

А.Н. Аралбаев

Алматинский технологический университет, Казахстан, г. Алматы

e-mail: altayaralbayev@gmail.com

ОЦЕНКА СОРБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ШРОТА КОРНЕЙ КАТРАНА КОЧИ (*CRAMBE COCHIANA*) И СВЕРБИГИ ВОСТОЧНОЙ (*BUNIAS ORIENTALIS L.*) ИЗ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ (*BRASSICACEAE B.*)

Проблема загрязнения окружающей среды является глобальной и имеет многосторонние последствия. Одно из них – попадание токсикантов в организм человека с питьевой водой и продуктами питания. Хроническая интоксикация тяжелыми металлами представляет чрезвычайную опасность здоровью человека. В связи с этим, разработки и поиск путей выведения из организма токсикантов и нейтрализации их неблагоприятного воздействия на организм не теряет актуальности. На сегодняшний день на основе многочисленных исследований и практики можно утверждать, что большая часть растительного сырья и их отходов является источником для получения разных продуктов, к примеру пищевых волокон, которые находят применение в качестве сорбентов. Наше исследование было направлено на оценку сорбирующих свойств из шрота корней таких нетрадиционных видов пищевых растений из семейства Капустные (*Brassicaceae B.*) как катран Кочи (*Crambe Cochiana*) и свербига восточная (*Bunias orientalis L.*) по отношению к солям свинца и кадмия. Как показали исследования, пищевые волокна корней данных растений обладают сорбционной активностью по отношению к ионам свинца и кадмия. Корни обоих растений обладали большим сродством к ионам кадмия, также выявлено, что сорбционный потенциал шрота корней свербиги несколько выше, чем у катрана, хотя при исследовании образцов на наличие пищевых волокон в корнях свербиги было обнаружено их меньшее содержание.

Ключевые слова: тяжелые металлы, сорбция, пищевые волокна, сорбционная емкость, константа равновесия.

A.N. Aralbayev

Almaty Technological University, Kazakhstan, Almaty

e-mail: altayaralbayev@gmail.com

Evaluation of the sorption properties in *crambe Kochiana* and *bunia orientalis* (*Brassicaceae B. family*) roots' meals

The problem of environmental pollution is global and has multilateral consequences. One of them is the ingestion of toxicants into the human body with drinking water and food. Chronic intoxication with heavy metals poses an extreme danger to human health. In this regard, the development and search for ways to remove toxicants from the body and neutralize their adverse effects on the body does not lose relevance. Currently, based on numerous studies and practice, it can be argued that most of the plant raw materials and their waste is a source for obtaining various products, for example, dietary fibers, which are used as sorbents. Our study was aimed to evaluation of the sorption properties in *katran Kochiana* and *bunia orientalis* roots' meals on lead and cadmium salts. Studies have shown that the dietary fibers from the roots of these plants have sorption activity in relation to lead and cadmium ions. The roots of both plants had a greater affinity for cadmium ions, and it was also revealed that the sorption potential of the *bunias* roots' meals was slightly higher than that of *katran Kochiana*, although when examining samples for the presence of dietary fibers in the roots of *bunia orientalis*, their lower content was found.

Key words: sorption, heavy metals, dietary fibers, sorption capacity, equilibrium constant.

А.Н. Аралбаев

Алматы технологиялық университеті, Қазақстан, Алматы қ.
e-mail: altayaralbayev@gmail.com

Қырыққабаттар (*Brassicaceae B.*) тұқымдасына жататын Кочи қатыраны (*Crambe Cochiana*) мен шығыс майракебісі (*Bunias orientalis L.*) тамырларынан қалған шроттың сорбциялаушы қасиеттерін бағалау

Қоршаған ортаның ластануы жаһандық деңгейдегі көпжақты салдары бар проблема. Ол салдарлардың бірі адам ағзасына токсиканттардың ауыз су және тамағы арқылы түсуі. Ауыр металлдармен ұзақ уақыт бойы улану адам денсаулығына орасан зор қауіп төндіреді. Сол себепті ағзадан уытты заттарды шығару және олардың келеңсіз әсерін төмендету жолдары мен әдістерін іздестіріп зерттеу мәселесі өзектілігін жоғалтпай отыр.

Бүгінгі таңда көптеген зерттеулер мен тәжірибеге сүйене отырып, өсімдік шикізатының көбісі және олардың қалдықтары әртүрлі өнімдерді, мысалы, сорбенттер ретінде қолданылатын диеталық талшықтарды алу көзі болып табылады деп айтуға негіз бар. Біздің зерттеулеріміз қорғасын мен кадмий тұздарына қатысты Кочи қатыраны (*Crambe Cochiana*) мен шығыс майракебісі (*Bunias orientalis L.*) сияқты дәстүрлі болып табылмайтын тағамдық өсімдіктер тамырларынан қалған шроттың сорбенттік қасиеттерін бағалауға бағытталды. Зерттеулер көрсеткендей, бұл өсімдік тамырларының диеталық талшықтары қорғасын мен кадмий иондарына қатысты сорбциялық белсенділікке ие. Екі өсімдік түрлерінің де тамырларының кадмий иондарына деген аффиндігі жоғары болды. Сонымен қатар майракебіс тамырының құрамындағы диеталық талшықтардың мөлшері қатыранмен салыстырғанда аз болса да, сорбциялық потенциалы біршама жоғары екендігі анықталды.

Түйін сөздер: сорбция, ауыр металлдар, тағамдық талшықтар, сорбциялық сыйымдылық, тепе-теңдік константасы.

Сокращения и обозначения

ТМ – тяжелые металлы, ПВ – пищевые волокна, Pb²⁺ -ионы свинца, Cd²⁺ -ионы кадмия

Введение

Повсеместное ухудшение экологической обстановки наблюдается год от года. Развитие агропромышленного сектора, высокие темпы урбанизации и индустриализации общества привели к повышению потребления энергии и ресурсов и как следствие увеличению сброса отходов. [1]. Известно множество веществ различной природы представляющих потенциальную опасность в плане загрязнения объектов окружающей среды и имеющих серьезные последствия, как для существования экосистем, так и напрямую для человека. Поэтому проблема негативного влияния химических соединений искусственного происхождения на здоровье людей и животных актуальна по сей день [2]. Среди различных поллютантов в отдельную группу выделяются тяжёлые металлы и их соединения, как органической, так и неорганической природы. Для них характерна большая распространенность, токсичность, для большинства из них — способность к кумуляции в организмах. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) происходит во всем

мире, это связано с их широким использованием в промышленном производстве наряду со слабыми системами очистки. ТМ попадают в окружающую среду с бытовыми сточными водами, в результате выпадения аэрозольных отходов промышленных и горнодобывающих предприятий. ТМ могут образовывать стабильные органические соединения, с высокой растворимостью, что способствует их миграции в воде [5-8]. Растения накапливают тяжелые металлы из разных источников – вследствие обработки пестицидов, из растворимых отходов, орошением сточными водами и т.д. В конечном результате тяжёлые металлы попадают продукты питания, загрязняя и отравляя их. С растительным сырьем они попадают в организм сельскохозяйственных животных и человека. [9-10].

Тяжелые металлы – группа широко распространенных экотоксикантов, оказывающих неблагоприятное действие на организм. На сегодняшний день тяжёлые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам. Тяжёлые металлы уже сейчас занимают второе место по степени опасности, в прогнозе же они должны стать самыми опасными [11]. Высоким потенциалом риска для здоровья обладают соединения хрома, кобальта, марганца, никеля, цинка, кадмия, меди, свинца и мышьяка. Такие металлы как марганец, цинк, медь и кобальт

являются эссенциальными и нужны организму в малых количествах для поддержания его функций в норме, тогда как соединения кадмия, свинца, мышьяка, хрома и никеля токсичны и являются причиной различных патологических состояний [12].

Достаточно много исследований посвящено токсичности тяжелых металлов. Тяжелые металлы индуцируют различные морфологические, физиологические и биохимические отклонения напрямую либо опосредованно и в конечном счете приводят к повреждениям. ТМ влияют практически на все системы организма, оказывая токсическое, аллергическое, канцерогенное, гонадотропное действие. Доказано эмбриотоксическое действие ТМ через фетоплацентарную систему, а также их мутагенное воздействие. Многие тяжелые металлы обладают тропностью – избирательно накапливаются в определенных органах и тканях, структурно и функционально нарушая их [13-14]. Поэтому вопрос детоксикации организма при поступлении ТМ не теряет своей актуальности.

Традиционным способом выведения соединений тяжелых металлов из организма является использование хелатирующих агентов, которые образуют менее токсичные комплексы с ионами тяжелых металлов и выводятся из организма [15].

Одним из способов детоксикации организма является применение различных веществ имеющих сорбирующий эффект. Ионы металлов могут связывать такие природные соединения как цеолиты, каррагинаны, альгинаты и их модифицированные препараты. Экспериментальные данные показывают, что названные соединения могут быть эффективным средством выведения токсинов из организма [16 - 19].

Одним из видов натуральных сорбентов могут выступать пищевые волокна, как нерастворимые (целлюлоза, хитин), так и растворимые (пектины, инулин), содержащиеся в продуктах растительного происхождения (злаках, овощах, фруктах, ягодах, водорослях, мхах, грибах, древесных опилках, коре деревьев, пшеничных отрубях, льняном волокне и др.). Большинство из них способны эффективно связывать ионы тяжелых металлов [20-21].

Целью нашего исследования явилась оценка сорбирующих свойств шрота из корней нетрадиционных пищевых растений из семейства Капустные (*Brassicaceae* B.) – катрана Кочи (*Crambe Cochiana*) и свербиги восточной (*Bunias orientalis* L.)

Материалы и методы исследования

В связи с поставленной целью было проведено исследование образцов на наличие пищевых волокон и способность поглощать ионы тяжелых металлов из растворов.

Для исследования применяли шрот из корней растений полученный после вымывания крахмала. Для извлечения крахмала и большей части растворимых веществ корни растений измельчали и смешивали с водой в соотношении 5:1, полученную суспензию со взвесью мелкодисперсных частиц отделяли от шрота фильтрованием через сито. Шрот пятикратно промывали водой и подсушивали на поверхности обеспечивающей свободную циркуляцию воздуха при температуре 40 °С в сушильном шкафу.

Исследование в содержания корней пектина проводили по методу утвержденному ГОСТ 29059-91 и клетчатки по ГОСТ 31675-2012 [22-23].

Оценка сорбирующих свойств пищевых волокон из корней растений проводилась ионометрическим методом до и после контакта раствора с пищевыми волокнами. Скорость сорбции оценивали посредством измерения концентрации солей кадмия и свинца в десятиминутных промежутках времени. Сорбционную способность исследуемых образцов оценивали до и после взаимодействия пищевых волокон с растворами солей металлов с возрастающей концентрацией на протяжении 100 минут [24]. В экспериментах использовали водные растворы нитрата свинца (Pb^{2+}) и сульфата кадмия (Cd^{2+}), показатель pH растворов нейтральный. Для оценки сорбционной способности растительного сырья использовали растворы тяжелых металлов в следующих концентрациях: 0,05 ммоль/л, 0,1 ммоль/л, 0,25 ммоль/л, 0,5 ммоль/л, 1 ммоль/л, 2,5 ммоль/л, 5 ммоль/л, 10 ммоль/л. Время экспозиции – 24 часа, пробы периодически встряхивали и перемешивали. При достижении сорбционного равновесия через сутки раствор отделяли от сорбента центрифугированием при 10000 об./мин. и определяли равновесные концентрации адсорбатов. По окончании проводили ионометрическое измерение концентрации растворов.

Сорбционную способность рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(C_0 - C) \times V}{m}$$

где C_0 – исходная концентрация ионов (ммоль/л); C – концентрация ионов после сорбции (равновесная концентрация) (ммоль/л); V – объем раствора (л); m – масса сорбента (г).

В обработке данных применяли уравнения Лэнгмюра.

Уравнение Лэнгмюра в общем виде :

$$A = A_{\infty} * \frac{bc}{b + c}$$

где, A_{∞} – предельная(бесконечная) адсорбция или предельная емкость адсорбента, b – константа равновесия, C – равновесная концентрация.

Для определения числовых значений параметров b и A_{∞} использовали линейную форму уравнения Ленгмюра и строили графическую зависимость $1/a = f(1/c)$

Уравнение Лэнгмюра в линейной форме:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty}b} * \frac{1}{c}$$

Величину предельной адсорбции вычисляли из отрезка, отсекаемого на оси ординат, и далее величину константы равновесия путем преобразования формулы [25].

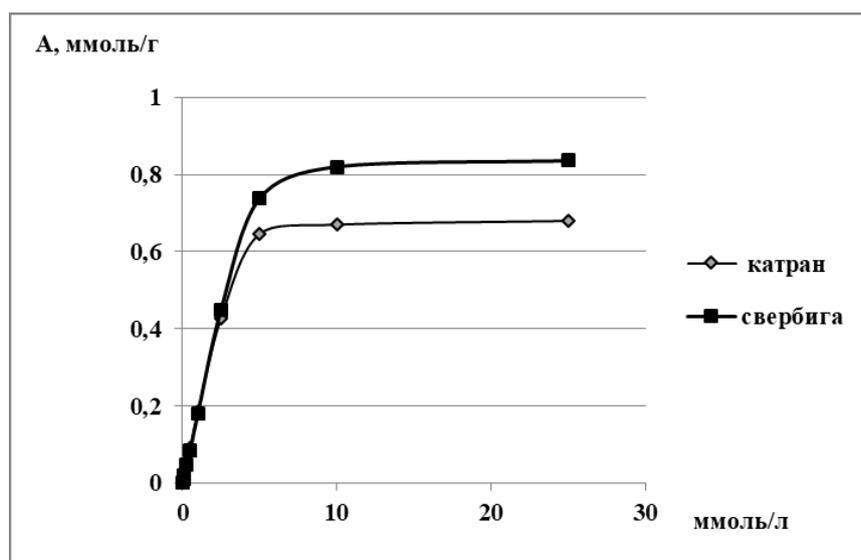
Для определения скорости сорбции применяли растворы с концентрацией 10 ммоль/л. В

колбу емкостью 200 мл помещали 100 мл раствора солей тяжелых металлов и 500 мг шрота корней растений, колбу с содержимым периодически встряхивали и перемешивали. Концентрацию ионов измеряли каждые 10 минут в течение 100 минут.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствие с поставленной целью в первую очередь нами было проведено исследование содержания пищевых волокон и пектина в шроте корней катрана и свербиги. Как показали результаты экспериментальных исследований, в корнях катрана Кочи удельное содержание пищевых волокон составило 12,24% и пектина 2,28% от общей массы сухого вещества. Для корней свербиги восточной данный показатель составил 9,28% и 1,27%. Таким образом, в корнях катрана кочи содержание пищевых волокон превышает таковое в корнях свербиги практически в 1,5 раза и пектина практически в 2 раза.

Исследования количественного содержания пищевых волокон недостаточно для оценки данного растительного сырья в качестве сорбента. Для получения более полной картины проведены эксперименты для оценки сорбционной способности измельченного шрота корней катрана и свербиги по отношению к ионам свинца и кадмия (рисунок 1-2).

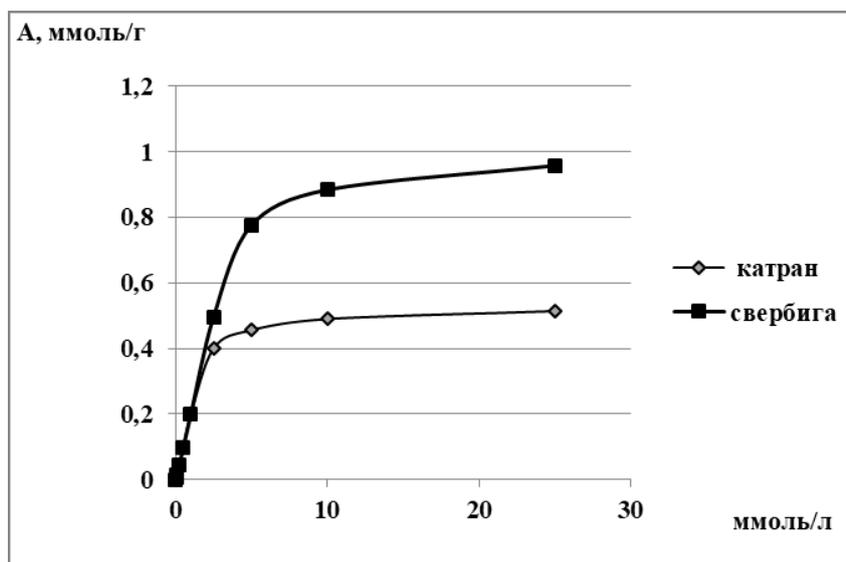


По оси абсцисс: концентрация Pb²⁺; адсорбционная емкость сорбента, ммоль/г

Рисунок 1 – Адсорбционная способность шрота корней по отношению к ионам свинца

В ходе исследований выявлено, что при внесении шрота корней растений в растворы соли свинца максимальная величина сорбции как для шрота корней катрана, так и для свербиги составило 10 ммоль/л. Показатель адсорбционной емкости для катрана составил 0,67 ммоль/г. Как

видно из рисунка, показатель адсорбционной емкости для свербиги в данной точке был выше, чем у катрана на 22 % и составляла 0,82 ммоль/г. В пересчете величина адсорбционной емкости по ионам свинца для катрана составляет 14 мг/г, для свербиги 17,1 мг/г.



По оси абсцисс: концентрация Cd²⁺; адсорбционная емкость сорбента, мг/г

Рисунок 2 – Адсорбционная способность шрота корней по отношению к ионам кадмия

Аналогичные эксперименты проведены и с растворами соли кадмия. Максимум сорбции для исследуемых образцов был достигнут при концентрации 25 ммоль/л. Величина адсорбционной способности корней катрана составила 0,68 ммоль/г, в перерасчете 13,7 мг/г, тогда как адсорбционная емкость корней свербиги равнялась 0,83 ммоль/г или 16,8 мг/г.

Уравнение Лэнгмюра является уравнением мономолекулярной адсорбции и полностью описывает изотерму адсорбции на твердом адсорбенте. На основе полученных экспериментальных данных была построена графическая зависимость $1/a = f(1/c)$, с помощью которой определена максимальная сорбционная емкость адсорбентов и проведены расчеты констант адсорбции (рисунок 3-4).

Предельная сорбционная емкость характеризует количество связывающих центров на адсорбенте, тогда как константа равновесия выступает показателем аффинности адсорбента и адсорбата [26-27].

Как показал расчетный анализ, величина предельной емкости шрота корней катрана по

отношению к ионам свинца равна 0,4 ммоль/г (8,3 мг/г), к ионам кадмия 0,6 ммоль/г (12,5 мг/г). Соответственно константы равновесия составили величины 8,17 и 13,13. Таким образом, можно заключить, что ПВ корней катрана более эффективно связывают ионы кадмия по сравнению с ионами свинца, так как проявляют большее сродство.

Аналогичные расчеты экспериментальных и графических данных полученных в ходе исследования корней свербиги выявили, что показатель предельной сорбционной емкости данного образца составил 0,3 ммоль/г (6,3 мг/г) по отношению к ионам свинца и 0,4 ммоль/г (8,3 мг/г) по отношению к ионам кадмия. Константы равновесия равны 17,0 и 14,0 соответственно, что свидетельствует о большей аффинности шрота корней свербиги к ионам кадмия.

При сравнении полученных данных с литературными источниками, можно сказать, что по величине предельной сорбционной емкости шрот из корней исследованных растений не является сильным натуральным адсорбентом как

древесный уголь, некоторые виды каррагинанов и их наномодифицированные производные, тем не менее, данные образцы можно противопоставить некоторым природным объектам обладающих сорбционной активностью [16, 28-29]. В дополнение, экспериментально показано, что сорбционная активность различных сорбентов зависит и от таких факторов как показатель рН, температуры раствора и времени экспозиции

[30]. В нашем исследовании, показатель кислотности раствора колебался в пределах 6.8 – 7.0 , поэтому изменение сорбционной активности анализируемых образцов в зависимости от температуры и показателя рН требует дальнейших изысканий.

Результаты исследования скорости сорбции ионов тяжелых металлов на ПВ образцов представлены на рисунках 5-6.

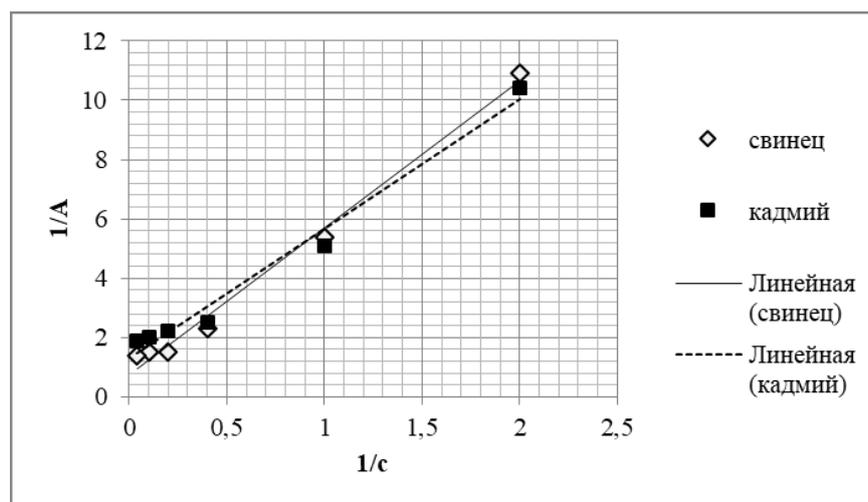


Рисунок 3 – Изотерма адсорбции в линейных координатах уравнения Ленгмюра (шрот из корней катрана Кочи)

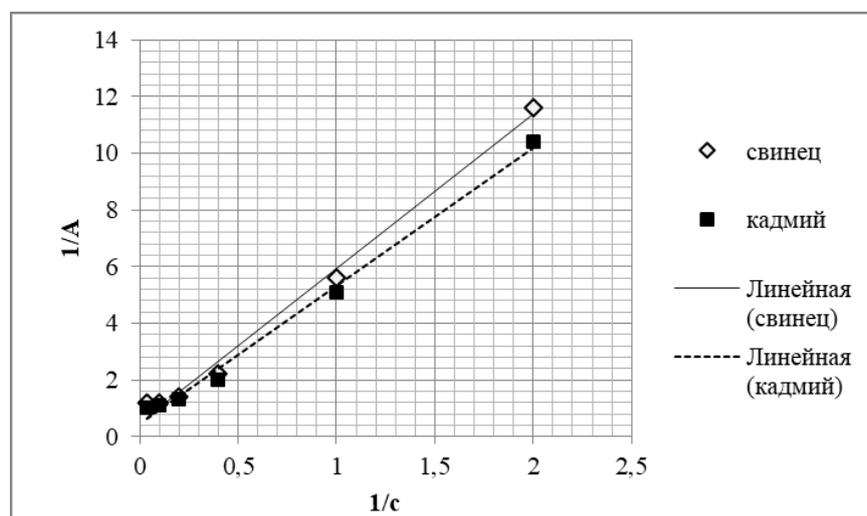
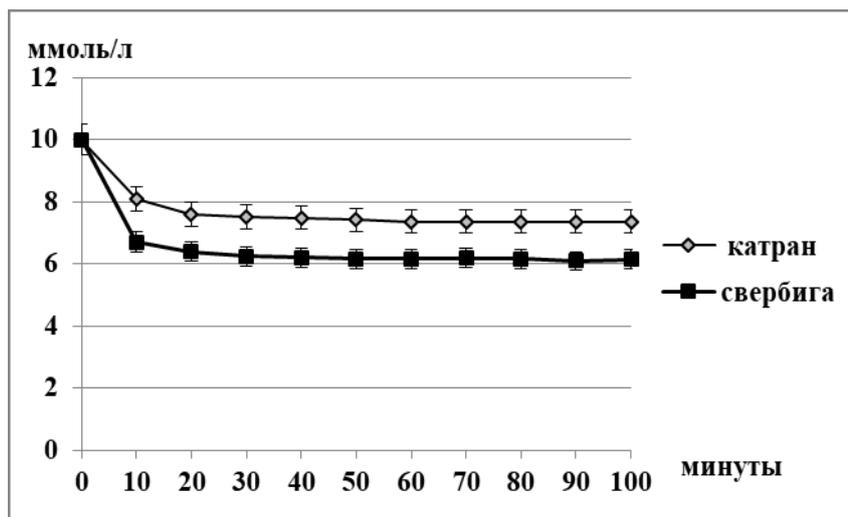


Рисунок 4 – Изотерма адсорбции в линейных координатах уравнения Ленгмюра (шрот из корней свербиги восточной)

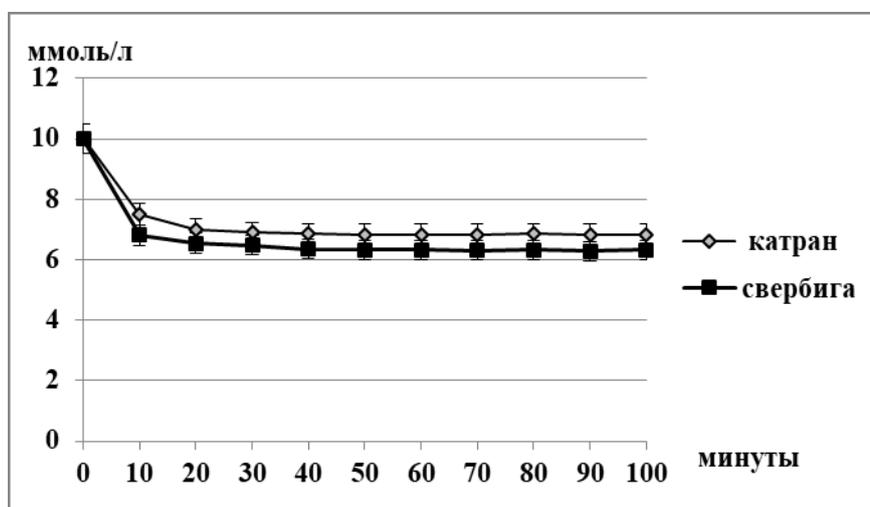


По оси абсцисс: время взаимодействия адсорбента и адсорбата, минуты;
по оси ординат: концентрация Pb²⁺, ммоль/л

Рисунок 5 – Изменение концентрации ионов свинца в водном растворе

Из рисунка 5 видно, равновесная концентрация ионов свинца в растворе достигалась после 30 минут абсорбции пищевыми волокнами из шрота корней исследуемых растений.

Следует отметить, что процесс сорбции Pb²⁺ пищевыми волокнами шрота свербиги протекал эффективнее на 17 % по сравнению с корнями катрана.



По оси абсцисс: время взаимодействия адсорбента и адсорбата, минуты;
по оси ординат: концентрация Cd²⁺, ммоль/л

Рисунок 6 – Изменение концентрации ионов кадмия в водном растворе

Согласно кинетической кривой представленной на рисунке 6, можно сделать заключение, что время достижения равновесия в исследуемых системах адсорбат-адсорбент составляет 20 минут. Эффективность связывания ионов кадмия шротом из корней свербиги и шрота из корней катрана оказалась практически на одном уровне.

Заключение

В результате исследования выявлено, что шрот из корней свербиги и катрана проявляют адсорбционные свойства по отношению к солям таких тяжелых металлов как свинец и кадмий. При сравнении эффективности сорбции данных металлов на пищевых волокнах из шрота катрана и свербиги можно отметить, что ионы кадмия связывались более интенсивно, о чем свидетельствует меньшее время, затрачиваемое на достижение равновесной концентрации и величины констант равновесия. Сорбционная емкость пищевых волокон из шрота корней свербиги превышала данный показатель корней катрана, хотя

содержание ПВ и пектина в корнях катрана несколько выше, чем в корнях свербиги. Данный факт может свидетельствовать о неоднородной химической структуре ПВ диссидуемого сырья. Можно предположить, что на пищевых волокнах из шрота корней свербиги присутствует большее количество отрицательных функциональных групп способствующих связыванию катионов тяжелых металлов.

Как показало исследование, показатели сорбционной емкости и констант равновесия для корней катрана и свербиги не были значительными по сравнению некоторых видов сорбентов приведенных в различных источниках литературы, что говорит об их слабовыраженной сорбционной активности. Исследования в данной сфере требуют более детального разрешения вопроса для эффективного применения рассматриваемого вида сырья. Тем не менее, полученные результаты могут дать обоснование для применения ПВ из корней исследованных растений при комплексной детоксикации организма, как дополняющего компонента и источника биологически активных веществ.

Литература

1. Yang J, Li X, Xiong Z, Wang M, Liu Q. Environmental Pollution Effect Analysis of Lead Compounds in China Based on Life Cycle // *Int J Environ Res Public Health*. – 2020.- Vol.17. – № 7. – P.2184.
2. Mathew BB, Singh H, Biju VG, Krishnamurthy NB. Classification, Source, and Effect of Environmental Pollutants and Their Biodegradation // *J Environ PatholToxicolOncol*.- 2017.- Vol. 36.- № 1. – P.55-71.
3. El-Khatib AA, Barakat NA, Youssef NA, Samir NA. Bioaccumulation of heavy metals air pollutants by urban trees // *Int J Phytoremediation*.- 2020. Vol. 22. -№ 2. – P:210-222.
4. El Bahgy HEK, Elabd H, Elkorashey RM. Heavy metals bioaccumulation in marine cultured fish and its probabilistic health hazard // *Environ SciPollut Res Int*.- 2021.- № 30. – P.41431-41438.
5. Izydorczyk G, Mikula K, Skrzypczak D, Moustakas K, Witek-Krowiak A, Chojnacka K. Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management// *Environ Res*. – 2021. – № 197. – P.111050.
6. Adeli M, Mohammadi Z, Keshavarzi B, Amjadian K, Kafi M. Heavy metal(loid) pollution of a hard-rock aquifer: evidence, distribution, and source // *Environ SciPollut Res Int*. – 2021. Vol. 28.- № 26. – P.34742-34761
7. Ojuederie OB, Babalola OO. Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review // *Int J Environ Res Public Health*. – 2017. – Vol. 14.- № 12.- P.1504.
8. Chowdhury S, Mazumder MAJ, Al-Attas O, Husain T. Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries // *Sci Total Environ*. 2016.-№ 569-570. – P. 476-488.
9. Shahid M., Pourrut B., Dumat C., Nadeem M., Aslam M., Pinelli E Heavy-metal-induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants // *Rev Environ Contam Toxicol*.- 2014. – № 232.- P. 1-44.
10. Жаймьшева С.С. Токсичные элементы в сырье и продуктах питания // *Материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры (с международным участием)»*. -2015.- С. 928-931.
11. Kallel A, Ksibi M, Ben Dhia H, Khélifi N. Pollutant removal and the health effects of environmental pollution // *Environ SciPollut Res Int*. – 2020. Vol.27.-№ 19. – P. 23375-23378.
12. Hussain S, Habib-Ur-Rehman M, Khanam T, Sheer A, Kebin Z, Jianjun Y. Health Risk Assessment of Different Heavy Metals Dissolved in Drinking Water // *Int J Environ Res Public Health*.- 2019. – Vol.16.-№ 10. – P.1737.
13. Flora S.J.S., Mittal M., Mehta A Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy// *Indian J Med Res*. -2008.- №128. – P. 501-523
14. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Теплая Г.А. // *Астраханский Вестник экологического образования*.- 2013. – №1. – С. 182-192.

15. Crisponi G, Dean A, Di Marco V, Lachowicz JI, Nurchi VM, Remelli M, Tapparo A. Different approaches to the study of chelating agents for iron and aluminium overload pathologies // *Anal Bioanal Chem.* – 2013. – Vol. 405. – № 2-3. P.585-601.
16. Khotimchenko YS, Khozhaenko EV, Khotimchenko MY, Kolenchenko EA, Kovalev VV. Carrageenans as a new source of drugs with metal binding properties // *Mar Drugs.* - 2010. – Vol.8. № 4. – P.1106-21.
17. Malamis S, Katsou E. A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: examination of process parameters, kinetics and isotherms // *J. Hazard Mater.* – 2013 – № 252-253. P.428-61.
18. Topashka-Ancheva M, Beltcheva M, Metcheva R, Rojas JA, Rodriguez-De la Fuente AO, Gerasimova T, Rodríguez-Flores LE, Teodorova SE. Modified natural clinoptilolite detoxifies small mammal's organism loaded with lead II: genetic, cell, and physiological effects // *Biol Trace Elem Res.* – 2012.- Vol. 147. – №1-3. – P. 206-16.
19. Jiang H, Yang Y, Lin Z, Zhao B, Wang J, Xie J, Zhang A. Preparation of a novel bio-adsorbent of sodium alginate grafted polyacrylamide/graphene oxide hydrogel for the adsorption of heavy metal ion // *Sci Total Environ.* – 2020.-№744. – P.140653.
20. Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Модина Е.А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // *Химия растительного сырья.* - 2010. – №4.- С. 23-30.
21. Chong HL, Chia PS, Ahmad MN. The adsorption of heavy metal by Bornean oil palm shell and its potential application as constructed wetland media // *Bioresour Technol.*-2013.- №130. – P.181-186.
22. ГОСТ 29059-91. Продукты переработки плодов и овощей Титриметрический метод определения пектиновых веществ.- М. : Стандартинформ, 2010. – 6с.
23. ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. – М. : Стандартинформ, 2014. – 12 с.
24. Мосталыгина Л.В., Баймышева М.А., Двухватская К.П., Кискина Л.А., Елизарова С.Н., Костин А.В. Изучение сорбции ионов свинца на пищевом волокне // *Вестник Курганского государственного университета.* – 2013. – Т.30, №3. – С. 82-85.
25. Михеева Е.В. Адсорбция на однородной твердой поверхности. Уравнение Лэнгмюра: методические указания к выполнению расчетной лабораторной работы по дисциплинам «Поверхностные явления и дисперсные системы и «Коллоидная химия»» для студентов ИПР/ – Томск, 2011. – 36 с.
26. Кисиева М.Т., Мыкоц Л.П., Туховская Н.А., Бондарь С.Н., Зяблицева Н.С., Компанцев В.А., Белоусова А.Л. Исследование сорбционной способности пектина, полученного кислотным экстрагированием из клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*) // *Сиб. мед. журн. (Иркутск).* – 2010. – №8. – С.147-150.
27. Самсонов Ф.А. Изучение металлосвязывающей способности альгината натрия // *Литьё и металлургия.* – 2015. – Том 78, №1. – С.77-79.
28. Visa A, Maranescu B, Lupa L, Crisan L, Borota A. New Efficient Adsorbent Materials for the Removal of Cd(II) from Aqueous Solutions // *Nanomaterials (Basel).* -2020.- Vol. 10. – №5. –P. 899.
29. Baby R, Saifullah B, Hussein MZ. Palm Kernel Shell as an effective adsorbent for the treatment of heavy metal contaminated water // *Sci Rep.* – 2019 – Vol. 9. – №1. –P. 18955.
30. Mokrzycki J, Michalak I, Rutkowski P. Tomato green waste biochars as sustainable trivalent chromium sorbents // *Environ Sci Pollut Res Int.* – 2021. Vol.;28. -№19. –P.24245-24255.

References

1. Adeli M, Mohammadi Z, Keshavarzi B, Amjadian K, Kafi M. (2021) Heavy metal(loid) pollution of a hard-rock aquifer: evidence, distribution, and source. *Environ Sci Pollut Res Int.*, vol. 28, no 26, pp.34742-34761
2. Baby R, Saifullah B, Hussein MZ. (2019) Palm Kernel Shell as an effective adsorbent for the treatment of heavy metal contaminated water. *Sci Rep.*, vol. 9, no1, pp. 18955.
3. Chong HL, Chia PS, Ahmad MN. (2013) The adsorption of heavy metal by Bornean oil palm shell and its potential application as constructed wetland media. *Bioresour Technol.* no 130, pp.181-186.
4. Chowdhury S, Mazumder MAJ, Al-Attas O, Husain T. (2016) Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Sci Total Environ*, no 569-570, pp. 476-488.
5. Crisponi G, Dean A, Di Marco V, Lachowicz JI, Nurchi VM, Remelli M, Tapparo A. (2013) Different approaches to the study of chelating agents for iron and aluminium overload pathologies. *Anal Bioanal Chem.*, vol. 405, no 2-3, pp.585-601.
6. El Bahgy HEK, Elabd H, Elkorashey RM. Heavy metals bioaccumulation in marine cultured fish and its probabilistic health hazard (2021). *Environ Sci Pollut Res Int.*, no 30, pp. 41431-41438.
7. El-Khatib AA, Barakat NA, Youssef NA, Samir NA. (2020) Bioaccumulation of heavy metals air pollutants by urban trees. *Int J Phytoremediation.*, vol. 22, no 2, pp:210-222.
8. Flora S.J.S., Mittal M., Mehta A (2008). Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. *Indian J Med Res.*, 128, pp.501-523
9. GOST 29059-91. (2010) Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ [StST 29059-91. Processed fruits and vegetables Titrimetric method for the determination of pectin substances].- Moscow : Standartinform, p. 6.
10. GOST 31675-2012 (2014) Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. [StST 31675-2012. Stern. Methods for determining the content of crude fiber using intermediate filtration]- Mjsscow : Standartinform, p.12.

11. Hussain S, Habib-Ur-Rehman M, Khanam T, Sheer A, Kebin Z, Jianjun Y. (2019) Health Risk Assessment of Different Heavy Metals Dissolved in Drinking Water .*Int J Environ Res Public Health.*,vol.16.,no 10., pp.1737.
12. Izydorczyk G, Mikula K, Skrzypczak D, Moustakas K, Witek-Krowiak A, Chojnacka K. (2021). Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management *Environ Res.*, no 197, pp.111050
13. Jiang H, Yang Y, Lin Z, Zhao B, Wang J, Xie J, Zhang A. (2020) Preparation of a novel bio-adsorbent of sodium alginate grafted polyacrylamide/graphene oxide hydrogel for the adsorption of heavy metal ion. *Sci Total Environ.*, no 744, pp. 140653.
14. Kallel A, Ksibi M, Ben Dhia H, Khélifi N. (2020) Pollutant removal and the health effects of environmental pollution *.Environ SciPollut Res Int.* , vol.27, no 19, pp. 23375-23378.
15. Khotimchenko YS, Khozhaenko EV, Khotimchenko MY, Kolenchenko EA, Kovalev VV. (2010) Carrageenans as a new source of drugs with metal binding properties *.Mar Drugs*, vol.8, no 4, pp.1106-21.
16. Kisieva M.T., Mykoc L.P., Tuhovskaya N.A., Bondar’ S.N., Zyabliceva N.S., Kompancev V.A., Belousova A.L. (2010) Issledovanie sorbcionnoj sposobnosti pektina, poluchennogo kislotnym ekstragirovaniem iz klubnej topinambura (Helianthus tuberosus L.) [Study of the sorption capacity of pectin obtained by acid extraction from Jerusalem artichoke tubers (Helianthus tuberosus L.)].- *Sibirskij medicinskij zhurnal (Irkutsk)* , no8, pp. 147-150.
17. Malamis S, Katsou E.(2013) A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: examination of process parameters, kinetics and isotherms . *J. Hazard Mater*, no 252-253, pp.428-61.
18. Mathew BB, Singh H, Biju VG, Krishnamurthy NB. (2017) Classification, Source, and Effect of Environmental Pollutants and Their Biodegradation. *J Environ PatholToxicolOncol.*, vol. 36, no 1,pp.55-71.
19. Miheeva E.V. (2011) Adsorbciya na odnorodnoj tverdoj poverhnosti. Uravnenie Lengmyura: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu raschetnoj laboratornoj raboty po disciplinam «Poverhnostnye yavleniyai dispersnye sistemy i «Kolloidnaya himiya»» dlya studentov IPR. [Adsorption on a homogeneous solid surface. Langmuir Equation: Methodological Instructions for Performing Calculation Laboratory Work in the Disciplines “Surface Phenomena and Disperse Systems and “Colloid Chemistry”” for students of IPR]. Tomsk, p. 36
20. Mokrzycki J, Michalak I, Rutkowski P. (2021) Tomato green waste biochars as sustainable trivalent chromium sorbents. *Environ SciPollut Res Int.*, vol.:28, no 19, pp.24245-24255.
21. Mostalygina L.V. Mostalygina L.V., Bajmysheva M.A., Dvuhvatskaya K.P., Kiskina L.A., Elizarova S.N., Kostin A.V. (2013) Izuchenie sorbcii ionov svinca na pishchevom volokne. [Study of the sorption of lead ions on dietary fiber]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennog ouniversiteta.* , no 30, pp. 82-85.
22. Nikiforova T.E., Kozlov V.A., Modina E.A. (2010) Sol’vacionno-koordinacionnyj mekhanizm sorbcii ionov tyazhelyh metallov cellyulozosoderzhashchim sorbentom iz vodnyh sred [Solvation-coordination mechanism of sorption of heavy metal ions by cellulose-containing sorbent from aqueous media]. *Himiyarastitel’nogosyr’ya*, Vol.4, pp. 23-30.
23. Ojuederie OB, Babalola OO. (2017) Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review. *Int J Environ Res Public Health.* , vol. 14, no 12, p.1504.
24. Samsonov F.A. (2015) Izuchenie metallosvyazyvayushchej sposobnosti al’ginata natriya [Study of the metal-binding capacity of sodium alginate]. *Lit’yo i metallurgiya.*, no78, pp.77-79.
25. Shahid M., Pourrut B., Dumat C., Nadeem M., Aslam M., Pinelli E. (2014) Heavy-metal-induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Rev Environ ContamToxicol*, no 232, pp.1-44
26. Teplaya G.A. (2013) Tyazhelye metally kak faktor zagryazneniya okruzhayushchej sredy. [Heavy metals as a factor of environmental pollution]. *Astrahanskij Vestnik ekologicheskogo obrazovaniya.*, Vol.1, pp. 182-192.
27. Topashka-Ancheva M, Beltcheva M, Metcheva R, Rojas JA, Rodriguez-De la Fuente AO, Gerasimova T, Rodríguez-Flores LE, Teodorova SE. (2012) Modified natural clinoptilolite detoxifies small mammal’s organism loaded with lead II: genetic, cell, and physiological effects . *Biol Trace Elem Res.* ,vol. 147, no 1 – 3, pp. 206-16.
28. Visa A, Maranescu B, Lupa L, Crisan L, Borota A. (2020) New Efficient Adsorbent Materials for the Removal of Cd(II) from Aqueous Solutions . *Nanomaterials (Basel).*, vol. 10, no 5, pp. 899.
29. Yang J, Li X, Xiong Z, Wang M, Liu Q. (2020) Environmental Pollution Effect Analysis of Lead Compounds in China Based on Life Cycle. *Int J Environ Res Public Health.*, vol.17, no 7, p.2184.
30. ZHajmysheva S.S.(2015) Toksichnye elementy v syr’e i produktah pitaniya. [Toxic elements in raw materials and food]. *Materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii «Universitetskij kompleks kak regional’nyj centr obrazovaniya, nauki i kul’tury*, pp. 928-931.

Information about an author:

Aralbaev Altai Nugmanovich (corresponding author) —3rd year doctoral student, Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, email: altayaralbayev@gmail.com

Информация об авторе:

Аралбаев Алтай Нугманович (корреспондентный автор) – докторант 3 курса, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан, email: altayaralbayev@gmail.com

Поступила 5 января 2023 года
Принята 20 февраля 2024 года