

ОТХОДЫ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Шайхиев И.Г.¹, Свергузова С.В.², Шайхиева К.И.¹, Святченко А.В.², Мирошниченко Н.А.²

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68, e-mail: ildars@inbox.ru

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail: pe@intbel.ru

Аннотация. Обобщены данные литературных источников по использованию биомассы и отходов от переработки плодов бахчевых культур (тыква, арбуз, дыня, огурец) в качестве сорбционных материалов для удаления различных загрязняющих веществ из водных сред. Определено, что высушенные оболочки плодов бахчевых культур являются эффективными сорбционными материалами для извлечения ионов тяжелых металлов и красителей. Семена крупных плодов бахчевых культур (тыква, арбуз, дыня), а также их оболочки также показали хорошие сорбционные показатели по ионам тяжелых металлов и красителям. Выявлено, что большинство изотерм адсорбции поллютантов на отходах от переработки бахчевых культур наиболее точно описываются моделью Ленгмюра, реже – моделью Фрейндлиха, единично – моделями Темкина или Дубинина-Радушкевича. Определено, что кинетика процесса во всех случаях подчиняется модели псевдо-второго порядка. Для увеличения адсорбционных характеристик по различным поллютантам компонентов бахчевых культур, последние модифицировались различными химическими реагентами

Ключевые слова: отходы, бахчевые культуры, очистка, адсорбция, тяжелые металлы, красители.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мировом сообществе стремительно развивается новое инновационное направление в области охраны окружающей среды – использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства в качестве реагентов для удаления загрязняющих веществ из водных сред. Особую значимость представляют отходы от переработки сельскохозяйственного сырья. Последние образуются в ежегодно в больших масштабах, возобновляемы, имеют весьма низкую себестоимость, содержат в своем составе природные биополимеры с различными функциональными группировками, что способствует их широкому использованию в различных отраслях народного хозяйства.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В мировой литературе имеется множество сведений об использовании отходов от переработки сельскохозяйственного сырья в качестве коагулянтов и флокулянтов, сорбционных материалов для извлечения различных поллютантов из водных сред [1-15]. Доминирующее положение в мировом сообществе составляют отходы от переработки злаковых культур, которые также широко исследованы в качестве сорбционных материалов поллютантов различного происхождения из водных сред [16-19].

Довольно большую роль в жизнедеятельности человека играют бахчевые культуры - плодовые овощные культуры, выращиваемые на «бахче» (от персидского - огород), обычно из семейства тыквенные. К последним, в основном, относятся тыквы, арбузы, дыни, кабачки, патиссоны, огурцы.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – исследовать отходы от переработки бахчевых культур в качестве реагентов для удаления загрязняющих веществ из водных сред.

Задачи:

- проанализировать сведения по использованию отходов от переработки бахчевых культур;
- определить сорбционные свойства плодов тыквы, арбуза, дыни, огурца по отношению к ионам тяжелых металлов и красителей различных марок;
- определить кинетику процесса адсорбции.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Тыква. Наиболее значимыми из перечисленных культур для человека являются тыквы (*Cucurbita*) - род травянистых растений семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*). Под словом «тыква» в России обычно понимаются виды Тыква обыкновенная (*Cucurbita pepo*) и Тыква гигантская (*Cucurbita maxima*), широко распространённые и культивируемые как пищевое и кормовое растение. Однолетние или многолетние жёстко-шершавые или волосистые травы. Стелющиеся по земле и цепляющиеся при помощи ветвистых усиков стебли покрыты более или менее крупными лопастными листьями.

Крупные, жёлтые или белые цветки сидят поодиночке или пучками; цветки однополые (растения однодомные). Чашечка и венчик колокольчатые или ворончато-колокольчатые о пяти (редко четырёх - семи) долях; тычинки спаялись пыльниками в головку, пыльники извитые; в женском цветке развиты три-пять стаминодиев и пестик, с толстым коротким столбиком, с трёх- или пятилопастным рыльцем и с нижней, 3-5-гнездной многосемянной завязью. Плод - тыква, обыкновенно с твёрдым внешним слоем (корой) и с многочисленными сплюснутыми, обрамлёнными толстым вздутием семенами, без белка [20].

Тыква является фруктом, имеющим большую пищевую ценность благодаря высокому содержанию углеводов, растворимых волокон, белка, масла каротиноидных соединений, предшественников витамина А, β-каротина, криптоксантина и лютеина [21]. Семена плоские, овальные, различных цветов их используют для пищевых и лечебных целей. Семена тыквы богаты маслом и питательными веществами. В частности, определен состав семян тыквы [22]: влажность - 4,06 %, зольность - 3,80 %, клетчатка - 2,91 %, жиры - 36,70 %, белки - 34,56 %, растворимый белок - 18,10 %, сахара - 1,08 % и крахмал - 2,15 %. Тыквенное семя содержит в своем составе 48,92 % масел, из которых 29,04 % составляют олеиновая, 51,87 % - линолевая, 11,64 – пальмитиновая и 7,0 - стеариновая кислоты [23].

В процессе переработки плодов тыквы образуются отходы в виде кожуры плодов и семечек. Известны различные пути использования отходов от переработки бахчевых культур, в том числе и тыквы, в народном хозяйстве [24]. Последние также исследовались в качестве сорбционных материалов для извлечения различных загрязняющих веществ из природных и сточных вод.

Высушенная и обработанная 1 М раствором КОН **кожура мускатной тыквы** (*Cucurbita moschata Duchesne ex Poir*) исследовалась в качестве сорбционного материала для извлечения ионов Cu^{2+} из модельных растворов. Найдено, что максимальная сорбционная емкость по названным ионам составляет 78,13 мг/г при начальной концентрации ионов Cu^{2+} 80 мг/дм³, температуре 298 К, рН = 6,3 и дозировке сорбционного материала 0,5 г/дм³. Определено, что изотермы адсорбции при температурах 298-318 К наиболее адекватно описываются уравнением Фрейндлиха, а кинетика процесса описывается логистической моделью [25].

Нативная и карбоксилированная кожура тыквы обыкновенной исследовалась для извлечения ионов Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} и Zn^{2+} [26]. При начальной концентрации названных ионов 100 мг/дм³, дозировке сорбционного материала 1,2 г/дм³, рН = 7,5 и 1 ч контактирования, степень извлечения нативной кожурой тыквы составили 67 %, 52 %, 85 % и 78 % соответственно. Для карбоксилированного образца кожуры тыквы степень извлечения названных ионов составили 73%, 60 %, 65 % и 95 % соответственно.

Также высушенная и измельченная кожура мускатной тыквы также исследовалась для извлечения красителей марок «Lanaset Red G» [27] и «Reactive Red 120» [28] из модельных растворов. Найдено, что максимальная сорбционная емкость по названным красителям составила 440,78 и 98,61 мг/г соответственно. Изотермы адсорбции красителей в интервале температур 298-328 К в обоих случаях наиболее точно описываются уравнениями Фрейндлиха, а кинетика процесса – логистической моделью. Определение термодинамических параметров показало, что процесс адсорбции в обоих случаях носит физический характер, экзотермический и спонтанный.

Изучена адсорбция красителя марки «Acid Black 1» высушенной нативной и модифицированной путем загрузки ионов Ni^{2+} кожурой мускатной тыквы. Модификация ионами Ni^{2+} привела к увеличению сорбционной способности по красителю. Определено, что адсорбция красителя на этих сорбционных материалах увеличивалась с уменьшением размера частиц, дозы реагента, рН раствора и температуры, но увеличивалась с увеличением времени контакта и начальной концентрации красителя. Найдено, что быстрая сорбция происходила в первые 5 минут, а кинетическое равновесие достигалось в течение 50 минут. Максимальная сорбционная емкость по

красителю «Acid Black 1» для нативной и модифицированной ионами Ni^{2+} кожурой тыквы составили 227,62 мг/г и 228,49 соответственно. Изотермы адсорбции наиболее точно описывались уравнением Фрейндлиха, а кинетика адсорбции – логистической моделью [29]. Значения энергии активации и термодинамики параметры показали, что процесс адсорбции был физическим, экзотермическим и спонтанным.

Нативные и модифицированные раствором NaOH **оболочки семян** мускатной тыквы (*Cucurbita moschata Duchesne ex Poir*) исследовались для удаления ионов Cu^{2+} из модельных растворов. Определено, что максимальные значения сорбционной емкости составили 14,96 и 14,32 мг/г для нативной и модифицированной оболочки семян тыквы при начальной концентрации ионов Cu^{2+} 553 мг/г, pH = 7, температуре раствора 29 °С и дозировке сорбционных материалов 40 г/дм³. Определено, что изотермы адсорбции более точно описываются уравнением Ленгмюра, а кинетика адсорбции подчиняется модели псевдо-второго порядка. Вычисленные значения энергий активации адсорбции для исходной и модифицированной оболочек семян тыквы (42,4 и 69,42 кДж/моль соответственно) свидетельствуют о протекании хемосорбции [30].

Изучена адсорбция красителя «Methylene blue» нативными оболочками семян тыквы обыкновенной (*Cucurbita pepo L.*) при 30 °С. Найдено, что максимальная адсорбционная емкость по названному красителю составляет 141,92 мг/г, а изотерма адсорбции наиболее адекватно описывается моделью многослойной адсорбции ($R^2 = 0,999$), а кинетика процесса более точно описывается моделью псевдо-первого порядка. Изучение механизма процесса показало, что в начальный период протекает диффузионный процесс, в дальнейшем преобладающим является диффузия в мезо- и макропоры сорбционного материала (рис. 1) [31].

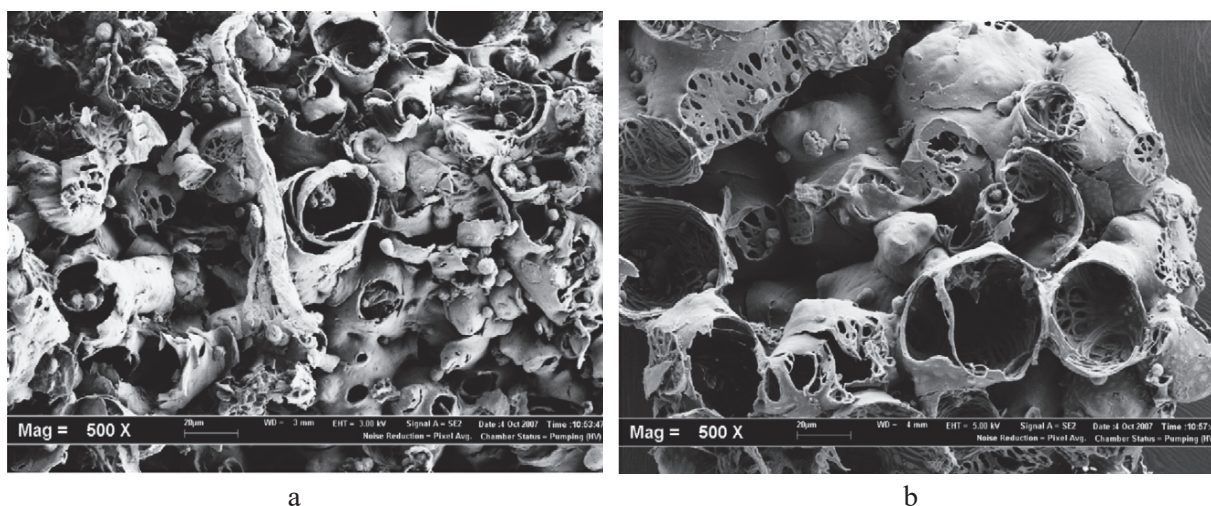


Рис. 1. Фотографии поверхности нативной оболочки семян тыквы (а) и после адсорбции красителя (б) (увеличение 500 раз)

Нами также изучена эффективность использования нативной и обработанной 10 %-ным раствором NaOH шелухи семян тыквы в качестве сорбционного материала по отношению к красителю «Methylene blue». При начальной концентрации красителя в растворе 20 мг/дм³, дозировке сорбционного материала 10 г/дм³ с размерами частиц 1-2 мм при температуре 25 °С, степень извлечения поллютанта нативной шелухой составляет 85 %, модифицированной – 92 % [32].

Также исследована адсорбция красителя марки «Reactive Black 5» из модельных растворов нативными оболочками семян тыквы обыкновенной. Найдено, что максимальная сорбционная емкость по указанному красителю составляет 9,18 мг/г при дозировке оболочек тыквы 1 г/дм³, pH = 2 и времени контактирования 30 минут при начальной концентрации поллютанта 100 мг/дм³. Изотерма адсорбции описывается уравнением Ленгмюра, а кинетика процесса – моделью псевдо-второго порядка [33].

Изучен процесс адсорбции красителя марки «Erithrosine B» на нативных оболочках семян тыквы. Определено, что максимальная сорбционная емкость по названному красителю составляет

16,4 мг/г при его начальной концентрации 400 мг/дм³. Механизм адсорбции обусловлен диффузией молекул эритрозина внутри частиц оболочек семян тыквы в зависимости от размера пор [34].

Исследована адсорбция красителя марки «Methyl orange» модифицированными обработкой этаноламином и соляной кислотой оболочками семян тыквы. Максимальная сорбционная емкость составила 200,3 мг/г при 318 К, pH=3 и T = 120 минут. Изотермы адсорбции в температурном интервале 298-318 К наиболее точно описываются моделью Sips, а кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка [35]. Расчеты термодинамических параметров ($\Delta G^{\circ} = -2.761, -4.473$ и -5.201 кДж/моль при температурах 298,308 и 318 К соответственно, $\Delta H^{\circ} = 33.37$ кДж/моль, $\Delta S^{\circ} = 123$ Дж/моль·К) указывают на протекание самопроизвольной эндотермической физической адсорбции.

2,4,6-трихлорфенол удалялся из водных растворов с использованием четырех сорбционных материалов из отходов переработки сельскохозяйственного сырья, в том числе и оболочками семян тыквы [36]. Определена максимальная сорбционная емкость оболочек семян тыквы по названному реагенту, которая составила 41,5 мг/г. При начальной концентрации 2,4,6-трихлорфенола 0,025 ммоль/дм³, pH = 6 и температуре раствора 25 °С, степень удаления поллютанта составила от 12 до 68 % при увеличении массы оболочек семян тыквы от 5 до 25 г/дм³. Выявлено, что изотерма адсорбции наиболее точно описывается уравнением Фрейндлиха ($R^2 = 0,9939$), а кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка.

Исследована адсорбция взвешенных веществ в виде угольной пыли из сточных вод с использованием модифицированных фосфорной кислотой или хлоридом аммония оболочек семян тыквы [37]. Изотерма адсорбции адекватно ($R^2 > 0,99$) описывается уравнением Ленгмюра, а кинетика процесса – уравнением псевдо-второго порядка.

В литературе имеются несколько сообщений об использовании в качестве сорбционного материала биомассы и оболочек семян так называемой «рифленной тыквы» (*Telfairia occidentalis*) – растения из семейства *Cucurbitaceae*, которое широко распространено в странах Западной Африки. Плоды рифленной тыквы очень крупные - от 16 до 105 см в длину и в среднем 9 см в диаметре, но несъедобны. Количество семян в больших тыквах достигает более 196 шт на плод, длина которых обычно составляет от 3,4 до 4,9 см. Съедобными являются семечки рифленной тыквы, которые состоят на 27 % из сырых белков и на 53 % - из жиров [38].

Нативная и карбоксилированная кожура рифленной тыквы различных размеров исследовалась для извлечения ионов Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} и Zn^{2+} [26]. При начальной концентрации названных ионов 100 мг/дм³, дозировке сорбционного материала 1,2 г/дм³, pH = 7,5 и 1 ч контактирования, степень извлечения нативной кожурой рифленной тыквы составили 90 %, 62 %, 95 % и 82 % соответственно. Для карбоксилированного образца кожуры рифленной тыквы степень извлечения названных ионов составили 63 %, 42 %, 78 % и 79 % соответственно.

Биомасса рифленной тыквы (*Telfairia occidentalis*), модифицированная сульфанилуксусной кислотой, исследовалась в качестве сорбционного материала для удаления ионов Cd^{2+} , Pb^{2+} и Zn^{2+} из модельных растворов. Установлено, что нативная биомасса порошка рифленной тыквы имеет площадь 33 м²/г, после модификации площадь образца увеличилась до 90 м²/г [39]. Найдено, что наилучшие сорбционные показатели достигаются при pH = 4, температуре раствора 40 °С и времени контактирования более 30 минут. Из уравнения Ленгмюра определены максимальные сорбционные емкости по ионам Cd^{2+} , Pb^{2+} и Zn^{2+} для нативной биомассы рифленной тыквы составили 9,79, 9,54 и 13,33 мг/г соответственно, для модифицированной биомассы *Telfairia occidentalis* – 11,34, 9,26 и 17,18 мг/г соответственно. Рассчитанные термодинамические параметры свидетельствуют о протекании экзотермической физической адсорбции.

Исследована адсорбция ионов двухвалентных металлов - Hg, Rh, Pt и Pd биомассой рифленной тыквы. Определено, что максимальная сорбционная емкость по названным металлам составила 9.89 мг/г, 9.81 мг/г, 10.59 мг/г и 6.84 мг/г соответственно и коррелируют с размерами ионов названных металлов [40]. Данное утверждение подтверждено экспериментами по адсорбции ионов Al^{3+} , Co^{2+} и Ag^{+} биомассой рифленной тыквы. Максимальная сорбционная емкость по названным ионам составила 16.98 мг/г, 10.34 мг/г и 8.03 мг/г соответственно и коррелировали с размерами ионов. С уменьшением размера иона металла ($Al^{3+} = 0.52$ А; $Co^{2+} = 0.78$ А и $Ag^{+} = 1.26$ А) сорбционные показатели увеличивались [40]. Определено, что изотермы адсорбции ионов металлов хорошо ($R^2 > 0,99$) описываются уравнением Ленгмюра [39, 40] и Фрейндлиха [41].

Также нативная и модифицированная 2-меркаптоэтановой кислотой биомассы *Telfairia occidentalis* исследовались в качестве сорбционного материала для удаления ионов Ni^{2+} из модельных растворов. Найдено, что нативная биомасса имеет значение максимальной сорбционной емкости по ионам Ni^{2+} 12,69 мг/г, а обработанная 0,5 и 1,0 Н растворами 2-меркаптоэтановой кислот – 40,0 и 42,19 мг/г соответственно [42]. Найдено, что при начальной концентрации ионов Ni^{2+} в растворе 50 мг/дм³, наибольшая степень извлечения последних достигается при pH = 4-5,5, температуре 30 °С и 10 минут контактирования. Определенные термодинамические параметры свидетельствуют о том, что процесс носит физический характер и экзотермичен.

Исследовано удаление красителей марок «Congo red», «Bromocresol green» и «Indigo carmine» с использованием высушенной биомассы плодов чайота съедобного (*Sechium edule*) - съедобное растение из рода *Sechium* семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*) и плодов тыквы фиголистной (*Cucurbita ficifolia*) в дозировке от 10 до г/дм³. Определено, что биомасса плодов чайота способствует полному исчезновению окраски в растворах через 24 ч контактирования. Кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка [43].

Арбуз. Несколько больше публикаций в литературных источниках посвящены исследованию отходов от переработки арбузов в качестве эффективных сорбционных материалов. Арбуз обыкновенный (*Citrullus lanatus*) – однолетнее травянистое растение, вид рода Арбуз (*Citrullus*) семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*). Плод - тыква, шаровидной, овальной, уплощённой или цилиндрической формы; окраска коры от белой и жёлтой до тёмно-зелёной с рисунком в виде полосок и пятен; мякоть розовая, красная, малиновая, реже - белая и жёлтая [44]. Плодовая мякоть арбуза содержит от 5,5 до 13 % легкоусваиваемых сахаров (глюкоза, фруктоза и сахароза). К моменту созревания преобладают глюкоза и фруктоза, сахароза накапливается в процессе хранения арбуза. В мякоти содержатся пектины - 0,68 %, белки - 0,7 %; кальций - 14 мг/% (мг на 100 г), магний - 224 мг/%, натрий - 16 мг/%, калий - 64 мг/%, фосфор - 7 мг/%, ; витамины - тиамин, рибофлавин, фолиевая кислота, каротин - 0,1-0,7 мг/%, аскорбиновая кислота - 0,7-20 мг/%, щелочные вещества [44].

Человеком для питания, главным образом, употребляется мякоть ягоды арбуза. После ее употребления основным отходом является корка. Последняя не содержит в своем составе аминокислоты, и включает некоторые витамины: ретинола (витамин А) – 51,5 мг/100 г, аскорбиновая кислота (витамин С) – 7,23 мг/100 г, а также витамины В₁, В₂, В₃ и В₆ в количестве 0,03, 0,02, 0,04 и 0,04 мг/100 г соответственно [44]. Также в арбузной корке содержатся элементы – от 4 мг/кг меди до 1297 мг/кг фосфора [45]. Корки арбуза широко используются в различных отраслях [24].

Одним из направлений использования корок арбуза является возможность их использования в качестве сорбционных материалов различных поллютантов [46-74].

Ионы тяжелых металлов. Наличие в составе корки арбуза биополимеров с различными функциональными группировками – -C(O)OH в составе пектина, -OH в составе целлюлозы, -NH₂ в протеинах и др. должны способствовать извлечению ионов металлов. Ниже приведены сорбционные характеристики и условия проведения экспериментов по изучению удаления ионов тяжелых металлов с использованием нативной и модифицированной корки плодов арбуза (табл. 1). Согласно таблицы 1: С₀ - начальная концентрация поллютантов в растворах, DS – дозировка сорбционного материала, Т – температура проведения эксперимента, t – время проведения процесса адсорбции, А_{max} – максимальная адсорбционная емкость.

Как следует из приведенных в таблице 1 данных, эксперименты по адсорбции ионов металлов и аммонийного азота проводились в различных условиях. Данное обстоятельство способствовало тому, что полученные адсорбционные показатели имеют широкий интервал значений. Общим для всех исследований является то, что изотермы адсорбции нативными и модифицированными корками арбуза наиболее точно описываются уравнением Ленгмюра, а кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка.

Таблица 1.

Условия проведения экспериментов и адсорбционные характеристики нативной и модифицированной корки плодов арбуза по ионам тяжелых металлов

Ион металла	Условия проведения эксперимента	Адсорбционные характеристики	Примечание	Источник
As ³⁺	D _{сорб} < 0,2 мм, C ₀ = 4 мг/дм ³ , pH = 7,2-8,2, t = 60 мин, DS = 1 г/дм ³ , модификация ксантатом и лимонной кислотой	A = ~ 4 мг/г, степень удаления – 99 %	Уравнение Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики	[46]
As ⁵⁺	D _{сорб} < 0,2 мм, C ₀ = 4 мг/дм ³ , pH = 4,5-5,3, t = 60 мин, DS = 1 г/дм ³ , модификация ксантатом и лимонной кислотой	A = ~ 4 мг/г, степень удаления – 98 %	Уравнение Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики	[46]
Cd ²⁺	C ₀ = 50-200 ppm, pH = 2-8, 50 rpm, t = 5-120 мин, DS = 0,5-5,0 г/дм ³	A _{макс} = 63,29 мг/г	Уравнение Ленгмюра (R ² = 0,995), псевдо-второй порядок кинетики (R ² = 1,0)	[47]
Cr ³⁺	C ₀ = 50-300 ppm, pH = 2-8, 150 rpm, t = 30 мин, DS = 0,5-5,0 г/дм ³	A _{макс} = 172,6 мг/г, максимальная степень удаления – 90,8 % (pH = 3, C ₀ = 50 ppm, DS = 1,5 г/дм ³)	Уравнение Ленгмюра (R ² = 0,9989), псевдо-второй порядок кинетики; ΔG° = -3.330, -2.234 и -2.165 кДж/моль (303, 313 и 323 K), ΔH° = -3.741 кДж/моль, ΔS° = -582 Дж/моль·K	[48]
Cu ²⁺	C ₀ = 10 mg/dm ³ ; pH = 6.48; DS = 1 g/dm ³ ; t = 10 h; 125 rpm; T = 20 °C	A _{макс} = 5,73 мг/г		[49]
Cu ²⁺	C ₀ = 5-20 mg/dm ³ , DS = 0,5-2 g/dm ³ , pH = 2-10, t = 1-4 h	A _{макс} = 9,54 мг/г	Уравнение Фрейндлиха	[50]
Cu ²⁺	C ₀ = 10 mg/dm ³ , DS = 0,02-2 g/dm ³ , T = 26 °C, 150 rpm, t = 1-200 min,	A _{макс} = 111,1 мг/г	Уравнение Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики, ΔG° = -4.584, -4.916 и -5.249 кДж/моль (303, 313 и 323 K), ΔH° = -5.494 кДж/моль, ΔS° = 33.26 Дж/моль·K	[51]
Cu ²⁺	C ₀ = 10-40 мг/дм ³ , DS = 0,2-2 g/dm ³ , T = 30 °C, t = 1-60 min, pH = 2-8, обработка ультразвуком мощностью 60-130 ватт.	A _{макс} = 31,25 мг/г (модификация Ca(OH) ₂), A _{макс} = 27,03 мг/г (модификация лимонной кислотой).	Уравнение Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики.	[52]
Ni ²⁺	C ₀ = 10-60 мг/дм ³ , pH = 2-10, DS = 1-5 g/dm ³ , t = 2-120 min, T = 30 °C,	S = 150.6 м ² /г, A _{макс} = 38,98 мг/г	Уравнение Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики, диффузионная модель Dumwald–Wagner (R ² = 0.9795).	[53]
NH ₄ ⁺	C ₀ = 1-50 мг/дм ³ , pH = 5-7, DS = 10-40 g/dm ³ , t = 1-40 min, модификация растворами KOH, NaOH, H ₂ SO ₄ (20 mmol/dm ³)	A _{макс} = 1,24 мг/г (нативная кожура арбуза), 1,21 mg/g (KOH), 1,21 (NaOH), 1,23 (H ₂ SO ₄).		[54]
NH ₄ ⁺	C ₀ = 1-50 мг/дм ³ , pH = 7, модификация растворами KOH, NaOH, H ₂ SO ₄ (20 mmol/dm ³)	A _{макс} = 1,22 мг/г (нативная кожура арбуза), 1,21 mg/g (KOH), 1,19 (NaOH), 1,19 (H ₂ SO ₄).	Уравнение Ленгмюра (R ² = 1,0 во всех случаях), псевдо-второй порядок кинетики (R ² = 1,0 во всех случаях)	[55]
Zn ²⁺	C ₀ = 100 ppm/dm ³ , pH = 6, T = 60 °C, 150 rpm, DS = 4 g/dm ³ , модификация растворами лимонной кислоты, H ₂ SO ₄ , Ca(OH) ₂ , NaOH	A _{макс} = 13.10 мг/г (Untreated), 5.08 мг/г (Citric Acid), 3.78 мг/г (H ₂ SO ₄), 22.55 мг/г (NaOH), 17.55 мг/г (Ca(OH) ₂)		[56]
Zn ²⁺	C ₀ = 400 мг/дм ³ , pH = 8, DS = 1.5 mg/dm ³ , t = 30 min			[57]

Проведены исследования, в которых при одинаковых условиях исследовался процесс адсорбции коркой арбуза двух или трех ионов металлов. Так, например, исследована адсорбция ионов Co^{2+} и Ni^{2+} высушенными корками арбуза при равных условиях – начальная концентрация ионов металлов 50 мг/дм^3 , $\text{pH} = 5$, время контактирования – 30 минут, дозировка сорбционного материала – 2.0 и 2.5 г/дм^3 , соответственно. Найдено, что максимальная сорбционная емкость по ионам Co^{2+} составила 23.3 мг/г , по ионам Ni^{2+} – 35.3 мг/г [58].

Обработанная $0,1 \text{ М}$ раствором HCl высушенная корка арбуза имеет значения максимальной сорбционной емкости по ионам Cu^{2+} и Pb^{2+} $39,2 \text{ мг/г}$ и $116,2 \text{ мг/г}$ соответственно [59]. Другими исследователями найдено, что при сопоставимых условиях проведения эксперимента, максимальная сорбционная емкость по ионам Pb^{2+} составила $1,4 \text{ мг/г}$, по ионам Zn^{2+} – $23,3 \text{ мг/г}$ [60] при степени очистки $77,3 \%$ и $90,3 \%$ соответственно [61].

Также исследован процесс адсорбции нативной высушенной коркой арбуза ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} . При начальной концентрации всех ионов металлов в растворе 10 мг/дм^3 , эффективность извлечения названных ионов расположили в ряд $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn}$. Рассчитанные из изотерм адсорбции по уравнению Ленгмюра значения максимальной сорбционной емкости составили 98.06 , 6.28 и 6.85 мг/г соответственно [62]. Обработанная 5% -ным раствором HNO_3 арбузная корка использовалась для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов. При начальной концентрации ионов Zn^{2+} $2,5 \text{ мг/дм}^3$, Fe^{3+} – $0,9 \text{ мг/дм}^3$ и Pb^{2+} – $0,09 \text{ мг/дм}^3$, конечные концентрации составили $0,36 \text{ мг/дм}^3$ (степень извлечения $85,6 \%$), $0,35 \text{ мг/дм}^3$ ($61,1 \%$) и $0,04 \text{ мг/дм}^3$ ($55,6 \%$) соответственно [63].

Арбузные корки также изучались в качестве биосорбента для удаления красителей из водных сред. Сведения об условиях проведения экспериментов и полученные результаты по адсорбции различных красителей кожурой арбуза приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Условия проведения экспериментов и адсорбционные характеристики нативной и модифицированной корки плодов арбуза по красителям

Краситель	Условия проведения эксперимента	Адсорбционные характеристики	Примечание	Источник
Methylene blue	$C_0 = 50-400 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 3-10$, $t = 0-180 \text{ мин}$, $\text{DS} = 0,2-2,0 \text{ г/дм}^3$, 125 rpm	$A_{\text{max}} = 188,68 \text{ мг/г}$	Уравнения Ленгмюра и Темкина, псевдо-второй порядок кинетики; $\Delta G^\circ = -5.811, -5.796$ и -5.781 кДж/моль ($303, 313$ и 323 К), $\Delta H^\circ = -6.267 \text{ кДж/моль}$, $\Delta S^\circ = -1503 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$	[64] [65]
Brilliant green	Модификация ортофосфорной кислотой	$A_{\text{max}} = 92,6 \text{ мг/г}$ (нативная корка), $A_{\text{max}} = 188,6 \text{ мг/г}$ (модифицированная)	Уравнения Ленгмюра, псевдо-второй порядок кинетики	[66]
Congo Red	$C_0 = 5-300 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 2-12$, $t = 5-240 \text{ мин}$, $\text{DS} = 2-10 \text{ г/дм}^3$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, 300 rpm	$A_{\text{max}} = 24,75 \text{ мг/г}$	Уравнение Ленгмюра ($R^2 = 0.9998$)	[67]
Methyl orange	$C_0 = 300 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 2-12$, $t = 5-240 \text{ мин}$, $\text{DS} = 2 \text{ г/дм}^3$, $T = 303-333 \text{ К}$, 150 rpm	$A_{\text{max}} = 24,86 \text{ мг/г}$	псевдо-второй порядок кинетики	[68]
Remazol Brilliant Blue	$C_0 = 25-150 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 2-10$, $t = 24 \text{ ч}$, $\text{DS} = 0,5-1,5 \text{ г/дм}^3$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 rpm	$A_{\text{max}} = 29,4 \text{ мг/г}$	Уравнения Фрейндлиха ($R^2 = 0,945$), псевдо-второй порядок кинетики ($R^2 = 0,99$)	[69]
Alizarin Red-S	$C_0 = 5-40 \text{ ppm}$, $\text{pH} = 1-10$, $t = 5-80 \text{ мин}$, $\text{DS} = 0,5-1,5 \text{ г/дм}^3$, $T = 20-70 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 rpm	Максимальная эффективность удаления красителя – $94,0 \%$. $A_{\text{max}} = 79,6 \text{ мг/г}$	Уравнение Темкина ($R^2 = 0,987$), псевдо-второй порядок кинетики ($R^2 = 0,903$). $\Delta G^\circ = -15,40 \text{ кДж/моль}$	[70]
Emerald green		$A_{\text{max}} = 2,1 \text{ мг/г}$	$\Delta G^\circ = -2,785 \text{ кДж/моль}$	[71]

Продолжение табл. 2

Methyl Orange, Rhodamine B	$C_0 = 10-310 \text{ мг/дм}^3$, pH = 2-12, t = 5-120 мин ч, DS = 1-20 г/дм ³ , T = 25 °C, 300 rpm. Обработка серной кислотой и отжиг при 300 °C в течение 3 ч.	Степень удаления красителей ~ 100 %	псевдо-второй порядок кинетики	[72]
Basic red 2, Orange G	$C_0 = 140 \text{ мг/дм}^3$, pH = 2-11, t = 180 мин ч, DS = 0,35-25 г/дм ³ , T = 293-318 K, 150 rpm.	$A_{\text{max}} = 73,53 \text{ мг/г}$ (Basic red 2), $A_{\text{max}} = 68,14 \text{ мг/г}$ (Orange G)	Обе изотермы описываются моделью Ленгмюра, кинетика наиболее точно описывается model of Fractal-like. $\Delta G^\circ = -23,62 - -21,23 \text{ кДж/моль}$ (293-318 K), $\Delta H^\circ = 0,09 \text{ кДж/моль}$, $\Delta S^\circ = -50,04 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ (Basic red 2); $\Delta G^\circ = -22,39 - -24,73 \text{ кДж/моль}$ (293-318 K), $\Delta H^\circ = -0,94 \text{ кДж/моль}$, $\Delta S^\circ = 5,127 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ (Orange G)	[73]
Fuorescein, Eosin	$C_0 = 50 \text{ мг/дм}^3$, pH = 1-7, t = 30 мин ч, DS = 4-40 г/дм ³ , T = 30 °C, 100 rpm. Обработка 0.1N NaOH and 0.1N HNO ₃	Максимальная степень удаления Fluorescein - 64,83 % (нативный), 81,96 % (HNO ₃), 86,33 % (NaOH); Eosin - 64,74 % (нативный), 76,01 % - (HNO ₃), 79,41 % (NaOH)	Изотермы адсорбции описываются моделью Ленгмюра (Fluorescein) и Фрейндлиха (Eosin). Псевдо-второй порядок кинетики. $\Delta H^\circ = -0,048 \text{ кДж/моль}$, $\Delta S^\circ = 59 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ (Fluorescein); $\Delta H^\circ = -0,051 \text{ кДж/моль}$, $\Delta S^\circ = 34 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ (Eosin)	[74]
Methylene blue, Crystal violet, Rhodamine B		$A_{\text{max}} = 489.8 \text{ мг/г}$ (Methylene blue), 104.76 мг/г (Crystal violet), 86.6 мг/г (Rhodamine B)		[75]

Реальные сточные воды, содержащие красители, очищались композиционным материалом, изготовленным из высушенной корки арбуза и хитозана. Сточные воды имели значение pH = 8,54, ХПК – 455 мгО/дм³. Найдено, что оптимальная дозировка композиционного сорбционного материала составила 8 г/дм³; при pH =2 эффективность извлечения красителей составила ~ 100 % [76].

При переработке ягод арбуза в качестве отходов образуются и семена. Последние также исследовались в качестве сорбционных материалов для удаления ионов тяжелых металлов и красителей из водных сред. Имеются сообщения об извлечении ионов Cd²⁺ оболочками семян арбуза. Найдено, что при начальной концентрации иона металла 10 мг/дм³, сорбционный материал полностью извлекает поллютант, при увеличении начальной концентрации до 60 мг/дм³, степень удаления ионов Cd²⁺ составляет 40,9 %. Наибольшая степень удаления при данной концентрации (47,7 %) достигается при pH =3 и дозировке шелухи семян арбуза 2,5 г/дм³ [77].

Изучена биосорбция ионов Cu²⁺ и Pb²⁺ из водных растворов с использованием оболочек семян арбуза. Определялось влияние pH (2–6), дозы биосорбента (0,1–1,0 г), начальной концентрации ионов металлов (10–500 мг/дм³), времени контакта (5–270 мин) и температуры (293–333 K) на адсорбционные характеристики. Определено, что изотерма адсорбции наиболее точно описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [78].

Установлено, что адсорбция этих двух металлов на оболочках семян арбуза является спонтанным и эндотермическим процессом.

Оболочки семян арбуза исследовались для удаления красителя «Methylene blue» из модельных растворов. Найдено, что наибольшая степень извлечения (87,28 %) красителя при его начальной концентрации 100 мг/дм³ достигается в течение 120 минут контактирования при дозировке сорбционного материала 1,5 г/дм³ и pH = 10. Найдено, что изотерма адсорбции наиболее адекватно описывается моделью Фрейндлиха [79].

Сами семена арбуза также исследовались в качестве сорбционного материала для извлечения ионов Pb²⁺ из различных образцов воды (пресной, артезианской, морской). Концентрация ионов свинца составляла 5 мг/дм³. Показано, что степень извлечения названных ионов составляет 93,6 – 96,8 % в зависимости от вида воды. Определено, что максимальная сорбционная емкость семян арбуза по ионам Pb²⁺ составляет 9,64 мг/г при pH = 6. Термодинамические параметры ($\Delta G^\circ = -20,96$ кДж/моль (333 К), $\Delta H^\circ = 18,51$ Дж/моль, $\Delta S^\circ = 63,0$ Дж/моль·К) указывают на протекание спонтанного эндотермического процесса [80].

Исследован процесс адсорбции красителя марки «Reactive yellow 145» измельченными семенами арбуза, предварительно подвергнутых обработке гексаном в аппарате Сокслета. Определялось влияние различных параметров на сорбционные показатели материала. Из уравнения Ленгмюра найдено, что максимальная сорбционная емкость семян арбуза может составлять 115 мг/г, реально – несколько более 83 мг/г. Определено, что изотерма адсорбции более точно описывается уравнением Фрейндлиха, а кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка [81].

Городские сточные воды очищались с использованием в качестве коагулянта и загрузки биофильтра семян арбуза. Отмечено, что использование последних позволяет снизить значения БПК на 91 %, ХПК – на 79 %, нитрат-ионов – на 26,3 %, нитрит-ионов – на 95 % [82]. Указывается, что использование коагулирующей композиции, состоящей на 80 % из измельченных семян арбуза и 20 % квасцов, позволяет удалить мутность и цветность речной воды на 100 % [83].

В литературных источниках имеются сведения об использовании в качестве сорбционных материалов биомассы и отходов от переработки дыни (*Cucumis melo*) — растение семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*), вид рода Огурец (*Cucumis*), бахчевая культура. Однолетнее травянистое растение со стелющимися округло-гранёными стеблями, снабжёнными усиками. Листья крупные, очередные, без прилистников, округло-яйцевидные или пальчато-лопастные, на длинных черешках. Цветки обоеполые, бледно-жёлтые. Плод — тыква, имеет шаровидную или цилиндрическую форму с мощным кожистым экзокарпием, сочным мезокарпием и эндокарпием; разнообразной окраски и формы, с белой или зеленоватой мякотью [84].

В процессе переработки плодов дыни образуются отходы – кожура и семена, которые могут использоваться для получения различных биологически активных веществ, в качестве субстрата для твердофазной ферментации и т.д. [24, 85].

Также высушенные корки плодов дыни исследовались в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. В частности, кожура дыни использовалась для удаления ионов Cd²⁺ из водной фазы. Результаты указывают на увеличение поглощения ионов Cd²⁺ с увеличением начальной концентрации ионов Cd²⁺, pH раствора и времени контакта. Найдено, что максимальная сорбционная емкость составляет 81,97 мг/г. Найдено, что модель Ленгмюра обеспечивает наилучшую корреляцию экспериментальных данных, а модель псевдо-второго порядка наиболее применима для описания кинетики адсорбции ионов Cd²⁺ кожурой дыни [86].

Ионы Cu²⁺ удалялись в динамическом режиме адсорбции с использованием в качестве сорбционного материала высушенных корок дыни. Начальные концентрации ионов Cu²⁺ составили от 20 до 200 мг/дм³, высота слоя сорбционного материала – 0,5-1,25 м. Найдено, что с увеличением слоя корок дыни и уменьшении концентрации ионов Cu²⁺, время достижения проскока увеличивается [87].

Высушенная кожура дыни использовалась для удаления ионов Fe²⁺, Mn²⁺ и Pb²⁺ из грунтовых вод с варьированием параметров pH, дозировка биосорбента, начальная концентрации ионов металлов и время контакта. Найдено, что адсорбция была наиболее эффективной при pH = 7 по ионам Fe²⁺ и pH = 6,5 – по ионам Mn²⁺ и Pb²⁺ при дозировке биосорбента 0,5 г/дм³ и времени контакта 45 минут. Найдено, что названных условиях удаляется до 90,73 %, 91,47 % и 90,94 % названных ионов соответственно. Определено, что изотермы адсорбции более точно описываются

моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Максимальная адсорбционная емкость, найденная из уравнения Ленгмюра, составила 5,35 мг/г, 2,75 мг/г и 0,083 мг/г для ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Pb^{2+} соответственно [88-90].

Кожура плодов дыни исследовалась для извлечения красителя «Methylene blue» в статических условиях. Найдено, что максимальная сорбционная емкость составляет 333 мг/г [91]. Экспериментами, проведенными в работе [92], определено, что максимальная сорбционная емкость по красителю «Methylene blue» составляет 46,4 мг/г. Данное значение получено при начальной концентрации красителя 500 мг/дм³. Определено, что в обоих работах изотерма адсорбции адекватно описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [91, 92]. Также проводились эксперименты в динамических условиях с варьированием исходных концентраций красителя и скоростей потока. Найдено, что высокая высота слоя, низкая скорость потока и высокая начальная концентрация красителя являются лучшими условиями для максимальной адсорбции красителя. Определено, что графические зависимости хорошо описываются моделями Бохарта и Адамса, Кларка, Юна и Нельсона [93].

Также отходом от переработки плодов дыни являются семена. Проведены эксперименты по адсорбции ионов Pb^{2+} измельченными нативными семенами дыни. Найдено, что увеличение дозировки биосорбента увеличивает степень извлечения поллютанта. Определено, что изотерма адсорбции более точно описывается моделью Ленгмюра с максимальной биосорбционной емкостью моно слоя $3,64 \times 10^{-4}$ моль/г, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Рассчитанные термодинамические параметры свидетельствуют, что биосорбция ионов Pb^{2+} на биомассе кожуры дыни была спонтанным и эндотермическим процессом [94].

Шелуха семян дыни также исследовались в качестве сорбционного материала. В частности, показана возможность удаления оболочек семян дыни красителя «Methylene blue» из модельных растворов с начальной концентрацией 30 мг/дм³. Найдено, что при pH=7, дозировке шелухи семян дыни 1,5 г/дм³ через 150 минут контактирования эффективность извлечения красителя составила 91,6 %. Определено, что изотерма адсорбции и кинетические параметры процесса наилучшим образом соответствовали изотерме Темкина и кинетической модели псевдо-первого порядка [95].

В мировой литературе имеются несколько публикаций по использованию компонентов мускусной дыни или другое название - канталупа (*Cucumis melo var. cantalupensis*) - растения семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*), разновидности дыни. Плоды канталупы покрыты полосатой кожурой. В длину, как правило, 15—25 см. Нежно-оранжевая мякоть сочная, плотная, сладкая и ароматная. Внутри объемная семенная камера с множеством овальных плосковатых зерен [96].

Нативная высушенная и модифицированная поливиниловым спиртом кожура канталупы исследовались, в частности, для адсорбции ионов Cd^{2+} с начальной концентрацией 50 мг/дм³ из модельных растворов. Найдено, что эффективность удаления названных ионов составила, соответственно, 71 и 79 % при дозировке сорбционных материалов 15 г/дм³ и времени контактирования 100 минут. Выявлено, что изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса - моделью псевдо-второго порядка. По рассчитанным термодинамическим параметрам процесса определено, что процесс адсорбции является эндотермическим и спонтанным [97].

Модифицированная суспензией гидроксида кальция кожура канталупы также исследовалась для извлечения ионов Pb^{2+} из модельных растворов. Найдено, что максимальная адсорбционная емкость по ионам Pb^{2+} составляет 0,81 моль/кг при начальной концентрации поллютанта 1 моль/дм³. Изотерма адсорбции, как и предыдущем случае, хорошо описывается моделью Ленгмюра, а уравнение кинетики – моделью псевдо-второго порядка [98].

Шелуха семян канталупы использовалась для удаления пестицида бутахлор из водных растворов. Определено, что наибольшая сорбционная емкость по бутахлору составляет 142,8 мг/кг при pH = 3. Изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Фрейндлиха ($R^2 = 0,9977$), а кинетика процесса – моделью псевдо-второго порядка. По рассчитанным термодинамическим параметрам процесса ($\Delta G^\circ = -0,646 - -3,989$ кДж/моль (308-343 K), $\Delta H^\circ = -20,91$ Дж/моль, $\Delta S^\circ = -68,0$ Дж/моль·K) определено, что процесс адсорбции является экзотермическим и спонтанным [99].

К растениям семейства тыквенные относятся огурцы (*Cucurbita*), которые широко распространены на земном шаре. Огурец обыкновенный, или Огурец посевной (*Cucumis sativus*) - однолетнее травянистое растение, вид рода Огурец (*Cucumis*) семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*), овощная культура. Стебель — стелющийся, шершавый, заканчивается

усиками, которыми он может зацепиться за опору, вытянувшись при этом на 1-2 м. Листья сердцевидные, пятилопастные. Плод - многосемянный, сочный, изумрудно-зелёный, пупырчатый. Строение плода характерно для семейства тыквенных и в ботанической литературе определяется как тыква. Он может иметь различную форму и размер (в зависимости от сорта) [100].

В кожуре, семенах и мякоти огурцов обнаружено 109 соединений. Результаты исследований показали, что кожура и семена огурца содержат богатые питательные вещества, такие как ароматические соединения, β -токоферол, сквален, зингиберен, катин, линолевая кислота и другие [101]. Также обнаружены такие сахарады как рамноза, арабиноза, ксилоза, манноза и глюкоза [102].

Биомасса и отходы от переработки огурцов также исследовались в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Так, например, высушенная кожура плодов огурца исследовалась для удаления ионов Cd^{2+} из водных сред в статических и динамических условиях [103-106]. Определено, что максимальная сорбционная емкость по ионам Cd^{2+} составляет 0,998 ммоль/г [103], а адсорбция осуществляется по функциональным –ОН группам, входящих в состав биополимеров и других соединений.

В работе [104] также исследовалась адсорбция ионов Cd^{2+} кожурой огурца в статических условиях. Найдено, что при начальной концентрации 10 мг/дм^3 , $pH = 5$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$, дозировке сорбционного материала 2 г/дм^3 , максимальная эффективность удаления ионов кадмия составляет 90,2 %. Найдено, что изотерма адсорбции более точно описывается моделью Фрейндлиха, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Из рассчитанных термодинамических параметров процесса выявлено, что процесс адсорбции экзотермический и протекает спонтанно.

Также исследовалось удаление ионов Cd^{2+} измельченной кожурой огурца в динамических условиях. Определено, что при начальной концентрации ионов кадмия 50 мг/дм^3 , скорости прохождения потока жидкости через слой сорбционного материала высотой 8 см $20 \text{ см}^3/\text{мин}$, эффективность удаления поллютанта составляет 78,03%, а максимальная сорбционная емкость – $107,76 \text{ мг/г}$ [105].

Для увеличения адсорбционной емкости по ионам Cd^{2+} кожуры огурца, последнюю обрабатывали раствором HCl. При начальной концентрации ионов кадмия 20 мг/дм^3 , максимальная адсорбционная емкость увеличилась с $3,6 \text{ мг/г}$ [104] до $58,1 \text{ мг/г}$ при 298 K [106]. Найдено, что изотерма адсорбции в данном случае уже более точно описывается моделью Ленгмюра при таких же других показателях процесса.

Также исследовалась адсорбция ионов Pb^{2+} высушенной коркой плодов огурца в статических условиях. Найдено, что максимальная адсорбционная емкость по ионам свинца составляет $28,25 \text{ мг/г}$ при начальной концентрации последних в растворе 25 мг/дм^3 и температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Определено, что изотерма адсорбции наиболее точно описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса – моделью псевдо-второго порядка. Определено, что адсорбция имеет спонтанную природу и экзотермична [107].

В тоже время, в работе [108] определено, что максимальная адсорбционная емкость кожуры огурца по ионам Pb^{2+} составляет $133,6 \text{ мг/г}$ при температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $pH = 5$ и времени контакта 60 минут.

Кожура огурца также исследовалась в качестве сорбционного материала для удаления ионов Cu^{2+} и Pb^{2+} [109]. Определено, что максимальная адсорбционная емкость по названным ионам составляет $88,5$ и $147,1 \text{ мг/г}$, соответственно. Данные показатели получены при начальной концентрации ионов 100 мг/дм^3 (Cu^{2+}) и 150 мг/дм^3 (Pb^{2+}), $pH = 5$ и времени контактирования 60 и 85 минут, соответственно.

Высушенная кожура плодов огурцов также исследовались для извлечения различных красителей из водных сред [110-115]. Так, в частности, определено, что максимальная адсорбционная емкость кожуры огурца по отношению к красителю «Crystal violet» составляет $149,25 \text{ мг/г}$; изотерма адсорбции описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [111]. В работе [112] определено из уравнения Ленгмюра, что максимальная сорбционная емкость кожуры огурца по названному красителю составляет $34,24 \text{ мг/г}$. При начальной концентрации красителя «Crystal violet» 25 мг/дм^3 , $pH = 7$ и дозировке кожуры 4 г/дм^3 степень удаления красителя составила $92,15 \%$.

Также изучалась удаление красителя «Acid red 1» высушенной кожурой огурца. При начальной концентрации красителя 100 мг/дм³, дозировке кожуры 12,5 г/дм³ и pH = 2, максимальная сорбционная емкость составляет 3,21 мг/г [113]. Определено, что изотерма адсорбции более точно ($R^2 = 0,984$) описывается моделью Дубинина-Радускевича.

Определялась и сравнивалась сорбционная емкость по красителям «Methylene blue» и «Orange G» кожуры банана, огурца и томата. Найдено, что максимальная адсорбционная емкость кожуры огурца по метиленовому синему составляет 179,9 мг/г, что уступает таковому показателю у кожуры банана и выше чем у кожуры томата. По красителю «Orange G» таковой показатель составляет 40,5 мг/г и превышает значения остальных исследованных сорбционных материалов [114].

Измельченная и высушенная кожура огурца исследовалась в качестве сорбционного материала для удаления красителей марок «Crystal violet» и «Rhodamine B». Определено, что максимальная сорбционная емкость, определенная из уравнения модели Ленгмюра, по названным красителям составила 33,22 мг/г и 40,82 мг/г, соответственно. Определено, что изотермы адсорбции наиболее точно описываются моделью Ленгмюра, а кинетика процесса – моделью псевдо-второго порядка [115]. Информации об использовании биомассы и отходов от переработки кабачков и патиссонов в литературе не найдены.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проанализированы и обобщены сведения по использованию отходов от переработки бахчевых культур. Определено, что высушенные корки плодов тыквы, арбуза, дыни, огурца обладают хорошими сорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов и красителей различных марок. Большинство изотерм адсорбции наиболее точно описываются моделью Ленгмюра, реже – моделью Фрейндлиха. Определено, что кинетика процесса адсорбции во всех случаях описывается моделью псевдо-второго порядка. Для увеличения адсорбционных характеристик по поллютантам, адсорбционные материалы модифицировались различными реагентами.

Работа выполнена в БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе им. В.Г. Шухова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sanghi, R. Decolorisation of aqueous dye solutions by low-cost adsorbents: a review / R. Sanghi, P. Verma // Coloration Technology. – 2013. – Vol. 129. – P. 85–108.
2. Bharathi, K.S. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review / K.S. Bharathi, S.T. Ramesh. // Applied Water Science. – 2013. – Vol. 3. – P. 773–790. DOI 10.1007/s13201-013-0117-y.
3. Afroze, S.A Review on Heavy Metal Ions and Dye Adsorption from Water by Agricultural Solid Waste Adsorbents / S. Afroze, T.K. Sen. // Water Air Soil Pollution. – 2018. – Vol. 229: 225. – 50 p. DOI 10.1007/s11270-018-3869-z.
4. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review / [Y. Dai, Q. Sun, W. Wang et al.] // Chemosphere. – 2018. – Vol. 211. – P. 235-253. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.06.179.
5. Rangabhashiyam, S. Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents / S. Rangabhashiyam, N. Anu, N. Selvaraju // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2013. – Vol. 1. – P. 629–641. DOI 10.1016/j.jece.2013.07.014.
6. Crini, G. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment / G. Crini, E. Lichtfouse, L.D. Wilson. N. Morin-Crin. // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 195–213. DOI 10.1007/s10311-018-0786-8.
7. Varghesy, A.G. Remediation of heavy metals and dyes from wastewater using cellulose-based adsorbents / A.G. Varghese, S.A. Paul, M.S. Latha // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 867–877. DOI 10.1007/s10311-018-00843-z.
8. Mo, J. A review on agro-industrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment / J. Mo, Q. Yang, N. Zhang, W. Zhang, Y. Zheng, Z. Zhang // Journal of Environmental Management. – 2018. – Vol. 227. – P. 395–405. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.08.069.

9. Singh, N.B. Water purification by using Adsorbents: A Review / N.B. Singh, G. Nagpal, S. Agrawal, Rachna // *Environmental Technology & Innovation*. – 2018. – Vol. 11. – P. 187–240 DOI 10.1016/j.eti.2018.05.006.
10. Zhou, Y. Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review / Y. Zhou, J. Lu, Y. Zhou, Y. Liu // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 252. – P. 352-365 DOI 10.1016/j.envpol.2019.05.072.
11. Хунади, Л. Использование отходов переработки арахиса в качестве сорбционного материала / Л. Хунади, И.Г. Шайхиев, А.В. Святченко, Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба // *Chemical Bulletin*. – 2018. – Т. 1, №4. С. 40-49.
12. Шайхиев, И.Г. Использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / И.Г. Шайхиев // ч. I. Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2010. – № 3. – С. 15-25.
13. Свергузова, С.В. Адсорбции веретенного масла нативным и термомодифицированным листовым опадом каштанов / Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Святченко А.В., Том Отити // *Строительные материалы и изделия*. – 2018. – Т. 1, №1. – С. 4 – 11
14. Свергузова, Ж.А. О возможности использования отхода сахарной промышленности для очистки сточных вод / Свергузова Ж.А., Ельников Д.А., Свергузова С.В. // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2011. – № 3. – С. 128-133
15. Adesina, K. Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents / K. Adesina, A. Olugbenga, S. Bello // *Water Resources and Industry*. – 2015. – Vol. 12. – P. 8-24. DOI 10.1016/j.wri.2015.09.002.
16. Шайхиев, И.Г. Использование отходов от переработки биомассы овса в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, А.С. Гречина, К.И. Шайхиева // *Экономика строительства и природопользования*. – 2018. – № 2(67). – С. 51-60.
17. Шайхиев, И.Г. Использование отходов от переработки ячменя в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / И.Г. Шайхиев, О.А. Гальблауб, А.С. Гречина // *Вестник технологического университета*. – 2017. – Т. 20, № 23. – С. 110-117.
18. Lata, S. Removal of heavy metals using rice husk: A review / S. Lata, S.R. Samadder // *International Journal of Environmental Research and Development*. – 2014. – Vol. 4, № 2. – P. 165-170.
19. Farooq, U. Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature / U. Farooq, J.A. Kozinski, M.A. Khan, M. Athar // *Bioresource Technology*. – 2010. – Vol. 101. – P. 5043-5053. DOI 10.1016/j.biortech.2010.02.030.
20. Тыква [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тыква>.
21. Sánchez-Hernández, M.A. Multiplicación in vitro via organogenesis en calabaza / [M.A. Sánchez-Hernández, C. Sánchez-Hernández, C. Villanueva-Verduzco et al.] // *Agronomía mesoamericana*. – 2009. – Vol. 20, No 1. – P. 11-22.
22. Habib, A. Nutritional and lipid composition analysis of pumpkin seed (*Cucurbita maxima* Linn.) / [A. Habib, S. Biswas, A.H. Siddique et al.] // *Journal of Nutrition and Food Science*. – 2015. – Vol. 5. 374. – 6 p. DOI 10.4172/2155-9600.1000374.
23. Kipping, D.R. Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento / [D.R. Kipping, H.O. Laurel, A.A. Orozco et al.] // *Nova Scientia*. – 2018. – Vol. 10 (2), № 21. – P. 61-77. DOI 10.21640/ns.v10i21.1467.
24. Shetty, A.A. Waste Utilization in Cucurbits: A Review / A.A. Shetty, R. Rana, T. Buckseth, S. P. Preetham // *Waste Biomass Valorization*. – 2012. – Vol. 3. – P. 363-368. DOI 10.1007/s12649-012-9114-x.
25. Çelekli, A. Development of a new adsorbent from pumpkin husk by KOH-modification to remove copper ions / A. Çelekli, B. Bozkuş, H. Bozkurt // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26. – P. 11514-11523. DOI 10.1007/s11356-017-1160-2.
26. Eze, S.O. Effect of particle size on adsorption of heavy metals using chemically modified and unmodified fluted pumpkin and broad-leafed pumpkin pods / S.O. Eze, J.C. Igwe, D. Dipo // *International Journal of Biological and Chemical Science*. – 2013. – Vol. 7, No 2. – P. 852-860.

27. Çelekli, A. Predictive modeling of an azo metal complex dye sorption by pumpkin husk / A. Çelekli, H. Bozkurt // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. – 20. P. 7355-7366. DOI 10.1007/s11356-013-1751-5.
28. Çelekli, A. Predictive modeling of sorption and desorption of a reactive azo dye by pumpkin husk / A. Çelekli, F. Çelekli, E. Çiçek, H. Bozkurt // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2014. – Vol. 21. – P. 5086-5097. DOI 10.1007/s11356-013-2452-9.
29. Çelekli, A. Diazo dye sorption by Ni-modified pumpkin husk / A. Çelekli, B. Küçükgüner, H. Bozkurt // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, № 52. – P. 25242-25255. DOI 10.1080/19443994.2016.1149740.
30. Swelam, A. A. Kinetics study on the removal of Cu(II) from aqueous solution using raw and modified pumpkin seed hulls - low cost biosorbents / A. A. Swelam, M.B. Awad, A.M.A. Salem // *International Journal of Environment*. – 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 38-50.
31. Hameed, B.H. Removal of basic dye from aqueous medium using a novel agricultural waste material: Pumpkin seed hull / B.H. Hameed, M.I. El-Khaiary // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – Vol. 155. – P. 601-609. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.11.102.
32. Мирошниченко, Н.А. Использование лузги тыквенных семечек для извлечения метиленового голубого из водных растворов / Н.А. Мирошниченко, О.В. Дороганова, С.В. Свергузова, Е.В. Дороганова // *Актуальные вопросы охраны окружающей среды: сб. докл. Всероссийской научно-технической конф.* – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 137-140.
33. Celebi, H. The applicability of evaluable wastes for the adsorption of Reactive Black 5 / H. Celebi. // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2019. – Vol. 16. – P. 135-146. DOI 10.1007/s13762-018-1969-3.
34. Apostol, L.C. Removal of Erythrosine B dye from water effluents using crop waste pumpkin seed hulls as adsorbent / L.C. Apostol, C. Ghinea, M. Alves, M. Gavrilesco // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, № 47. – P. 22585-22608. DOI 10.1080/19443994.2015.1132477.
35. Subbaiah, M.V. Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies / M.V. Subbaiah, D. Kim // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – Vol. 128. – P. 109-117. DOI 10.1016/j.ecoenv.2016.02.016.
36. Kusmierek, K. Removal of 2,4,6-trichlorophenol from aqueous solutions using agricultural waste as low-cost adsorbents / K. Kusmierek, A. Swiatkowski, L. Dabek // *Environment Protection Engineering*. – 2017. – Vol. 43, № 4. – P. 149-163. DOI: 10.5277/epel70412.
37. Menkiti, M. Bioadsorption of suspended and dissolved particles from coal washery effluent onto fluted pumpkin seed shell biomass / M. Menkiti, T. Chime, O. Onukwuli // *World Journal of Engineering*. – 2011. – Vol. 8, № 2. – P. 179-190. DOI 10.1260/1708-5284.8.2.179.
38. *Telfairia occidentalis* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Telfairia_occidentalis.
39. Horsfall Jr., M. Sorption of lead, cadmium and zinc of sulfur-containing chemically modified wastes of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook f) / M. Horsfall Jr., A.I. Spiff // *Chemistry and Biodiversity*. – 2005. – Vol. 2. – P. 373-385.
40. Horsfall Jr., M. Adsorption of transition metals in aqueous solutions by fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook f) / M. Horsfall Jr., A.I. Spiff // *Chemistry and Biodiversity*. – 2005. – Vol. 2. – P. 1266-1276.
41. Horsfall Jr., M. Equilibrium sorption study of Al³⁺, Co²⁺ and Ag⁺ in aqueous solutions by fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook f) waste biomass / M. Horsfall Jr., A.I. Spiff // *Acta Chimica Slovenica*. – 2005. – Vol. 52. – P. 174-181.
42. Horsfall Jr., M. Effect of 2-mercaptoethanoic acid treatment of fluted pumpkin waste (*Telfairia occidentalis* Hook f) on the sorption of Ni²⁺ ions from aqueous solution / M. Horsfall Jr., A.I. Spiff // *Journal of Scientific and Industrial Research*. – 2005. – Vol. 64. – P. 613-620.
43. Barajas, J. Remocion de colorantes por medio de Curcubitaceas / [J. Barajas, M. Cano, J.H. Castorena et al.] // *Avances en Ciencias e Ingeniería*. – 2016. – Vol. 7, № 4. – P. 67-80.
44. *Watermelon* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Watermelon>.
45. Egbonu, A.C.C. Comparative assessment of some vinerall, amino acid and vitamin compositions of watermelon (*Citrullus lanatus*) rind and seed / A.C.C. Egbonu // *Asian Journal of Biochemistry*. – 2015. – Vol. 10, №5. – P. 230-236. DOI: 10.3923/ajb.2015.230.236.

46. Shakoor, M.B. Arsenic removal by natural and chemically modified watermelon rind in aqueous solutions and groundwater / [M.B. Shakoor, N.K. Niazi, I. Bibi et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 645. – P. 1444-1455. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.07.218.
47. Lakshmipathy, R. Watermelon rind as biosorbent for removal of Cd²⁺ from aqueous solution: FTIR, EDX and kinetic studies / R. Lakshmipathy, A.V. Vinod, N.C. Sarada // *Journal of the Indian Chemical Society*. – 2013. – Vol. 90. – P. 1147-1154.
48. Reddy, N.A. Application of Citrullus lanatus rind as biosorbent for removal of trivalent chromium from aqueous solution / N. A. Reddy, R. Lakshmipathy, N.C. Sarada // *Alexandria Engineering Journal*. – 2014. – Vol. 53. – P. 969-975. DOI 10.1016/j.aej.2014.07.006.
49. Liu, C. Optimal conditions for preparation of banana peels, sugarcane bagasse and watermelon rind in removing copper from water / C. Liu, H.H. Ngo, W. Guo, K. Tung // *Bioresource Technology*. – 2012. – Vol. 119. – P. 349-354. DOI 10.1016/j.biortech.2012.06.004.
50. Mohammed, T.J. Remediation of Cu(II) from well water of Iraq by using cortex of fruits and agricultural waste / T.J. Mohammed, R.I. Ibrahim // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 41. – P. 345-355. DOI 10.1007/s13369-015-1848-x.
51. Banerjee, K. A novel agricultural waste adsorbent, watermelon shell for the removal of copper from aqueous solutions / [K. Banerjee, S.T. Ramesh, R. Gandhimathi et al.] // *Iranica Journal of Energy & Environment*. – 2012. – Vol. 3, №2. – P. 143-156. DOI 10.5829/idosi.ijee.2012.03.02.0396.
52. Gupta, H. Intensified removal of copper from waste water using activated watermelon based biosorbent in the presence of ultrasound / H. Gupta, P.R. Gogate // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2016. – Vol. 30. – P. 113-122. DOI 10.1016/j.ultsonch.2015.11.016.
53. Mathangi, J.B. Study of mathematical models for the removal of Ni²⁺ from aqueous solutions using Citrullus lanatus rind, an agro-based waste / J.B. Mathangi, M.H. Kalavathy // *Water and Environment Journal*. – 2019. – Vol. 33. – P. 276-291. DOI: 10.1111/wej.12408.
54. Ibrahim1, A. Adsorption study of ammonia nitrogen by watermelon rind / [A. Ibrahim1, L. Yusof, N.S. Beddu et al.] // *Earth and Environmental Science: IOP Conf. Series*. – 2016. – Vol. 36, № 012020 DOI 10.1088/1755-1315/36/1/012020.
55. Zahrim, A.Y. Fruit waste adsorbent for ammonia nitrogen removal from synthetic solution: Isotherms and kinetics / [A.Y. Zahrim, Y. Lija, L.N.S. Ricky et al.] // *Earth and Environmental Science: IOP Conf. Series*. – 2016. – Vol. 36, № 012028. DOI 10.1088/1755-1315/36/1/012028.
56. Kiew, P.L. Screening of significant parameters affecting Zn (II) adsorption by chemically treated watermelon rind / P.L. Kiew, J.F. Toong // *Progress in Energy and Environment*. – 2018. – Vol. 6. – P. 19-32.
57. Othman, N. Watermelon rind: A potential adsorbent for zinc removal / N. Othman, Y.S. Kueh, F.H. Azizul-Rahman, R. Hamdan // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 680. – P. 146-149.
58. Lakshmipathy, R. Application of watermelon rind as sorbent for removal of nickel and cobalt from aqueous solution / R. Lakshmipathy, N.C. Sarada // *International Journal of Mineral Processing*. – 2013. – Vol. 122. – P. 63-65. DOI 10.1016/j.minpro.2013.03.002.
59. Lakshmipathy, R. Metal ion free watermelon (Citrullus lanatus) rind as adsorbent for the removal of lead and copper ions from aqueous solution / R. Lakshmipathy, N.C. Sarada // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, №33. – P. 15362-15372. DOI 10.1080/19443994.2015.107206.
60. Othman, N. Characterization of watermelon rind as a biosorbent in removing zinc and lead / [N. Othman, A.A. Kadir, R.M.S. Mohamed et al.] // *Advances in Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering: International conf, South Korea, Busan, 2015*. – P. 37-40.
61. Azizul-Rahman, M.F.H. Biosorption of Pb(II) and Zn(II) in synthetic waste water by watermelon rind (Citrullus lanatus) / M.F.H. Azizul-Rahman, A.A. Mohd-Suhaimi, Norzila Othman // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 465-466. – P. 906-910. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.465-466.906.
62. Liu, C. Watermelon Rind: Agro-waste or Superior Biosorbent / C. Liu, H.H. Ngo, W. Guo // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2012. – Vol. 167. – P. 1699-1715. DOI 10.1007/s12010-011-9521-7
63. Othman, N. Metal removal and antimicrobial properties of watermelon rind modified with clove / N. Othman, N. Azhar, M.A. Rani, H.M. Zaini // *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – Vol. 7, № 01028. DOI: 10.1051/mateconf/20167801028.

64. Jawad, A.H. Utilization of watermelon (*Citrulluslanatus*) rinds as a natural low-cost biosorbent for adsorption of methylene blue: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies / A.H. Jawad, Y.S. Ngoh, K.A. Radzun // *Journal of Taibah University for Science*. – 2018. – Vol. 12, №4. – P. 371-381. DOI: 10.1080/16583655.2018.1476206.
65. Lakshmipathy, R. Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies / R. Lakshmipathy, N.C. Sarada // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, №23. – P. 10632-10645. DOI 10.1080/19443994.2015.1040462.
66. Lakshmipathy, R. Optimization of brilliant green biosorption by native and acid-activated watermelon rind as low-cost adsorbent / R. Lakshmipathy, N.A. Reddy, N.C. Sarada // *Desalination and Water Treatment*. – 2015. – Vol. 54, №23. – P. 235-244. DOI 10.1080/19443994.2013.879082.
67. Ibrahim, M.B. Comparative isotherms studies on adsorptive removal of Congo Red from wastewater by watermelon rinds and neem-tree leaves / M.B. Ibrahim, S. Sani // *Open Journal of Physical Chemistry*. – 2014. – Vol. 4. – P. 139-146. DOI 10.4236/ojpc.2014.44017.
68. Sani, S. Kinetics and thermodynamics of methyl orange uptake from model effluent by watermelon shells and neem leaves / S. Sani, H. Abdullahi // *International Journal of Advances in Chemical Engineering & Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 4, № 1. DOI: 10.15242/IJACEBS.ER0117011.
69. Krueger, M.D. de S. Removal of textile dye Remazol Brilliant Blue Reactive (RBBR) using fibers of *Citrullus lanatus* (watermelon) and *Cocos nucifera* (green coconut) as adsorbent material / M.D. de S. Krueger, A.C. Volkmann, K.T. Rainert // *Universidade Federal de Santa Maria REGET, Santa Maria*, 2019. – Vol. 23. DOI: 10.5902/2236117038526.
70. Rehman, R. Sorptive elimination of Alizarin Red-S dye from water using *Citrullus lanatus* peels in environmentally benign way along with equilibrium data modeling / R. Rehman, T. Mahmud // *Asian Journal of Chemistry*. – 2013. – Vol. 25, № 10. – P. 5351-5356.
71. Rehman, R. Mechanistic and characterization studies for sorptive elimination of Emerald green dye from water by *Arachis hypogea* shells and *Citrullus lanatus* peels / R. Rehman, A. Shareef // *Asian Journal of Chemistry*. – 2014. – Vol. 26, №9. – P. 2671-2676.
72. Ibrahim, M.B. Adsorption of dyes onto activated watermelon (*Citrullus lanatus*) rinds (AWR) / M.B. Ibrahim, A. Ahmed // *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 10, №1. – P. 606-614. DOI 10.4314/bajopas.v10i1.1.
73. Chigbundu, E.C. Equilibrium and fractal-like kinetic studies of the sorption of acid and basic dyes onto watermelon shell (*Citrullus vulgaris*) / E.C. Chigbundu, K.O. Adebawale // *Cellulose*. – 2017. – Vol. 24. – P. 4701-4714. DOI 10.1007/s10570-017-1488-2.
74. Latif, S. Removal of acidic dyes from aqueous media using *Citrullus lanatus* peels: An agrowaste-based adsorbent for environmental safety / [S. Latif, R. Rehman, M. Imran et al.] // *Journal of Chemistry*. – 2019. 9 p. DOI 10.1155/2019/6704953.
75. Lakshmipathy, R. Adsorptive removal of basic cationic dyes from aqueous solution by chemically protonated watermelon (*Citrullus lanatus*) rind biomass / R. Lakshmipathy, N.C. Sarada // *Desalination and Water Treatment*. – 2014. – Vol. 52, №31-33. – P. 6175-6184. DOI 10.1080/19443994.2013.812526.
76. J. Alexander, G. Jayanthi, R. Lakshmipathy, A. Kulasekaran, V. Andal. Colour removal studies on treatment of textile dyeing effluent by chitosan modified watermelon rind composite (CWR) / [J. Alexander, G. Jayanthi, R. Lakshmipathy et al.] // *International Journal of ChemTech Research*. – 2015. – Vol. 8, №5. – P. 10-15.
77. Salman, J.M. Adsorption study of cadmium on water melon seed shell by flame atomic absorption spectroscopy (FAAS) / [J.M. Salman, A.K. Al-Muttairi, N.A. Abd-Hussain, A.M. Jabour] // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2015. – Vol. 6, №5. – P. 832-836.
78. Akkaya, G. Bioremoval and recovery of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solution by a novel biosorbent watermelon (*Citrullus lanatus*) seed hulls: Kinetic study, equilibrium isotherm, SEM and FTIR analysis / G. Akkaya, F. Güzel // *Desalination and Water Treatment*. – 2013. – Vol. 51, №37-39. – P. 7311-7322. DOI 10.1080/19443994.2013.815685.
79. Salman, J.M. Removing the methylene blue dye from aqueous solutions by low cost materials / J.M. Salman, N.A. Abdal-Hussein, A.K. Al-Muttairi // *International Journal of Advanced Research*. – 2015. – Vol. 3, №4. – P. 523-530.

80. Samra, S.E. Adsorption and thermodynamics of lead (II) using seeds of watermelon (SWM) as a low cost sorbent / S.E. Samra, B. Jeragh, A.M. EL-Nokrashy, A.A. El-Asmy] // *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2014. – Vol. 1, № 1. – P. 19-24.
81. Benkaddour, S. Removal of reactive yellow 145 by adsorption onto treated watermelon seeds: Kinetic and isotherm studies / [S. Benkaddour, R. Slimani, H. Hiyane et al.] // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. – 2018. – Vol. 10. – P. 16-21. DOI 10.1016/j.scp.2018.08.003.
82. Manyuchi, M.M. Treatment of water using watermelon (*Citrullus lanatus*) seeds as organic coagulant and microbial filter / M.M. Manyuchi, T. Chikomo // *Emerging Trends in Chemical Sciences: International Conf. on Pure and Applied Chemistry, Flic en Flac, Mauritius, 2016*. – 6 p.
83. Muhammad, I.M. Water melon seed as a potential coagulant for water treatment / I.M. Muhammad, S. Abdulsalam, A. Abdulkarim, A.A. Bello // *Global Journal of Researches in Engineering: C Chemical Engineering*. – 2015. – Vol. 15, №1. – 9 p.
84. Melon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Melon>
85. Rolima, P.M. Melon by-products: biopotential in human health and food processing / P.M. Rolima, L.M.J. Seabra, G.R. de Macedo // *Food Reviews International*. – 2019. – 24 p. DOI. 10.1080/87559129.2019.1613662.
86. Hamdaoui, O. Utilization of an agricultural waste material, melon (*Cucumis melo L.*) peel, as a sorbent for the removal of cadmium from aqueous phase / O. Hamdaoui, F. Saoudi, M. Chiha // *Desalination and Water Treatment*. – 2010. – Vol. 21, №1-3. – P. 228-237. DOI 10.5004/dwt.2010.1508.
87. Nieva, A.D. Simulated biosorption of Cu^{2+} in aqueous solutions using *Cucumis melo VAR. cantalupensis* / A.D. Nieva, J.C.S. Andres, K.P. Gonzales // *Earth and Environmental Science: IOP Conf. Series*. – 2018. – Vol. 191, № 012035. DOI 10.1088/1755-1315/191/1/0120352.
88. Othman, N. *Cucumis melo* rind as biosorbent to remove Fe (II) and Mn (II) from synthetic groundwater solution / N. Othman, S.M. Asharuddin // *Advanced Material Research*. – 2013. – Vol. 795. – P. 266-271. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.795.266.
89. N. Othman, S.M. Asharuddin. Utilization of *Cucumis Melo* rind as Fe and Pb ions biosorbent / N. Othman, S.M. Asharuddin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.researchgate.net>.
90. Asharuddin, S.B.M. Optimization of biosorption process using *Cucumis melo* rind for the removal of Fe, Mn and Pb ions from groundwater: A thesis submitted in fulfillment of the requirement for the award of the Degree of Master of Civil Engineering / S.B.M. Asharuddin. – University Tun Hussein Onn, Malaysia, 2015. – 92 p.
91. Djelloul, C. Removal of cationic dye from aqueous solution using melon peel as nonconventional low-cost sorbent / C. Djelloul, O. Hamdaoui // *Desalination and Water Treatment*. – 2014. – Vol. 52, № 40-42. – P. 7701-7710. DOI 10.1080/19443994.2013.833555.
92. Olajire, A.A. Adsorptive removal of methylene blue dye by melon husk: kinetic and isothermal studies / A.A. Olajire, A.A. Giwa, I.A. Bello // *Pakistan journal of Scientific and Industrial Research. Series A. Physical science*. – 2013. – Vol. 56, № 3. – P. 151-164.
93. Djelloul, C. Dynamic adsorption of methylene blue by melon peel in fixed-bed columns / C. Djelloul, O. Hamdaoui // *Desalination and Water Treatment*. – 2015. – Vol. 56, №11. – P. 2966-2975. DOI 10.1080/19443994.2014.963158.
94. Akar, S.T. Biosorption potential of the waste biomaterial obtained from *Cucumis melo* for the removal of Pb^{2+} ions from aqueous media: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanism analysis / [S.T. Akar, S. Arslan, T. Alp et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2012. – Vol. 185–186. – P. 82-90. DOI 10.1016/j.cej.2012.01.032.
95. Rahimdokht, M. Application of melon seed shell as a natural low-cost adsorbent for the removal of Methylene Blue from dye-bearing wastewaters: optimization, isotherm, kinetic, and thermodynamic / M. Rahimdokht, E. Pajootan, M. Arami // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, № 38. – P. 18049-18061. DOI 10.1080/19443994.2015.1086698.
96. Muskmelon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Muskmelon>.
97. Chellam, A.G. Studies of kinetics and thermodynamic parameters in the adsorption of cadmium (II) on *Cucumis melo* peel / A.G. Chellam, J. Shakina, R. Usha // *Indian Journal of Science*. – 2014. – Vol. 9, №22. – P. 35-41.

98. Huang, K. Removal of Pb^{2+} from aqueous solution by adsorption on chemically modified muskmelon peel / K. Huang, H. Zhu // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. 20. – P. 4424-4434. DOI 10.1007/s11356-012-1361-7.
99. Haq, A. u. Removal of butachlor from aqueous solution using cantaloupe seed shell powder: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies / [A. u. Haq, M. Saeed, M. Usman et al.] // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2018. – 14 p. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1992-4>.
100. Cucumis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cucumis>.
101. Hao-xi, B. Studies on the chemical constituents of cucumber / B. Hao-xi, L. Da-dong, B. Ning-sheng, W. Mei-fang // *Natural Product Research & Development*. – 2008. – Vol. 20, №3. – P. 388-394.
102. Gross, K.C. Compositional changes in cell wall polysaccharides from chilled and non-chilled cucumber fruit / K.C. Gross, C.Y. Wang // *Phytochemistry*. – 1984. – Vol. 23, № 8. – P. 1575-1578.
103. Basu, M. Adsorption of cadmium on cucumber peel: kinetics, isotherm and co-ion effect / M. Basu, A.K. Guha, L. Ray // *Indian Chemical Engineer*. – 2018. – Vol. 60, №2. – P. 179-195. DOI 10.1080/00194506.2017.1341349.
104. Pandey, R. Cd(II) adsorption from aqueous solution onto Cucumis sativus peel: equilibrium, thermodynamic and kinetic study / R. Pandey, N.G. Ansari, R.C. Murthy, R.L. Prasad // *Journal of Ecophysiology & Occupational Health*. – 2013. – Vol. 3-4. – P. 75-84.
105. Basu, M. Adsorption of cadmium ions by cucumber peel in continuous mode / M. Basu, A.K. Guha, L. Ray // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2019. – Vol. 16, № 1. – P. 237-248.
106. Pandey, R. Removal of Cd(II) ions from simulated wastewater by HCl modified Cucumis sativus peel: equilibrium and kinetic study / R. Pandey, N.G. Ansari, R.L. Prasad, R.C. Murthy // *Air, Soil and Water Research*. – 2014. – Vol. 7. – P. 93-101. DOI 10.4137/ASWR.S16488.
107. Pandey, R. Cd(II) adsorption from aqueous solution onto Cucumis sativus peel: kinetic, equilibrium and thermodynamic study / R. Pandey, N.G. Ansari, R.L. Prasad, R.C. Murthy // *American Journal of Environmental Protection*. – 2014. – Vol. 2, №3. – P. 51-58. DOI 10.12691/env-2-3-1.
108. Basu, M. Adsorption of lead on cucumber peel / M. Basu, A.K. Guha, L. Ray // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 151. – P. 603-615. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.03.028.
109. Akkaya, G. Optimization of copper and lead removal by a novel biosorbent: cucumber (Cucumis Sativus) peels - kinetic, equilibrium, and desorption studies / G. Akkaya, F. Güzel // *Journal of Dispersion Science and Nechnology*. – 2013. – Vol. 34, №10. DOI 10.1080/01932691.2012.743863.
110. Shakoor, S. Adsorptive treatment of hazardous methylene blue dye from artificially contaminated water using cucumis sativus peel waste as a low-cost adsorbent / S. Shakoor, A. Nasar // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2017. – Vol. 5. – P. 152-159. DOI 10.1016/j.gsd.2017.06.005.
111. Shakoor, S. Utilization of Cucumis Sativus peel as an eco-friendly biosorbent for the confiscation of Crystal violet dye from artificially contaminated wastewater / S. Shakoor, A. Nasar // *Analytical Chemistry Letters*. – 2019. – Vol. 9, №1. – P. 1-19. DOI 10.1080/22297928.2019.1588162.
112. Smith, T. Equilibrium and kinetics study of adsorption of Crystal violet onto the peel of Cucumis sativa fruit from aqueous solution / T. Smith, S. Thirumalisamy, S. Manonmani // *E-Journal of Chemistry*. – 2012. – Vol. 9, №3. – P. 1091-1101.
113. Khanna, S. Removal of Acid Red 1 from aqueous waste stream using peel of Cucumis Sativus fruit. Equilibrium studies / S. Khanna, V.K. Rattan // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2017. – Vol. 52, №5. – P. 803-811.
114. Stavrinou, A. Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool / A. Stavrinou, C.A. Aggelopoulos, C.D. Tsakiroglou // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2018. – Vol. 6, №6. – P. 6958-6970. DOI 10.1016/j.jece.2018.10.063.
115. Smitha, T. Cucumis sativus used as adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution / T. Smitha, T. Santhi, A.L. Prasad, S. Manonmani // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol. 10. – P. 244–251. DOI 10.1016/j.arabjc.2012.07.030.

WASTE FROM THE PROCESSING OF MELONS AND GOURDS AS REAGENTS FOR REMOVING POLLUTANTS FROM AQUATIC ENVIRONMENTS

Shaikhiev¹ I.G., Sverguzova² S.V., Shaikhieva¹ K.I., Svyatchenko² A.V., Miroshnichenko² N.A.

¹Kazan National Research Technological University,

420015, Kazan, 68 Karl Marx street, e-mail: ildars@inbox.ru

²Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov,

308012, Belgorod, 46 Kostyukova street, e-mail: pe@intbel.ru

Annotation. The literature data on the use of biomass and waste from the processing of melons (pumpkin, watermelon, melon, cucumber) as sorption materials for various pollutants removing from aquatic environments are summarized. It was determined that dried shells of melons and gourds are effective sorption materials for the extraction of heavy metal ions and dyes. The seeds of large fruits of melons (pumpkin, watermelon, melon), as well as their shells, also showed good sorption performance for heavy metal ions and dyes. It was revealed that most of the isotherms of the adsorption of pollutants on the processing of melons and gourds waste are most accurately described by the Langmuir model, less often by the Freundlich model, singularly by the Temkin or Dubinin-Radushkevich models. It is determined that the process kinetics in all cases follows the pseudo-second order model. To increase the adsorption characteristics of the components of melons and gourds for various pollutants, the materials were modified with various chemical reagents.

Keywords: waste, melons, adsorption, water purification, heavy metals, dyes