondary vegetable raw materials], *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yeste-stvennyye nauki* [Scientific statements of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 2017. vol. 18, no 267, pp. 15-20 (In Russ., abstract in Eng.).

17. GOST 6217-74. *Ugol' aktivnyy drevesnyy droblenny. Tekhnicheskiye usloviya* [Wood crushed activated carbon. Specifications], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2003, 7 p. (In Russ.).

The Effect of Heat Treatment Conditions on Preparation of Sorption Materials from Organomineral and Plant Waste

T. A. Vasilenko, A. K. Maltseva

Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov, Belgorod, Russia

Keywords: bentonite clay; methylene blue dye; waste bleaching clay; vegetable waste from mechanical cleaning of soybean seeds; sorption capacity; sorption; carbon-containing sorption material; specific surface area; disposal.

Abstract: The paper presents the results on the use of sorption material obtained by joint heat treatment of waste bleaching clay (BC) and plant waste (PW) resulting from mechanical harvesting of soybeans for purification of methylene blue (MB) dye using model solutions as an example. Heat treatment of PW and BC was carried out at a temperature of 350 °C and ratios of 1 : 3, 1 : 1 and 3 : 1, as well as separately for at temperatures of 250 and 350 °C in a closed metal container under conditions of lack of oxygen. The porous structure of sorption materials was studied using electron microscopic analysis methods. During desorption, the chemical nature of sorption was established (MB dye was washed out from the surface of carbon-containing sorption materials by less than 3.0 %).

© T. A. Василенко, А. К. Мальцева, 2023