

УДК 544.723.212

ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ И КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К КАТИОНАМ СВИНЦА (II)

© *Е.О. Куличенко*, Л.П. Мыкоц, Н.А. Туховская, Л.В. Лигай, О.А. Андреева, Э.Т. Оганесян*

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского государственного медицинского университета, пр. Калинина, 11, Пятигорск, 357500 (Россия), e-mail: evgenia.kuli4encko@yandex.ru

Проведенные исследования посвящены изучению сорбционной способности водорастворимых полисахаридов (далее – ВРПС) по отношению к катионам свинца (II) и установлению кинетических характеристик процесса. Установлено, что сорбционный процесс протекает по кинетике первого порядка, а степень очистки растворов от катионов Pb^{+2} (сорбционная способность) составила 90–92.5%. Фракции водорастворимых полисахаридов получены из травы *Cosmos bipinnatus* Cav. (Asteraceae) двух разных сортов «Dazzler» и «Purity». Сырье заготавливали в период цветения растения в ботаническом саду Пятигорского медико-фармацевтического института. В результате проведенных исследований изучена адсорбционная способность полученных водорастворимых полисахаридов к ионам свинца.

Химический состав *Cosmos bipinnatus* изучен недостаточно. Исследованы фенольные соединения (установлено наличие халконов, ауранов, фенолокислот, флавоноидов) и эфирные масла, тогда как сведений об углеводном составе практически не обнаружено, хотя зачастую эта группа соединений играет значимую роль в фармакологическом действии. Практически не изучены и физико-химические свойства полисахаридов. В данном исследовании установлена довольно высокая сорбционная способность водорастворимых полисахаридов, полученных из космеи дваждыперистой двух разных сортов – «Dazzler» и «Purity» относительно ионов свинца (II) (90 и 92.5% соответственно). Концентрацию ионов свинца определяли в различные промежутки времени комплексонометрическим титрованием. Процесс комплексообразования протекает по первому порядку.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о возможности использования ВРПС, полученных из космеи дваждыперистой сортов «Purity» и «Dazzler» для извлечения ионов свинца (II) и в качестве природных детоксикантов.

Ключевые слова: водорастворимые полисахариды, *Cosmos bipinnatus* Cav., семейство Asteraceae, природный адсорбент, трава, тяжелые металлы, сорбция, кинетические характеристики.

Введение

Космея дваждыперистая (*Cosmos bipinnatus* Cav.), семейство Asteraceae, родиной является Мексика, Бразилия и другие страны Северной и Южной Америки, остров Ява [1, 2]. Представляет собой однолетнее

Куличенко Евгения Олеговна – аспирант, преподаватель кафедры биологической химии, e-mail: evgenia.kuli4encko@yandex.ru

Мыкоц Лидия Петровна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры неорганической, физической и коллоидной химии, e-mail: 58041@mail.ru

Туховская Нина Александровна – кандидат химических наук, преподаватель кафедры аналитической химии, e-mail: ninatuk@mail.ru

Андреева Ольга Андреевна – кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии, e-mail: 51934@yandex.ru

Лигай Лилия Вениаминовна – кандидат фармацевтических наук, старший преподаватель кафедры органической химии, e-mail: ligay_59@mail.ru
Оганесян Эдуард Тоникович – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии, e-mail: edwardov@mail.ru

растение высотой от 50 до 150 см с тонкими, гибкими, прямостоячими стеблями. Имеет супротивные дважды рассеченные светло-зеленые ажурные листья. Соцветие корзинки, собраны в рыхлые щитковидные метелки. Трубочатые цветки мелкие, желтые находятся в центре, язычковые крупные, расположены по краям и окрашены в розовый, фиолетовый, белый цвет (в зависимости от сорта). Плод – семянка от серого до коричневого цвета. Растение культивируется в климатических условиях различных субъектов Российской Федерации (Ставропольский край, Краснодарский край, Ростовская область, Московская область, Волгоградская область, Астраханская область,

* Автор, с которым следует вести переписку.

Урал, различные районы Сибири, Республика Бурятия, Забайкалье, Южная Якутия и др.). Цветет с начала лета до глубокой осени. Образует плотные высокие заросли, часто используют для создания живой изгороди, а также для оформления клумб, рабаток, бордюров. Растение к условиям выращивания неприхотливо и очень легко культивируется, устойчиво к растительным инфекциям [2, 3].

Космея дваждыперистая представлена множеством сортов, самые распространенные из которых следующие:

– «Dazzler» – только распустившиеся соцветия этого сорта имеют красный окрас, который со временем меняется на малиновый или фиолетовый, стебли высокие (до 1.5 м), крепкие прямостоячие, зачастую пигментированы в розовый или фиолетовый цвет;

– «Purity» – язычковые цветки снежно-белого цвета, трубчатые ярко-желтые, соцветия – корзинки на гибких цветоносах, высотой до 1 м, стебли крепкие прямостоячие, не пигментированные в розовый или фиолетовый цвет.

Химический состав всех частей растения в основном представлен как полифенолами, так и компонентами эфирного масла. Химический состав космеи изучался учеными из Великобритании, Японии, Южной Африки и др. Так, в траве космеи установили наличие халконов (бутеин, оканин, ланцеолетин) [4–6], фенолокислот (хлорогеновая и кофейная кислоты), антоцианов (космоцианин), флавоноидов (космосиин, лютеолин- γ -глюкуронид, трифолин, изокверцитрин, нелюмбозид) [7–9], танинов [10], эфирных масел: монотерпенов и сесквитерпенов ((Е)- β -Оцимен (50.23%), гермакрин D (13.99%), сабинин (9.35%), α -кадиол (4.27%), α -фарнезин (3.15%) и терпинен-4-ол (3.04%), β -элемен (15–17%), β -кариофиллен (15–17%), гермакрин D (10–21%) и бициклогермакрин (12–15%) [11–14].

В литературных источниках сообщается, что в *Cosmos bipinnatus* определены некоторые тритерпеновые спирты, такие как гелианол и другие компоненты, обладающие противовоспалительной активностью, также сообщается об использовании этого растения для лечения различных заболеваний, таких как желтуха, прерывистая лихорадка, спленомегалия и защита от повреждения и окисления ДНК. В традиционной медицине растение используется для лечения головной боли, болей и нарушений желудка. Африканцы использовали его против постельных клопов и вшей, указывающих на его инсектицидное свойство [15].

В настоящее время весьма актуален вопрос поглощения и выведения из организма различных вредных веществ. Ими могут являться токсины, продукты метаболизма, соли тяжелых металлов, шлаки, химические стабилизаторы, эмульгаторы, красители пищевых продуктов и др. [16].

Целесообразно изучать адсорбционные свойства сорбентов растительного происхождения, недорогих, нетоксичных и простых в получении. Поиск и эффективность найденных детоксикантов позволит создавать полисорбенты, позволяющие решить задачу очистки человеческого организма от различных вредных веществ.

Цель нашего исследования – изучить кинетику сорбции ионов свинца (Pb^{2+}) водорастворимыми полисахаридами (ВРПС) выделенными из космеи дваждыперистой сортов «Purity» и «Dazzler».

Экспериментальная часть

Выделение водорастворимых полисахаридов из травы двух сортов космеи дваждыперистой проводили по методу Н.К. Кочеткова и М. Sinner (рис. 1) [16–18]; выход составляет для сорта «Purity» – 3.34%, а для сорта «Dazzler» – 1.66%, что само по себе заслуживает внимания с точки зрения использования данного растения в качестве источника препаративного получения этих соединений. В этой связи представляло интерес изучение их физико-химических характеристик, в частности сорбционной способности по отношению к ионам тяжелых металлов.

Исследуемые образцы ВРПС являлись кристаллическими порошками темно-коричневого цвета, имели характерный запах, не имели вкуса, были растворимы в воде. После кислотного гидролиза в течение 10 ч на водяной бане, определяли моносахаридный состав полученного гидролизата. Установлено, что в состав ВРПС сорта «Purity» входят моносахара: арабиноза, фруктоза, рамноза, а в ВРПС сорта «Dazzler» входят галактоза и арабиноза.

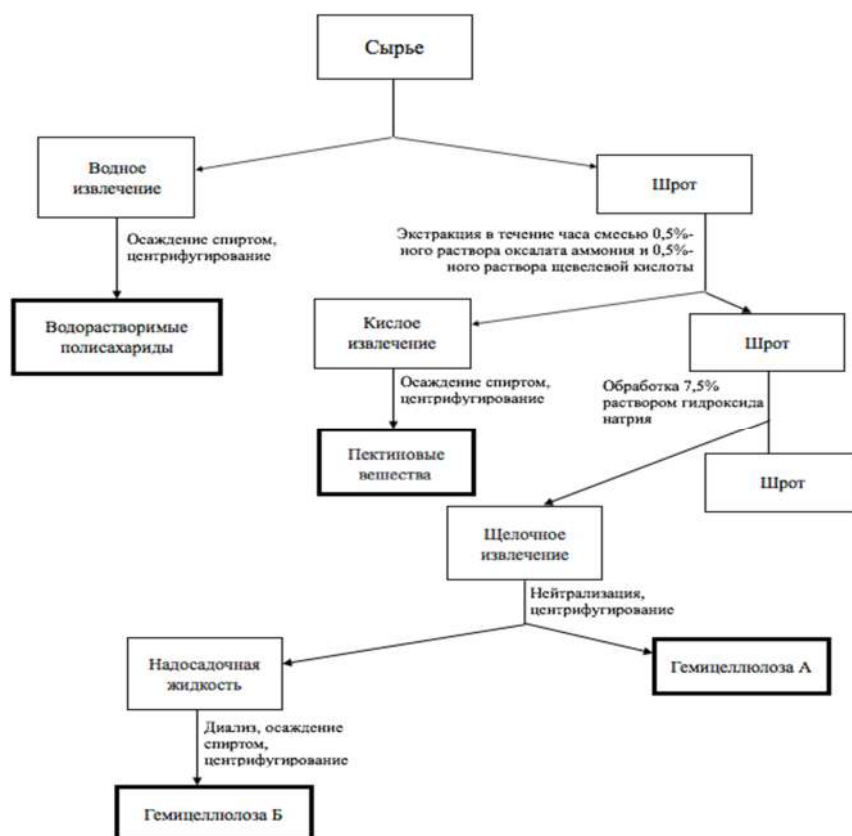


Рис. 1. Схема получения различных фракций полисахаридов из травы космеи дваждыперистой

Для проведения эксперимента готовили раствор ацетата свинца 0.035 М ВРПС массой 0.15 г помещали в колбу емкостью 100 мл и добавляли 10 мл $Pb(CH_3COO)_2$. Смесь перемешивали. Образующийся рыхлый осадок отфильтровывали. Количество ионов свинца в различные промежутки времени определяли комплексонометрическим титрованием [19].

Титрование проводилось при $pH=5.5$ в среде ацетатного буферного раствора. В качестве индикатора использовали ксиленоловый оранжевый. Концентрацию катионов свинца (II) определяли как в исходном растворе, так и в фильтрате [20–22].

Результаты представлены в таблице 1.

Количественно адсорбция (А) определяется избытком катионов Pb^{2+} на границе фаз «твердое-жидкое», по сравнению с равновесным количеством ионов в растворе [23].

Таблица 1. Изменение концентрации катионов свинца в водной среде

Время, мин	Количество катионов Pb^{2+} , мг	Концентрация катиона Pb^{2+} в растворе, ммоль/л	Степень очистки раствора от ионов Pb^{2+} , %
ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Dazzler»			
0	82.9	40	–
5	35.64	17	60
10	16.6	8	80
20	12.4	6	85
30	8.3	4	90
60	8.3	4	90
ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Purity»			
0	82.9	40	–
5	31.1	15	56.2
10	10.4	5	87.5
20	8.3	4	90.0
30	6.2	3	92.5
60	6.2	3	92.5

Величину адсорбции рассчитывали, используя экспериментальные данные по уравнению (1):

$$A_{\text{эк}} = \frac{(c_0 - c) \cdot V}{m} \quad (1)$$

где c_0 и c – исходная и равновесная концентрация катионов Pb^{2+} в растворе, ммоль/л; V – объем раствора, л; m – масса сорбента (ВРПС), г.

Теоретически величину адсорбции можно рассчитать по уравнению Ленгмюра (2):

$$A_{\text{л}} = \frac{A_{\infty} \cdot K \cdot c}{1 + K \cdot c}, \quad (2)$$

где A_{∞} – емкость монослоя адсорбата (предельная адсорбция); c – равновесная концентрация; K – константа адсорбционного равновесия.

При исследовании адсорбции на пористых адсорбентах используют и уравнения Фрейндлиха (3):

$$A = K \cdot c^{1/n}, \quad (3)$$

где $1/n$ и K – эмпирические константы, c – равновесная концентрация.

Возможность самопроизвольности протекания процесса адсорбции оценивали по величине изобарно-изотермического потенциала (ΔG), рассчитанного по формуле (4):

$$\Delta G = -RT \ln K_c, \quad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная, а T – температура в Кельвинах.

Обсуждение результатов

Эксперимент показал, что ВРПС из космеи дваждыперистой двух сортов обладает высокой сорбционной способностью относительно ионов свинца Pb^{2+} . Для оценки динамики и кинетики процесса рассчитывали величину адсорбции, скорость и константу скорости [24–26].

Об адсорбционной способности ионов металла после контакта с поверхностью сорбента можно судить по изотермам адсорбции [27].

Зависимость величины экспериментальной адсорбции от времени показана на графике (рис. 2).

На графике видно, что на ВРПС выделенном из космеи дваждыперистой сорта «Purity» величина адсорбции выше, что согласуется с данными таблицы 1. Максимальная скорость сорбции наблюдается в первые 10 мин. Изотермы сорбции соответствуют форме изотерм Ленгмюра. С увеличением времени величина A_{∞} не меняется.

Емкость сорбента (A_{∞}) и константы сорбции (K) рассчитывали, используя линейную графическую зависимость уравнения Ленгмюра (5):

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty} \cdot K \cdot c} + \frac{1}{A_{\infty}} \quad (5)$$

Графическая зависимость $1/A_{\infty} = f(1/c)$ представлена на рисунке 3.

Отрезок, отсекаемый на оси ординат, соответствует обратной емкости ($1/A_{\infty}$). Константа адсорбционного равновесия определяется по тангенсу угла наклона, в соответствии с зависимостью (6):

$$\text{tg} \alpha = \frac{1}{A_{\infty}} \cdot K \quad (6)$$

Для определения констант уравнение логарифмируется, что приводит к линеаризации изотермы адсорбции. На графике логарифмической изотермы адсорбции в координатах $\lg A - \lg C$, отрезок, отсекаемый от оси ординат, соответствует $\lg K$. Тангенс угла наклона прямой позволил найти вторую константу $1/n$ (рис. 4) [28–29].

Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

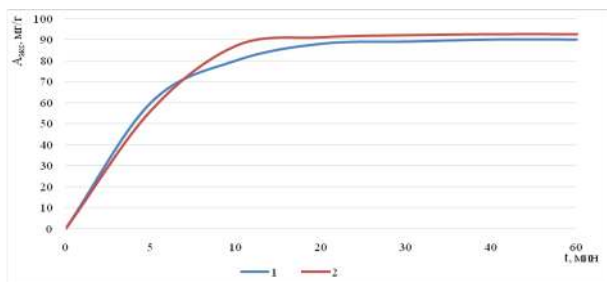


Рис. 2. Изотермы сорбции катионов Pb^{2+} на ВРПС: 1 – ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Dazzler»; 2 – ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Purity»

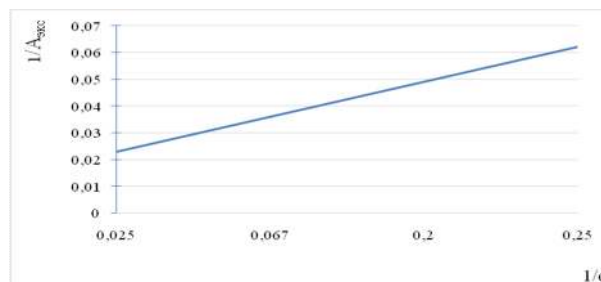


Рис. 3. Зависимость обратных величин адсорбции от равновесной концентрации для ВРПС из космеи дваждыперистой сорта «Purity»

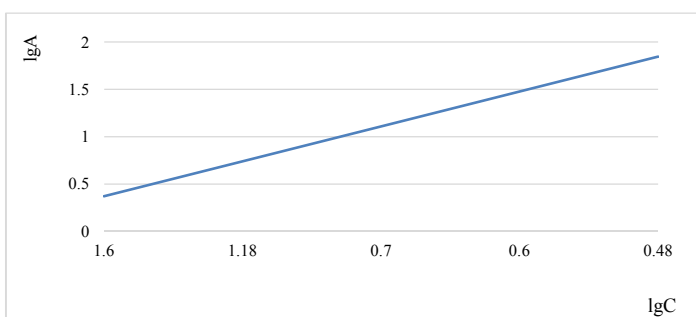


Рис. 4. Графическое определение констант уравнения Фрейндлиха для ВРПС из космеи дваждыперистой сорта «Purity»

Таблица 2. Зависимость величин адсорбции от времени и концентрации катионов Pb^{2+} в растворе

ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Dazzler»						
t, мин	Δс, ммоль/л	A _{экc} , мг/г	A _л , мг/г	A _ф , мг/г	A _{экc} /A _л	A _{экc} /A _ф
5	22.5	15.0	18.3	19.8	0.82	0.76
10	32.0	21.3	25.2	27.8	0.85	0.77
20	34.0	22.7	26.7	29.5	0.85	0.77
30	36.0	24.0	28.0	31.2	0.86	0.77
60	36.0	24.0	28.0	31.2	0.86	0.77
Среднее:					0.85	0.77
ВРПС, полученные из космеи дваждыперистой сорта «Purity»						
5	25.0	16.7	24.1	25.5	0.69	0.65
10	35.0	23.3	33.3	35.2	0.70	0.66
20	36.0	24.0	32.2	36.1	0.70	0.66
30	37.0	24.7	35.1	37.1	0.70	0.66
60	37.0	24.7	35.1	37.1	0.70	0.66
Среднее:					0.70	0.66

В соответствии с таблицей по соотношению экспериментальных величин адсорбции и рассчитанных по уравнениям можно сделать выводы:

– эффективность экспериментальной адсорбции катионов Pb^{2+} на ВРПС из космеи дваждыперистой сортов «Purity» и «Dazzler» почти одинакова. В течение одного часа она составила 24–24.7 мг/г, однако у ВРПС из космеи дваждыперистой сорта «Purity» она немного эффективнее;

– соотношение экспериментальной и рассчитанной величин адсорбции ионов Pb^{2+} в обоих случаях близко к единице;

– по характеру изученных изотерм и данных таблицы 2 можно сделать вывод, что функциональная зависимость сорбции от катионов свинца в области исследуемых концентраций подчиняется двум уравнениям, описывающим сорбционный процесс на неоднородных пористых поверхностях [30].

Для учета суммарного распределения ионов Pb^{2+} между сорбентом и раствором определили коэффициент распределения в фазах (7):

$$K_d = \frac{A}{c_p}, \quad (7)$$

где A – величина экспериментальной адсорбции, c_p – равновесная концентрация.

Величина K_d для ВРПС из космеи дваждыперистой сортов «*Purity*» и «*Dazzler*» соответственно равна 6 и 8,2, изобарно-изотермический потенциал (ΔG), равный -7,26 кДж/моль и -6,72 кДж/моль, что свидетельствует о самопроизвольности протекающего процесса адсорбции.

Для выяснения механизма процесса сорбции определяли кинетические характеристики: скорость, порядок реакции, константу скорости. Кинетические кривые убывания концентрации ионов свинца при адсорбции ацетата свинца на полисахаридах представлены на рисунке 5. Скорость убывания ионов Pb^{2+} при адсорбции на ВРПС космеи сорта «*Purity*» выше, чем на ВРПС космеи сорта «*Dazzler*». Порядок процесса сорбции устанавливали по линейности зависимости $\lg \Delta c$ от времени, что соответствует первому порядку.

Подтверждением этому служил дифференциальный метод определения порядка реакции [31]. Логарифмируя уравнение закона действующих масс, получили уравнение прямой, не проходящей через начало координат:

$$\lg V = \lg K + n \lg c. \quad (8)$$

По экспериментальным данным построили график зависимости логарифма скорости процесса сорбции от логарифма концентрации. Тангенс угла наклона графика к оси абсцисс показал, что сорбция ионов Pb^{2+} на ВРПС двух сортов протекает по первому порядку.

Известно [32], что кинетическая кривая для внешнедиффузных процессов должна быть линейной в координатах (8):

$$\lg(1 - F) = f(t), \quad (9)$$

где F – степень достижения в системе равновесия, t – время.

Степень достижения равновесия в системе рассчитывали как отношение количества сорбированного вещества (ммоль/л) в момент времени t (мин), к количеству сорбированного вещества в состоянии равновесия [33, 34].

Найденная зависимость для ВРПС двух видов описывалась прямыми (рис. 6).

Тангенс угла наклона полученных прямых позволил определить константы скорости процесса сорбции. Их величины для ВРПС, полученных из космеи дваждыперистой сортов «*Purity*» и «*Dazzler*», составили $5,3 \cdot 10^{-2}$ и $6,6 \cdot 10^{-2} \text{ мин}^{-1}$.

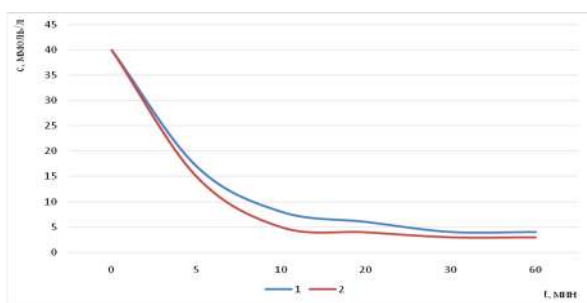


Рис. 5. Кинетические кривые убывания катионов Pb^{2+} в растворе при адсорбции на ВРПС, полученных из космеи дваждыперистой сортов «*Dazzler*» (1) и «*Purity*» (2)

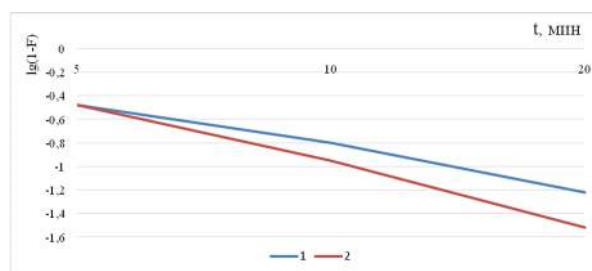


Рис. 6. Зависимость $\lg(1-F)$ от времени при сорбции ионов Pb^{2+} на ВРПС полученных из космеи дваждыперистой сортов «*Purity*» (1) и «*Dazzler*» (2)

Выводы

Изучение кинетических характеристик сорбционного процесса показало, что он протекает по кинетике первого порядка, с меньшей величиной константы скорости у ВРПС, полученных из космеи дваждыперистой сорта «Purity».

В результате исследования установлена сорбционная способность полисахаридов, выделенных из травы космеи дваждыперистой сортов «Purity» и «Dazzler», по отношению к ионам Pb^{2+} . Показано, что адсорбционная активность, скорость накопления катионов Pb^{2+} выше у ВРПС из космеи дваждыперистой сорта «Purity».

Найденные величины констант скорости процесса сорбции коррелируются с сорбционной способностью полисахаридов. Чем меньше ее величина, тем выше сорбционная способность полисахарида.

Зависимость величины адсорбции от равновесной концентрации ионов свинца подчиняется в одинаковой степени уравнениям Ленгмюра и Фрейндлиха, что может свидетельствовать о значительной пористости сорбентов и эффективности их использования в качестве энтеросорбентов.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о возможности использования ВРПС, полученных из космеи дваждыперистой сортов «Purity» и «Dazzler» для извлечения ионов свинца (II), и в качестве природных детоксикантов.

Список литературы

1. Государственная фармакопея Российской Федерации: в 3 т. XIII изд. М., 2015. URL: <http://www.femb.ru/feml>
2. Жизнь растений. М., 1980. Т. 5. 430 с.
3. Buschhaus C., Peng C., Jetter R. Very-long-chain 1,2- and 1,3-bifunctional compounds from the cuticular wax of *Cosmos bipinnatus* petals // *Phytochemistry*. 2013. Vol. 91. Pp. 249–256. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.07.018.
4. Buschhaus C., Hager D., Jetter R. Wax Layers on *Cosmos bipinnatus* Petals Contribute Unequally to Total Petal Water Resistance // *Plant Physiol*. 2015. Vol. 167. Pp. 80–88. DOI: 10.1104/pp.114.249235.
5. Edward F.G., Teresa H. *Cosmos bipinnatus*. Fact sheet FPS-148, institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1999. P. 1–3.
6. Harborne J.B. Comparative Biochemistry of Flavonoids – I. Distribution of Chalcone and Aurone pigments in Plants. // *Phytochemistry*. 1966. Vol. 5. Pp. 111–115.
7. Jackson B.P., Snowdon D.W. Atlas of microscopy of medicinal plants, culinary herbs and spices. London: Belhaven Press, 1990. 257 p.
8. Saito K. Distribution of Flavonoids and related Compounds in Various Parts of *Cosmos bipinnatus* // *Z. Pflanzenphysiol*. 1974. Vol. 71. Pp. 80–82.
9. Saito K. Quantitative variation of flavonoids and related compounds in *Cosmos bipinnatus* // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 1979. Vol. 48 (2). Pp. 317–325.
10. Bate-Smith E.C. Astringent tannins of *Cosmos bipinnatus* // *Phytochemistry*. 1980. Vol. 9. P. 982.
11. Konarev A.V., Anisimova I.N., Gavrilov V.A., Vachrushev T.E., Konechnayac G.Yu., Lewisd M., Shewryd P.R. Serine proteinase inhibitors in the Compositae: distribution, polymorphism and properties // *Phytochemistry*. 2002. Vol. 59. Pp. 279–291. DOI: 10.1016/S0031-9422(01)00463-0.
12. Menut C., Bessiere J.M., Zollo P.H.A., Kuatie J.R. Aromatic plants of tropical Central Africa. XXX V II. Volatile components of *Cosmos atrosanguineus* Staff. and *Cosmos bipinnatus* Cav. leaves from Cameroon // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2000. Vol. 3 (2). Pp. 65–69.
13. Olajuyigbe O., Ashafa A. Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oil of *Cosmos bipinnatus* Cav. Leaves from South Africa // *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2014. Vol. 13 (4). Pp. 1417–1423.
14. Akihisa T., Yasukawa K., Oinuma H., Kasahara Y., Yamanouchi S., Takido M., Kumaki K., Tamur T. Triterpene alcohols from the flowers of Compositae and their anti-inflammatory effects // *Phytochemistry*. 1996. Vol. 43 (6). Pp. 1255–1260.
15. Jang I.C., Park J.H., Park E., Park H.R., Lee C.H. Antioxidative and Antigenotoxic Activity of Extracts from *Cosmos* (*Cosmos bipinnatus*) Flowers // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2008. Vol. 63 (4). Pp. 205–210. DOI: 10.1007/s11130-008-0086-8.
16. Криштанова Н.А., Сафонова М.Ю., Болотова В.Ц. Перспективы использования растительных полисахаридов в качестве лечебных и лечебно-профилактических средств // *Вестник ВГУ*. 2005. №1. С. 212–221.
17. Кочетков Н.К., Бочков А.Ф., Дмитриев Б.А., Усов А.И., Чижов О.С., Шибаев В.Н. Химия углеводов. М., 1967. 672 с.
18. Аджахметова С.Л., Мыкоц Л.П., Червонная Н.М., Харченко И.И., Туховская Н.А., Оганесян Э.Т. Изучение реологических и сорбционных свойств пектинсодержащих растворов из листьев рябинника рябинолистного // *Фармация и фармакология*. 2017. №5. С. 442–456. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456.
19. Васильев В.Л., Морозова Р.Л., Кочергина Л.А. Аналитическая химия: лабораторный практикум. М., 2004. 456 с.

20. Мыкоц Л.П., Жилина О.М., Сысоева Т.Н. Изучение кинетики реакций образования полиуранатов свинца при взаимодействии ацетата свинца с биополимерами, выделенными из растительного сырья // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 9. №4. С. 161–164.
21. Васина Т.М., Мыкоц Л.П., Туховская Н.А., Зяблинцева Н.С., Белоусова А.Л., Компанцев В.А. Исследование сорбционной способности пектина, полученного кислотным экстрагированием из кожуры семян люпина // Сибирский журнал. 2012. №5. С. 115–117.
22. Мыкоц Л.П., Туховская Н.А., Бондарь С.Н. Определение кинетики сорбции катиона металла пектином из цитрусовых // Успехи современного естествознания. 2010. №6. С. 55–57.
23. Бек М. Химия равновесий реакций комплексообразования. М., 1973. 359 с.
24. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. М., 1970. 336 с.
25. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Френкель С.Я. Структура макромолекул в растворах. М., 1964. 718 с.
26. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. М., 1982. 400 с.
27. Мыкоц Л.П., Нерсисян З.М., Трибакова А.А. Оценка параметров структуры полисахарида из кориандра посевного в процессе гетерогенной сорбции // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции. 2015. №69. С. 168–170.
28. Манукян К.А., Мыкоц Л.П., Компанцева Е.В. Изучение сорбционной способности пектина из лука медвежьего (черемши) (*Allium ursinum* L.) по отношению к ионам свинца (II) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №1–9. С. 2263–2265.
29. Аджиахметова С.Л., Селина И.И., Лигай Л.В., Мыкоц Л.П., Оганесян Э.Т., Туховская Н.А. Исследование сорбционной способности пектинов и водорастворимых полисахаридов крыжовника отклоненного (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.), листьев шелковицы черной (*Morus nigra* L.) и шелковицы белой (*Morus alba* L.) // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2013. №22 (141). С. 170–173.
30. Мыкоц Л.П., Романцова Н.А., Гущина А.В. Изучение сорбционной способности пектина, выделенного из плодов калины обыкновенной, по отношению к ионам свинца // Фундаментальные исследования. 2013. №3–1. С. 197–200.
31. Щукин Е.Д., Перцев А.В., Амалис А.Е. Коллоидная химия. М., 2006. 444 с.
32. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.В. Курс химической кинетики. М., 1974. 400 с.
33. Никитина В.С., Гайнанова Л.Т., Абдуллин М.И., Беспалова А.А. Пектиновые вещества корней лопуха обыкновенного *Arctium lappa* L. и корней одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* Wigg. // Химия растительного сырья. 2012. №2. С. 21–26.
34. Селина И.И., Пеливанова С.Л., Андреева О.А., Лигай Л.В., Мыкоц Л.П., Оганесян Э.Т. Физико-химические характеристики пектинов и водорастворимых полисахаридов крыжовника отклоненного (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.), листьев шелковицы черной (*Morus nigra* L.) и шелковицы белой (*Morus alba* L.) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2013. №10. С. 20–25. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456.

Поступила в редакцию 10 ноября 2018 г.

После переработки 29 января 2019 г.

Принята к публикации 30 января 2019 г.

Для цитирования: Куличенко Е.О., Мыкоц Л.П., Туховская Н.А., Лигай Л.В., Андреева О.А., Оганесян Э.Т. Изучение адсорбционных и кинетических характеристик природных сорбентов по отношению к катионам свинца (II) // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 335–344. DOI: 10.14258/jcprm.2019034595.

Kulichenko E.O.* , Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Ligay L.V., Andreeva O.A., Oganessian E.T. STUDY OF ADSORPTION AND KINETIC CHARACTERISTICS OF NATURAL SORBENTS WITH RESPECT TO PLUMBUM (II) IONS

Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – a branch of the Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, pr. Kalinina, 11, Pyatigorsk, 357500 (Russia),
e-mail: evgenia.kuli4enko@yandex.ru

The studies conducted are devoted to the study of the sorption capacity of water-soluble polysaccharides with respect to plumbum (II) cations and the establishment of the kinetic characteristics of the process. Fractions of water-soluble polysaccharides derived from the herb *Cosmos bipinnatus* Cav. (Asteraceae) of two different varieties "Dazzler" and "Purity". Raw materials were harvested during the flowering period of the plant in the Botanical Garden of the Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute. As a result of the research, the adsorption capacity of the obtained water-soluble polysaccharides to lead ions was studied.

The chemical composition of *Cosmos bipinnatus* is not well understood. Phenolic compounds (the presence of chalcones, aurones, phenolic acids, flavonoids) and essential oils have been studied, while information about the carbohydrate composition has hardly been found, although often this group of compounds plays a significant role in pharmacological action. The physicochemical properties of polysaccharides are practically not studied. In this study, we established a rather high sorption capacity of water-soluble polysaccharides obtained from cosmetically doubly-circular two different grades "Dazzler" and "Purity" relative to plumbum (II) ions (90 and 92.5%, respectively). The concentration of lead ions was determined at different time intervals by complexometric titration. The process of complexation proceeds in the first order.

The analysis of the obtained data allows us to conclude that it is possible to use the VRPS obtained from the cosmetically doubly-circular "Purity" and "Dazzler" varieties to extract plumbum (II) ions, and as natural detoxicants.

Keywords: water-soluble polysaccharides, *Cosmos bipinnatus* Cav., Asteraceae family, natural adsorbent, grass, heavy metals, sorption, kinetic characteristics.

References

1. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: v 3 t. XIII izd. [The State Pharmacopoeia of the Russian Federation: in 3 volumes. XIII ed.]. Moscow, 2015. URL: <http://www.femb.ru/feml> (in Russ.).
2. Zhizn' rasteniy. [Plant life]. Moscow, 1980, vol. 5, 430 p. (in Russ.).
3. Buschhaus C., Peng C., Jetter R. *Phytochemistry*, 2013, vol. 91, pp. 249–256, DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.07.018.
4. Buschhaus C., Hager D., Jetter R. *Plant Physiol.*, 2015, vol. 167, pp. 80–88, DOI: 10.1104/pp.114.249235.
5. Edward F.G., Teressa H. *Cosmos bipinnatus*. Fact sheet FPS-148, institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1999, pp. 1–3.
6. Harborne J.B. *Phytochemistry*, 1966, vol. 5, pp. 111–115.
7. Jackson B.P., Snowdon D.W. *Atlas of microscopy of medicinal plants, culinary herbs and spices*, London: Belhaven Press, 1990, 257 p.
8. Saito K. *Z. Pflanzenphysiol.*, 1974, vol. 71, pp. 80–82.
9. Saito K. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1979, vol. 48 (2), pp. 317–325.
10. Bate-Smith E.C. *Phytochemistry*, 1980, vol. 9, p. 982.
11. Konarev A.V., Anisimova I.N., Gavrilovab V.A., Vachrushevab T.E., Konechnayac G.Yu., Lewisd M., Shewryd P.R. *Phytochemistry*, 2002, vol. 59, pp. 279–291, DOI: 10.1016/S0031-9422(01)00463-0.
12. Menut C., Bessiere J.M., Zollo P.H.A., Kuatie J.R. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2000, vol. 3 (2), pp. 65–69.
13. Olajuyigbe O., Ashafa A. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2014, vol. 13 (4), pp. 1417–1423.
14. Akihisa T., Yasukawa K., Oinuma H., Kasahara Y., Yamanouchi S., Takido M., Kumaki K., Tamur T. *Phytochemistry*, 1996, vol. 43 (6), pp. 1255–1260.
15. Jang I.C., Park J.H., Park E., Park H.R., Lee C.H. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2008, vol. 63 (4), pp. 205–210, DOI: 10.1007/s11130-008-0086-8.
16. Krishtanova N.A., Safonova M.Yu., Bolotova V.Ts. *Vestnik VGU*, 2005, no. 1, pp. 212–221. (in Russ.).
17. Kochetkov N.K., Bochkov A.F., Dmitriyev B.A., Usov A.I., Chizhov O.S., Shibayev V.N. *Khimiya uglevodov*. [Chemistry of carbohydrates]. Moscow, 1967, 672 p. (in Russ.).
18. Adzhiakhmetova S.L., Mykots L.P., Chervonnaya N.M., Kharchenko I.I., Tukhovskaya N.A., Oganessian E.T. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2017, no. 5, pp. 442–456, DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456. (in Russ.).
19. Vasil'yev V.L., Morozova R.L., Kochergina L.A. *Analiticheskaya khimiya: laboratornyy praktikum*. [Analytical chemistry: laboratory workshop]. Moscow, 2004, 456 p. (in Russ.).
20. Mykots L.P., Zhilina O.M., Sysoyeva T.N. *Uspekhi sovremen-noy nauki i obrazovaniya*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 161–164. (in Russ.).
21. Vasina T.M., Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Zyablintseva N.S., Belousova A.L., Kompantsev V.A. *Sibirskiy zhurnal*, 2012, no. 5, pp. 115–117. (in Russ.).
22. Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Bondar' S.N. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2010, no. 6, pp. 55–57. (in Russ.).
23. Bek M. *Khimiya ravnovesiy reaktsiy kompleksobrazovaniya*. [Chemistry of equilibrium reactions of complexation]. Moscow, 1973, 359 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. Kokotov Yu.A., Pasechnik V.A. *Ravnovesiye i kinetika ionnogo obmena*. [The equilibrium and kinetics of ion exchange]. Moscow, 1970, 336 p. (in Russ.).
25. Tsvetkov V.N., Eskin V.Ye., Frenkel' S.Ya. *Struktura makromolekul v rastvorakh*. [The structure of macromolecules in solutions]. Moscow, 1964, 718 p. (in Russ.).
26. Frolov Yu.G. *Kurs kolloidnoy khimii*. [Colloid chemistry course]. Moscow, 1982, 400 p. (in Russ.).
27. Mykots L.P., Nersesyan Z.M., Tribakova A.A. *Razrabotka, issledovaniye i marketing novoy farmatsevticheskoy produktsii*, 2015, no. 69, pp. 168–170. (in Russ.).
28. Manukyan K.A., Mykots L.P., Kompantseva Ye.V. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 1–9, pp. 2263–2265. (in Russ.).
29. Adzhiakhmetova S.L., Selina I.I., Ligay L.V., Mykots L.P., Oganessian E.T., Tukhovskaya N.A. *Nauchmye vedomosti BelGU. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2013, no. 22 (141), pp. 170–173. (in Russ.).
30. Mykots L.P., Romantsova N.A., Gushchina A.V. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2013, no. 3–1, pp. 197–200. (in Russ.).
31. Shchukin Ye.D., Pertsev A.V., Amalis A.Ye. *Kolloidnaya khimiya*. [Colloid chemistry]. Moscow, 2006, 444 p. (in Russ.).
32. Emmanuel' N.M., Knorre D.V. *Kurs khimicheskoy kinetiki*. [The course of chemical kinetics]. Moscow, 1974, 400 p. (in Russ.).
33. Nikitina V.S., Gaynanova L.T., Abdullin M.I., Bepalova A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 2, pp. 21–26. (in Russ.).
34. Selina I.I., Pelivanova S.L., Andreyeva O.A., Ligay L.V., Mykots L.P., Oganessian E.T. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2013, no. 10, pp. 20–25, DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456. (in Russ.).

Received November 10, 2018

Revised January 29, 2019

Accepted January 30, 2019

For citing: Kulichenko E.O., Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Ligay L.V., Andreeva O.A., Oganessian E.T. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 335–344. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019034595.