

Научная статья

УДК 547.458.88+544.723+546.81+613.6

DOI: 10.31857/S0869769824020168

EDN: lciway

Исследование адсорбционной способности некоторых пектинсодержащих продуктов питания и яблочного пектина по отношению к соединениям свинца с аминокислотами *in vitro*

И. Л. Тихонова[✉], Н. А. Белоконова, Г. М. Насыбуллина

Ирина Леонидовна Тихонова

кандидат химических наук

Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

koritca14@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-9287-2451>

Надежда Анатольевна Белоконова

доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент

Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

89221503087@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0198-3016>

Галия Максумовна Насыбуллина

доктор медицинских наук, профессор

Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

gdp43@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7513-5741>

Аннотация. Свинец является одним из самых распространенных и опасных токсикантов для организма человека. Комплексообразующая способность ионов свинца со многими незаменимыми и заменимыми аминокислотами вызывает дисбаланс аминокислотного фонда организма человека и животных. Установлено, что наиболее эффективными сорбентами и веществами, связывающими ионы свинца, являются пектины. Вместе с тем остается актуальной задача по поиску наиболее эффективных комплексов биологически активных веществ, обеспечивающих повышение резистентности организма в условиях воздействия свинца и его соединений. В данном исследовании в качестве источника пектинсодержащих веществ выбрали продукты питания с известным и достаточно высоким процентом содержания пектиновых веществ: морковь и белокачанную капусту, а также яблочный пектин (БАД). Поскольку мясо рыбы является наиболее распространенным источником попадания свинца в организм человека, выбрали аминокислоты для исследования, исходя из известного аминокислотного состава рыб. Проведенное исследование подтвердило более ранние данные о способности пектиновых веществ адсорбировать свинец. Было показано, что процесс адсорбции ионов свинца в присутствии аминокислот происходит более активно на цельном продукте, причем про-

шедшем термическую обработку, нежели на яблочном пектине в виде БАДа. Установлено, что адсорбционная способность моркови и капусты значительно выше по сравнению с яблочным пектином, что связано с адсорбцией клетчатки, входящей в состав овощей. Данные результаты свидетельствуют о перспективности разработки или корректировки направленных рационов питания для населения, проживающего на экологически неблагоприятных территориях, или работающих во вредных условиях труда.

Ключевые слова: адсорбция, пектины, свинец, аминокислоты, комплексные соединения, детоксиканты, лечебно-профилактическое питание

Для цитирования: Тихонова И.Л., Белоконова Н.А., Насыбуллина Г.М. Исследование адсорбционной способности некоторых пектинсодержащих продуктов питания и яблочного пектина по отношению к соединениям свинца с аминокислотами *in vitro* // Вестн. ДВО РАН. 2024. № 2. С. 187–198. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824020168>, EDN: lciway

Original article

Investigation of the adsorption capacity of some pectin-containing foods and apple pectin in relation to lead compounds with amino acids *in vitro*

I. L. Tikhonova, N. A. Belokonova, G. M. Nasybullina

Irina L. Tikhonova

Candidate of Sciences in Chemistry

Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

koritca14@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-9287-2451>

Nadezhda A. Belokonova

Doctor of Sciences in Technique, Candidate of Sciences in Chemistry, Associate Professor

Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

89221503087@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0198-3016>

Galiya M. Nasybullina

Doctor of Sciences in Medicine, Professor

Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

gdp43@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7513-5741>

Abstract. Lead is one of the most common and dangerous toxicants for the human body. It was revealed that the lead content in some cases exceeds the hygienic standards established for food products. The complexing ability of lead ions with many essential and non-essential amino acids has been established, which causes an imbalance in the amino acid pool of the human and animal body. It has been established that the most effective sorbents and substances that bind lead ions are pectins. At the same time, the task of finding the most effective complexes of biologically active substances that increase the body's resistance under conditions of exposure to lead and its compounds remains urgent. In this study, food products with a known and fairly high percentage of pectin substances were chosen as a source of pectin-containing substances: carrots and white cabbage, as well as apple pectin (dietary supplement). Since fish meat is one of the most common sources of lead entering the human body, amino acids for the study were selected based on the known amino acid composition of fish. The study confirmed previously known data on the

ability of pectin substances to adsorb lead. At the same time, it was shown that the process of adsorption of lead ions in the presence of amino acids occurs more actively on the whole product, which has undergone heat treatment, than on apple pectin in the form of a dietary supplement. It was found that the adsorption capacity of carrots and cabbage is significantly higher compared to apple pectin, which is associated with adsorption by fiber, which is part of the vegetables. These results indicate the prospects of developing or adjusting targeted diets for the population living in environmentally unfavorable areas or working in hazardous working conditions.

Keywords: adsorption, pectins, lead, amino acids, complex compounds, detoxicants, therapeutic and preventive nutrition

For citation: Tikhonova I. L., Belokonova N. A., Nasybullina G. M. Investigation of the adsorption capacity of some pectin-containing foods and apple pectin in relation to lead compounds with amino acids *in vitro*. *Vestnik of the FEB RAS*. 2024;(2):187–198. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824020168>, EDN: lcway

Введение

Свинец является одним из самых распространенных и опасных токсикантов для организма человека и поражает кроветворную, нервную, пищеварительную, репродуктивную и другие системы. Такое воздействие обусловлено его способностью приводить организм к окислительному стрессу, образовывать комплексы с лигандами, содержащими сульфгидрильные и карбоксильные группы, снижать активность ферментов. Ионы свинца конкурентно ингибируют ионы кальция, магния, железа и др. [1, 2]. Установлена комплексообразующая способность ионов свинца со многими незаменимыми и заменимыми аминокислотами [3–5], что вызывает дисбаланс аминокислотного фонда организма человека и животных [5].

Известны и пути попадания свинца в организм человека: в ходе профессиональной деятельности – преимущественно ингаляционным путем, поскольку свинец применяется во многих отраслях промышленного производства и добычи [2]; большая часть попадает вместе с продуктами питания и водой [2, 6, 7]; в небольшом количестве – через кожные покровы при непосредственном контакте с соединениями металла [8].

Среднее содержание свинца в продуктах питания 0,2 мг/кг, по отдельным группам, мг/кг (в скобках – среднее содержание): фрукты – 0,01–0,60 (0,10); овощи – 0,02–1,60 (0,19); крупы – 0,03–3,00 (0,21); хлебобулочные изделия – 0,03–0,82 (0,16); мясо и рыба – 0,01–0,78 (0,16); молоко – 0,01–0,10 (0,027); в питьевой воде отмечается от 0,05 до 0,2 мг/л [6, 7].

Экспериментально доказаны факты аккумуляции свинца растениями, произрастающими на загрязненных почвах. Концентрация свинца в таких растениях может превышать допустимые значения от 2 до 100 раз¹. Достаточно подробно исследованы особенности накопления свинца в органах и тканях рыб различных семейств в зависимости от антропогенного воздействия. Выявлено, что содержание свинца в ряде случаев превышает гигиенические нормативы, установленные для пищевых продуктов. Накопление свинца происходит в разных органах рыб, в том числе костях и мышцах [9–13]. В регионах размещения предприятий цветной металлургии свинец относится к приоритетным загрязнителям воздуха, питьевой воды и продуктов питания местного производства [14, 15].

В связи с актуальностью проблемы имеется большое количество публикаций, направленных на исследование адсорбционных свойств различных веществ по отношению

¹ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Свердловской области в 2021 году» / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Свердловской области. 2022. (<http://www.66.rospotrebnadzor.ru>).

к ионам свинца. Установлено, что наиболее эффективными сорбентами и веществами, связывающими ионы свинца, являются пектины [1, 16–19].

Пектины (пектиновые вещества, ПВ) – это группа высокомолекулярных полисахаридов, входящих в состав клеточных стенок и межклеточных образований растений наряду с целлюлозой (клетчаткой), гемицеллюлозой, лигнином. Пектиновые вещества встречаются во всех частях растений: в корнях, стеблях, соцветиях, листьях и главным образом в плодах и овощах.

В работах [20–22] было доказано, что пектины обладают более высокой адсорбирующей способностью, чем целлюлоза (клетчатка), и способны к выведению из организма токсичных веществ, радионуклидов, тяжелых металлов. Пектаты металлов, образуемые при взаимодействии полисахаридов с солями тяжелых металлов, являются нерастворимыми соединениями. Они не способны к адсорбции в кишечнике и поэтому покидают его вместе с токсическими ионами [19].

Экспериментальным образом определено содержание пектиновых веществ в таких овощах и фруктах: морковь – 0,6–1,6 г/100 г, капуста – 0,3–0,6 г/100 г, яблоко – 1,0 г/100 г [23, 24]. Поскольку в яблоках содержание пектиновых веществ наиболее высокое, их чаще используют в качестве сырья для изготовления пектинсодержащих БАДов.

Практический интерес представляют естественные продукты питания, источники ПВ, которые целесообразно использовать для снижения экологического или профессионального риска как в виде биологически активных добавок к пище, так и за счет оптимизации рационов питания [25–27].

В медицине труда лицам, работающим в условиях воздействия свинца и его соединений, назначают рацион лечебно-профилактического питания, включающий 2 г пектина в составе обогащенных им продуктов питания или соков с мякотью, и блюда из овощей, не подвергнутых термической обработке². С целью повышения устойчивости отдельных категорий граждан, проживающих на территориях, загрязненных свинцом, обосновано включение биопротифилактических комплексов, содержащих пектин [28]. Вместе с тем остается актуальной задача по поиску наиболее эффективных комплексов биологически активных веществ, обеспечивающих повышение резистентности организма в условиях воздействия свинца и его соединений. Возможно, что специально созданные рационы питания будут более эффективными по сравнению с готовыми лекарственными формами биологически активных веществ. При этом значение имеет не только отбор продуктов, содержащих наиболее высокие концентрации биологически активных веществ, но и способы их технологической переработки. Все это является перспективным направлением междисциплинарных исследований.

Цель данного исследования – оценить адсорбционную способность моркови и капусты белокочанной по отношению к соединениям свинца с аминокислотами и сопоставить с адсорбционной активностью яблочного пектина.

² Приказ Минздравсоцразвития России № 45н от 16 февраля 2009 г. «Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов, Порядка осуществления компенсационной выплаты в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, и Перечня вредных производственных факторов, при воздействии которых в профилактических целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов». (<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=155863>); Приказ Минздравсоцразвития России № 46н от 16 февраля 2009 г. «Об утверждении Перечня производств, профессий и должностей, работа в которых дает право на бесплатное получение лечебно-профилактического питания в связи с особо вредными условиями труда, рационов лечебно-профилактического питания, норм бесплатной выдачи витаминных препаратов и Правил бесплатной выдачи лечебно-профилактического питания» (<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=332418>).

Материалы и методы

Для приготовления растворов ацетата свинца с концентрациями 0,00125, 0,0025, 0,005 моль/л был взят свинец уксуснокислый 99,50% квалификации «ч. д. а.» $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ («НеваРеактив»). Для приготовления растворов аминокислот использовались аргинин, глицин, глутамин, глутаминовая кислота, фенилаланин квалификации «ч.д.а» и «ч» («ЛенРеактив»).

Объектами эксперимента были морковь сорта Нантская 4, белокочанная капуста сорта Слава, яблочный пектин без добавок (БАД «Яблочный пектин», компания «Оргтиум», Москва).

Адсорбцию проводили на сырых и термически обработанных овощах. Овощи предварительно мыли, измельчали при помощи овощерезки на мелкие кусочки. Термическая обработка проводилась в небольшом количестве дистиллированной воды при температуре 100 °С в течение 20 мин.

Условия проведения адсорбции: к растворам ацетата свинца указанных концентраций, взятых в соотношении 1:1 с разными аминокислотами (АК) (объем аликвоты 20 мл), добавляли 5 г измельченного овоща и определяли содержание катиона металла по истечении 20, 40, 60 мин. Аналогичным образом, к 0,5 г яблочного пектина (БАД) добавляли растворы ацетата свинца указанных концентраций с разными АК.

Для определения концентрации ионов свинца до и после адсорбции использовали трилометрический метод с индикатором (ксиленоловый оранжевый) в среде ацетатного буфера (рН = 5,5). Растворы Трилона Б готовили из фиксанала с концентрацией $C^0 = 0,1$ н («ЛенРеактив»).

По полученным экспериментальным данным рассчитали адсорбцию ионов свинца, выраженную в мг/г, по формуле:

$$Г = [(C_1 - C_2) \times V_a \times A(\text{Pb}) \times 1000] / m,$$

где C_1 – молярная концентрация ионов свинца до адсорбции, моль/л; C_2 – молярная концентрация ионов свинца после адсорбции, моль/л; V_a – объем аликвоты; $A(\text{Pb})$ – атомная масса свинца, г/моль; m – масса адсорбента, г.

Для оценки адсорбционной способности использовали показатель – степень извлечения ионов, в% (степень адсорбции). Расчет проводили по формуле:

$$\omega = [(C_1 - C_2) / C_1] \times 100,$$

где C_1 – молярная концентрация ионов свинца до адсорбции, моль/л; C_2 – молярная концентрация ионов свинца после адсорбции, моль/л.

Полученные результаты были обработаны статистически в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В публикациях исследована адсорбционная способность пектиновых веществ, выделенных из разных растений по отношению к ионам свинца из растворов с достаточно высокой концентрацией – 0,035 моль/л (7,25 г/л) [19]. Нами были исследованы водные растворы ацетата свинца с достаточно низкими концентрациями, соизмеримыми с риском поступления ионов свинца на химических производствах. Молярное соотношение свинца с аминокислотами составляло 1:1, так как имеются данные, что в растворах с молярными соотношениями 1:1 и 1:2 образуются комплексные соединения свинца с АК [29].

Поскольку мясо рыбы является наиболее распространенным источником попадания свинца в организм человека [9–13], выбирали АК для исследования, исходя из известного аминокислотного состава рыб [30]:

- нейтральные (глицин, фенилаланин, глутамин),
- кислые (глутаминовая кислота),
- основные (аргинин).

Авторами [31] была определена устойчивость комплексных соединений АК с ионами Pb(II), Hg(II) и Cd(II) и доказано, что наиболее устойчивые комплексные соединения образуют АК с ионами Pb(II) за счет координации через атомы азота аминогруппы и кислорода карбоксильных групп с образованием 2 пятичленных циклов.

В качестве источника пектинсодержащих веществ выбрали такие продукты питания, для которых известен процент содержания данных веществ: морковь и белокочанную капусту, где этот процент достаточно высок (1,62% – в моркови, 0,56% – в капусте белокочанной) [23, 24].

Яблочный пектин (БАД) – коммерческий пектин содержит пектиновые вещества с молекулярной массой около 85 000 г/моль [22]. Имеются данные о том, что пектины с разной молекулярной массой характеризуются способностью быстро и эффективно связывать ионы свинца, причем свинецсвязывающая активность возрастает прямо пропорционально снижению молекулярной массы пектина. При термической обработке вследствие гидролиза уменьшается молекулярная масса пектиновых веществ [22].

На рис. 1 представлены данные по адсорбции ионов свинца на термически обработанной моркови из растворов, содержащих ионы свинца исследуемых концентраций отдельно и совместно с фенилаланином в соотношении 1:1. Степень адсорбции наибольшая в растворах с минимальным содержанием ионов свинца совместно с фенилаланином.

Из данных, представленных на рис. 2, следует, что степень адсорбции ионов свинца целесообразно оценивать через 60 мин.

Экспериментальные данные по адсорбции ионов свинца сырыми и термически обработанными овощами из растворов, содержащих различные АК, приведены на рис. 3.

Из представленных данных видно, что достаточно высокую адсорбционную способность имеет морковь в сыром и вареном виде, что может быть обусловлено повышенным содержанием пектиновых веществ в ней в сравнении с капустой. Это согласуется и с данными авторов [24]. Адсорбционная способность термически обработанных овощей была выше для всех АК и растворов ионов свинца. При термической обработке

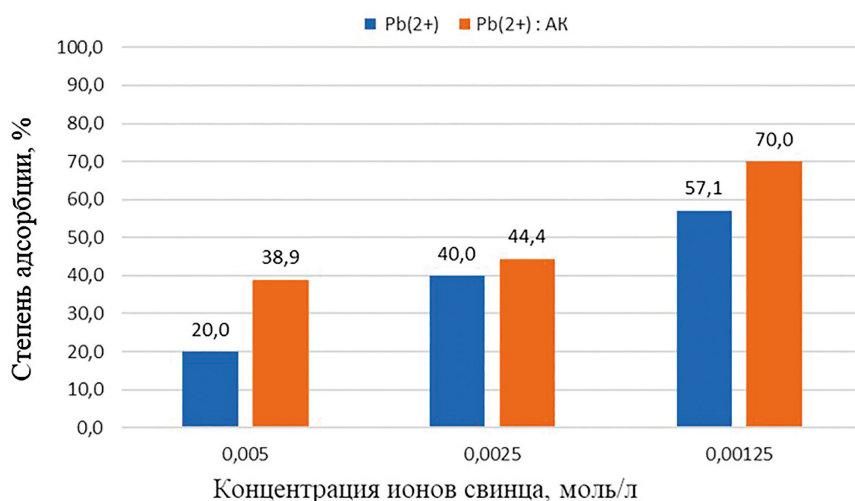


Рис. 1. Степень адсорбции ионов свинца (в %) на моркови отварной из растворов, содержащих ионы свинца различных концентраций отдельно и совместно с фенилаланином, через 60 мин

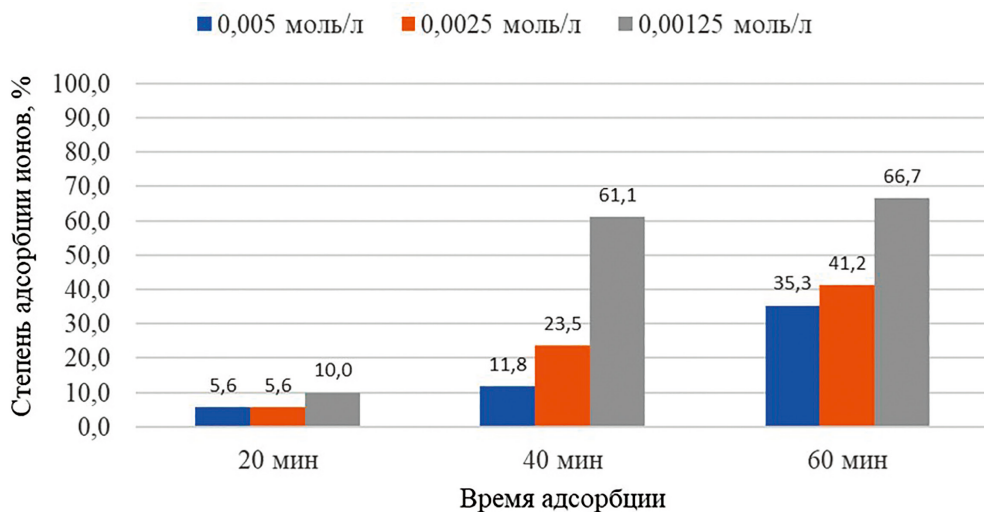


Рис. 2. Степень адсорбции ионов свинца (в %) из растворов, содержащих фенилаланин, в зависимости от концентрации свинца в растворе и времени адсорбции на моркови отварной

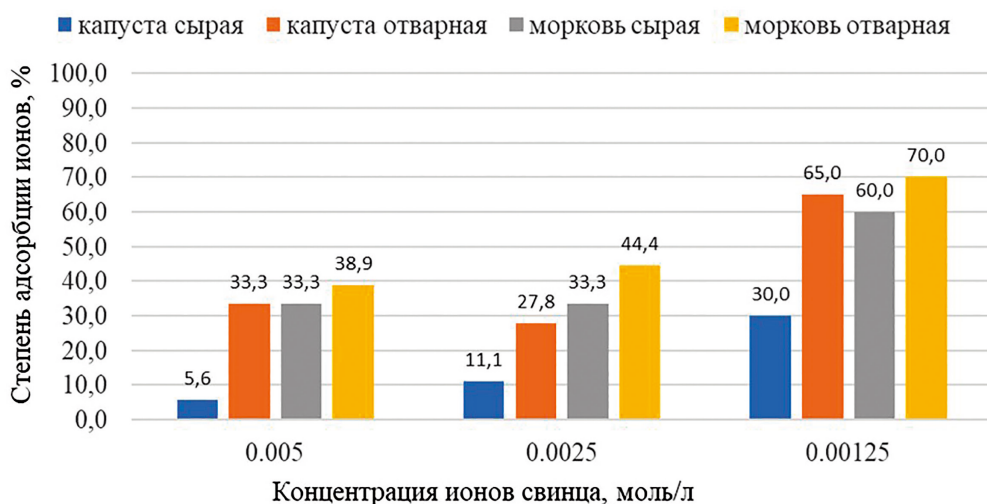


Рис. 3. Степень адсорбции ионов свинца (в %) из растворов, содержащих различные концентрации ионов свинца и фенилаланин, на сырых и термически обработанных овощах через 60 мин

происходит размягчение овощей, высвобождаются растворимые в воде пектиновые вещества и другие полисахариды, способные больше адсорбировать, чем связанные.

Следует отметить, что с уменьшением концентрации ионов свинца увеличивалась степень извлечения ионов из растворов, содержащих фенилаланин. Аналогичные тенденции наблюдаются и в растворах других АК.

Адсорбционная способность овощей по отношению к ионам свинца зависит от строения АК и значения pH ее водного раствора (рис. 4). Минимальная степень адсорбции свинца наблюдается при содержании в растворе глутаминовой аминокислоты (кислая АК).

Полученные данные согласуются с данными авторов [22]: сорбционная активность исследованных пектиновых веществ при понижении pH среды уменьшалась. Для раство-

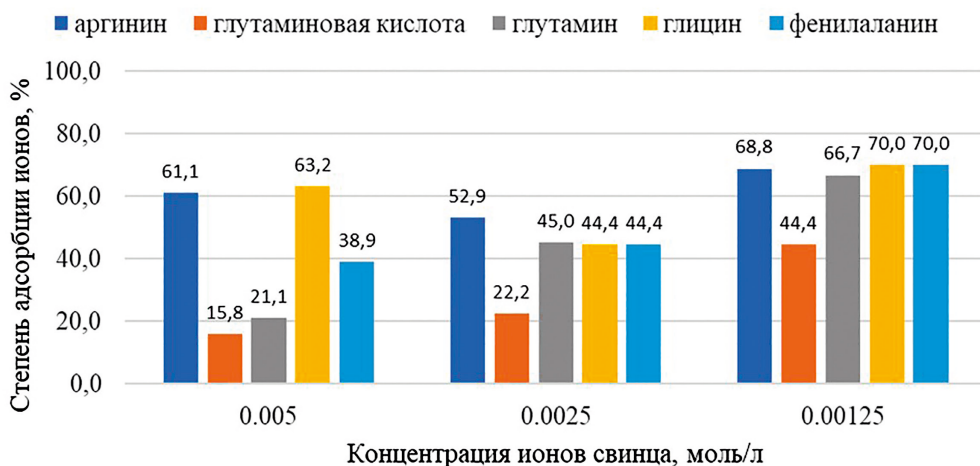


Рис. 4. Степень адсорбции ионов свинца (в %) через 60 мин на вареной моркови в зависимости от содержания различных АК в растворе

ра, содержащего ионы свинца и глутаминовую кислоту ($C = 0,005$ моль/л), при значении $pH = 4,21$ степень адсорбции составила 15,8%, для растворов аналогичной концентрации в присутствии фенилаланина ($pH = 5,47$) – 38,9% и аргинина ($pH = 8,22$) – 61,1% (по экспериментальным данным, представленным в работе [32]). Экспериментальные результаты можно объяснить следующим образом. В кислой среде, с очень низкой концентрацией OH^- -групп, формируются растворимые комплексные соединения АК с ионами свинца, которые характеризуются лиофильным взаимодействием с растворителем (водой). Поэтому закономерно, что при снижении pH адсорбционная способность пектиновых веществ снижается. При увеличении pH ($pH = 3$ и выше) концентрация OH^- -групп увеличивается и возникает возможность образования полилигандных соединений, включающих в себя OH^- -группы. При этом лиофильные свойства снижаются, а адсорбционная способность увеличивается, что подтверждается нашими данными: в присутствии аргинина при $pH = 8,22$ адсорбционная способность максимальна. Более того, именно присутствие в структуре аргинина дополнительных атомов азота – сильных электрондонорных атомов – увеличивает вероятность образования более устойчивых комплексных соединений его с ионами свинца.

Ниже приведены значения адсорбции ионов свинца из растворов, содержащих малую концентрацию металла и аминокислот, пектинсодержащими овощами и яблочным пектином (табл. 1, 2).

В моркови или яблоке содержится около 1% пектина [23, 24], следовательно, при прочих равных условиях адсорбция на яблочном пектине (БАД) составит 0,21–0,62 мг/г, в то время как на моркови и капусте – 1,04–1,81 и 0,84–1,55 мг/г соответственно. Можно предположить, что процесс адсорбции овощами включает адсорбцию и на пектине, и на клетчатке и является более эффективным, чем на яблочном пектине – БАДе.

Если принять среднее содержание свинца в рыбе 0,16 мг/кг, то для приготовления 1 кг целесообразно включить в блюдо 10–100 г моркови или капусты.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило известные ранее данные о способности ПВ адсорбировать свинец. При этом показано, что процесс адсорбции происходит более активно на цельном продукте, причем прошедшем термическую обработку, чем на пектине в виде БАД, а также в присутствии аминокислот. Данные результаты свидетельствуют о перспективности разработки корректировок рационов питания населения, проживающего на экологически неблагоприятных территориях

Адсорбция ионов свинца из растворов с АК на вареной капусте, мг/г

| Концентрация ионов свинца, моль/л | Аргинин | Глутаминовая кислота | Глутамин | Глицин | Фенилаланин |
|-----------------------------------|---------|----------------------|----------|--------|-------------|
| 0,005 | 2,33 | 1,81 | 1,55 | 2,59 | 1,55 |
| 0,0025 | 0,91 | 0,78 | 1,04 | 1,04 | 0,65 |
| 0,00125 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,84 |

Таблица 2

Адсорбция ионов свинца из растворов, содержащих фенилаланин, мг/г

| Концентрация ионов свинца, моль/л | Морковь отварная | Капуста отварная | Яблочный пектин |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 0,005 | 1,81 | 1,55 | 62,16 |
| 0,0025 | 1,04 | 0,65 | 34,19 |
| 0,00125 | 1,04 | 0,84 | 21,76 |

или работающих во вредных условиях труда. Результаты данного исследования свидетельствуют о важности предварительных исследований *in vitro* для подбора наиболее эффективных компонентов рационов до проведения экспериментальных исследований на животных и пациентах.

Выводы

Степень адсорбции ионов свинца в растворах, содержащих овощи (морковь и капусту), увеличивается со временем экспозиции и в присутствии аминокислот, особенно аргинина и глицина. Наиболее эффективно удаляются ионы свинца на термически обработанных овощах.

Адсорбционная способность моркови в отношении ионов свинца выше по сравнению с капустой, что обусловлено повышенным содержанием пектиновых веществ [23, 24]. Адсорбционная способность моркови и капусты значительно выше по сравнению с яблочным пектином, связано это с адсорбционной способностью клетчатки, входящей в состав овощей помимо пектиновых веществ.

Полученные данные могут быть использованы для снижения экологического риска от возможного присутствия соединения свинца в продуктах питания и для организации питания с использованием овощей в качестве гарниров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Корбанова А.И., Сорокина Н.С., Молодкина Н.Н. и др. Свинец и его действие на организм // Медицина труда и промышленная экология. 2001. № 5. С. 29–34.
2. Новикова М.А., Пушкарев Б.Г., Судаков Н.П. и др. Влияние хронической свинцовой интоксикации на организм человека. Сообщ.1 // Сиб. мед. журн. 2013. № 2. С. 13–16.
3. Neil Burford, Melanie D. Iلمان, Wesley G. Leblanc, T. Stanley Cameron, Catherine N. Robertson. Definitive identification of lead(ii)-amino acid adducts and the solid state structure of a lead-valine complex // Chem. Commun. (Camb). 2004. Iss. 3. P. 332–333. DOI: 10.1039/b311599b.
4. Новикова Г.В. Синтез и физико-химические характеристики комплексов 6s²- и ndm-ионов металлов с аминокислотами: дис. ... канд. хим. наук. 02.00.01 / науч. рук. Н.Н. Головнев; СибГТУ. Красноярск. 2006. 133 с.
5. Шейбак В.М., Лях И.В., Дорошенко Е.М. Нейроактивные аминокислоты в среднем мозге крысят при хронической интоксикации динилом и свинцом // Журн. Гроднен. гос. мед. ун-та. 2012. № 3. С. 40–42.
6. Морозова С.П. Поступление ртути и мышьяка с рационами питания в организм взрослых и детей // Гигиена и санитария. 1991. № 7. С. 38–41.

7. Дударев А.А., Душкина Е.В., Сладкова Ю.Н. и др. Оценка рисков здоровью населения при экспозиции к металлам, содержащимся в местных продуктах питания и питьевой воде в Печенегском районе Мурманской области // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 11. С. 25–33. ISSN1026–9428.
8. Кашуба Н.А. Особенности транскутанного проникновения свинца в организм человека // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 1. С. 55–59. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-1-55-59>.
9. Сульдина Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. № 1. С. 136–140. URL: <https://journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=35727> (дата обращения: 13.04.2024).
10. Галатова Е.А. Особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных семейств // Известия ТСХА. 2009. Вып. 3. С. 157–168.
11. Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А. Особенности миграции свинца в экосистеме Каспийского моря // Уч. зап. Крым. федерал. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7 (73), № 4. С. 3–22.
12. Попов П.А., Андросова Н.В., Попов В.А. Содержание тяжелых металлов в стерляди Средней Оби // Вестн. СВФУ. 2021. № 3 (83). С. 15–24. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2021.83.3.011>.
13. Лопарёва Т.Я., Шарипова О.А., Петрушенко Л.В. Уровень накопления токсикантов в мышечной ткани рыб в водных бассейнах Республики Казахстан // Вестн. АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2016. № 2. С. 115–122. ISSN 2073-5529.
14. Боев В.М., Кряжева Е.А., Бегун Д.Н., Борщук Е.Л., Кряжев Д.А. Гигиеническая оценка риска здоровью населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов // Анализ риска здоровью в гигиене. 2019. № 2. С. 35–43. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04.
15. Кузьмина Е.А., Малых О.Л., Солобоева Ю.И. и др. Адресные системы медико-профилактической помощи группам риска среди наиболее чувствительных категорий населения, проживающего в зонах влияния промышленных предприятий // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 12. С. 1140–1146. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1140-1146>.
16. Михеева Л.А., Февралева М.А., Брынских Г.Т., Тры А.В. Изучение комплексообразующей способности пектина по отношению к меди и свинцу // Ульяновский мед.-биол. журн. 2017. № 2. С. 111–115. DOI: 10.23648/UMBJ.2017.26.6225.
17. 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. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8255> (дата обращения: 13.04.2024).
18. 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.
19. Бжихатлова М.А., Мыкоц Л.П., Туховская Н.А., Андреева О.А. Исследование сорбционной способности природных сорбентов, выделенных из кампсиса укореняющегося // Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 71–78. DOI: 10.14258/jcrpm.2021016618.
20. Борисенков М.Ф., Головаченко В.В., Витязев Ф.В. Адсорбция эстрогенов *in vitro* на фракциях пектиновых веществ перца сладкого и капусты белокочанной // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 53–58.
21. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Рудакова И.П., Коротков И.В. Исследование полисахаридов побегов малины обыкновенной и их сорбционной активности // Человек и его здоровье. 2022. Т. 25, № 3. С. 72–80. DOI: 10.21626/vestnik/2022–3/08.
22. Макарова К.Е., Хожаенко Е.В., Хотимченко Р.Ю., Ковалев В.В. Сравнительная свинецсвязывающая активность пектинов с различной молекулярной массой *in vitro* // Тихоокеан. мед. журн. 2013. № 2. С. 85–88.
23. Мачнева И.В., Бондаренко А.И. Оценка содержания уровня пектина в некоторых овощах и фруктах // Междунар. студ. науч. вестн. 2016. № 2. С. 212–218. ISSN 2409-529X. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=15149> (дата обращения: 13.04.2024).
24. Лимарева Н.С., Донченко Л.В., Оробинская В.Н. Функциональные пектиносодержащие напитки на основе капустного сока // Политематический сетевой электрон. науч. журн. Кубан. гос. аграр. ун-та. 2017. № 134. С. 1018–1030. DOI: 10.21515/1990-4665-134-083.
25. Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Белявский А.Р. Организация, перспективы развития и научно-методические подходы к управлению профессиональными рисками в системе «Медицина труда» в Свердловской области // Урал. мед. журн. 2011. Т. 87, № 9. С. 5–8.
26. Мажаева Т.В., Лаврентьев А.Н., Малых О.Л., Корнилов А.С. Методические подходы к оценке питания различных групп населения в системе социально-гигиенического мониторинга Свердловской области // Урал. мед. журн. 2012. Т. 102, № 10. С. 32–34.
27. Мажаева Т.В. Влияние питания на уровень физического развития дошкольников в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды // Урал. мед. журн. 2011. Т. 80, № 2. С. 53–56.
28. Качнельсон Б.А., Привалова Л.И., Гурвич В.Б. и др. О роли биофилактики в системе мер управления профессиональными и экологически обусловленными химическими рисками для здоровья населения // Токсикол. вестник. 2015. № 1 (130). С. 10–21. ISSN0869–7922.

29. Пешков С. А., Щепин А. С., Хурсан С. Л., Кобзев Г. И. Относительная устойчивость комплексов тяжелых металлов (Zn, Cd, Co, Pb) с аланином // Вестн. Башкир. ун-та. Химия. 2016. Т. 21, № 2. С. 291–297.
30. Дроздова Л. И., Пивненко Т. Н., Караулова Е. П., Ярочкин А. П. Биохимическая характеристика мышечной ткани глубоководных рыб как источника свободных аминокислот и биогенных пептидов // Известия ТИПРО. Технология обработки гидробионтов. 2007. Т. 150. С. 383–390.
31. Костенко Е. Е., Бутенко Е. Н. Изучение комплексообразования Pb (II), Cd (II), Hg (II) с аминокислотами для прогнозирования протекторных свойств пищевых продуктов // Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2012. № 44. С. 85–91.
32. Новосельцева Е. Е., Тихонова И. Л., Белоконова Н. А., Попова О. С. Адсорбционная способность некоторых продуктов питания и сорбентов по отношению к соединениям свинца // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов (Екатеринбург, 19–20 апреля 2023 г.). Екатеринбург: УГМУ, 2023. С. 765–771. URL: https://elib.usma.ru/bitstream/usma/13566/1/USMU_Sbornik_statei_2023_149.pdf (дата обращения: 13.04.2024).

REFERENCES

1. Korbanova A.I., Sorokina N.S., Molodkina N.N. et al. Svinets i ego deistvie na organism = [Lead and its effect on the body]. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2001;(5):29–34. (In Russ.)
2. Novikova M.A., Pushkarev B.G., Sudakov N.P., Nikiforov S.B., Gol'dberg O.A., Vaverbaum P.M. The effect of persistent lead intoxication on human organism. *Sibirskii Meditsinskii Zhurnal*. 2013;(2):13–16. (In Russ.)
3. Neil Burford, Melanie D. Iلمان, Wesley G. Leblanc, T. Stanley Cameron, Catherine N. Robertson. Definitive identification of lead(ii)-amino acid adducts and the solid state structure of a lead–valine complex. *Chem. Commun. (Camb)*. 2004;(3):332–333. DOI: 10.1039/b311599b.
4. Novikova G.V. Sintez i fiziko-khimicheskie kharakteristiki kompleksov 6s2- i ndm-ionov metallov s aminokislotami = [Synthesis and physicochemical characteristics of complexes of 6s2- and ndm-metal ions with amino acids]. Dis. for the degree of Cand. Chem. Sci. 02.00.01. Krasnoyarsk; 2006. 133 p. (In Russ.)
5. Sheibak V.M., Lyakh I.V., Doroshenko E.M. Neuroactive aminoacids in the midbrain of infantrats in chronic intoxication with dinil and lead. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2012;(3):40–42 (In Russ.)
6. Morozova S.P. Postuplenie rtuti i mysh'yaka s ratsionami pitaniya v organizm vzroslykh i detei. = [Dietary intake of mercury and arsenic into the body of adults and children]. *Gigiena i sanitariya*. 1991;(7):38–41. (In Russ.)
7. Dudarev A.A., Dushkina E.V., Sladkova Yu.N., Chupahin V.S., Lukichova L.A. Evaluating health risk caused by exposure to metals in local foods and drinkable water in Pechenega district of Murmansk region. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2015;(11):25–33. (In Russ.)
8. Kashuba N.A. Features of transcutaneous penetration of lead into the human body. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(1):55–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-1-55-59>.
9. Suldina T.I. The content of heavy metals in food and their effects on the body. *Balanced Diet, Nutritional Supplements and Biostimulants*. 2016;(1):136–140. (In Russ.). URL: <https://journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=35727> (дата обращения: 13.04.2024).
10. Galatova E.A. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh ryb razlichnykh semeistv = [Features of the accumulation of heavy metals in the organs and tissues of fish of various families]. *Izvestiya TSKhA*. 2009;(3):157–168. (In Russ.)
11. Ershova T.S., Zaitsev V.F., Chaplygin V.A. Features of lead migration in the ecosystem of the Caspian sea. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University: Biology. Chemistry*. 2021;7(4):3–22. (In Russ.)
12. Popov P.A., Androsova N.V., Popov V.A. Metals content in the organs of the Starlet of the Acipenser ruthenus of the Middle Ob river. *Vestnik of the North-Esatern Federal University*. 2021;3(83):15–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.25587/SVFU.2021.83.3.011>.
13. Lopareva T. Ya., Sharipova O. A., Petrushenko L. V. Level of accumulation of toxicants in fish muscle tissue in water basins in the Republic of Kazakhstan. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fish Farming*. 2016;(2):115–122. (In Russ.)
14. Boev V.M., Kryazheva E.A., Begun D.N., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A. Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals. *Health Risk Analysis*. 2019;(2):35–43. (In Russ.). DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04.
15. Kuzmina E.A., Malykh O.L., Soloboyeva Yu.I., Kochergin Yu.V., Plotnikova I.A., Kadnikova E.P. Targeted systems of medical prevention aid in high-risk groups of most vulnerable categories of the population residing in industry-affected areas. *Hygiene and Sanitation (Russian journal)*. 2017;96(12):1140–1146. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1140-1146>.
16. Mikheeva L.A., Fevraleva M.A., Brynskikh G.T., Try A.V. Study of complexing ability of pectin with respect to copper and lead. *Ulyanovsk Medical and Biological Journal*. 2017;(2):111–115. (In Russ.). DOI: 10.23648/UMBJ.2017.26.6225.

17. Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Bondar S.N. Determination of kinetics of metal cation sorption with pectin from citrus. *Advances of Modern Natural Science*. 2010;(6):55–57. (In Russ.). URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8255> (дата обращения: 13.04.2024).
18. Mykots L.P., Romantsova N.A., Gushchina A.V. Research of the pectin isolated from fresh fruits of cranberry high for sorption ability in relation to ion of lead. *Fundamental Research*. 2013;(3–1):197–200. (In Russ.).
19. Bzhikhatlova M.A., Mykots L.P., Tukhovskaya N.A., Andreyeva O.A. Study of the sorption capacity of natural sorbents isolated from Kampsis rooting. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2021;(1):71–78. (In Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021016618.
20. Borisenkov M.F., Golovchenko V.V., Vityazev F.V. Adsorbtsiya estrogenov *in vitro* na fraktsiyakh pektinovykh veshchestv pertsy sladkogo i kapusty belokochannoi = [Adsorption of estrogens *in vitro* on fractions of pectin substances of sweet pepper and white cabbage]. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2011;(3):53–58. (In Russ.).
21. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Rudakova I.P., Korotkov I.V. Study of polysaccharides of common raspberry shoots and their sorption activity. *Humans and Their Health*. 2022;25(3):72–80. (In Russ.). DOI: 10.21626/vestnik/2022–3/08.
22. Makarova K.E., Khozhaenko E.V., Khotimchenko R. Yu., Kovalev V.V. Comparative lead-binding activity of pectins with different molecular mass *in vitro*. *Pacific Medical Journal*. 2013;(2): 85–88. (In Russ.).
23. Machneva I.V., Bondarenko A.I. Evaluation of the content of pectin in some fruits and vegetables. *Modern Problems of Science and Education*. 2016;(2):212–218. (In Russ.). ISSN2686–9101. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=15149> (дата обращения: 13.04.2024).
24. Limareva N.S., Donchenko L.V., Orobinskaya V.N. Functional beverages containing pectin on based on cabbage juice. *Scientific Journal of KubSAU*. 2017;(134):1018–1030. (In Russ.). ISSN 1990-4665.
25. Kuzmin S.V., Gurvich V.B., Beliaevskii A.P. Organization, perspectives of development, and scientific-methodological approaches to the occupational health risk management within the system “Occupational medicine” in the Sverdlovsk oblast, Russia. *Ural'skij Medicinskij Zhurnal*. 2011;87(9):5–8. (In Russ.).
26. Mazhayeva T.V., Lavrentyev A.N., Malykh O.L., Kornilkov A.S. Methodical approaches to assessing nutrition of various population groups in the system of socio-hygienic monitoring of the Sverdlovsk region. *Ural'skij Medicinskij Zhurnal*. 2012;102(10):32–34. (In Russ.).
27. Mazhayeva T.V. Effects of nutrition on physical development of preschool children exposed to adverse environmental factors. *Ural'skij Medicinskij Zhurnal*. 2011;80(2):53–56. (In Russ.).
28. Katsnelson B.A., Privalova L.I., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Kireyeva E.P., Minigalieva I.A., Sutunkova M.P., Loginova N.V., Malykh O.L., Yarushin S.V., Soloboyeva J.I. The role of bio-prevention in the framework of managing occupational and environmental chemical risks to population health. *Toksikologicheskij vestnik*. 2015;(1):10–21. (In Russ.).
29. Peshkov S.A., Schepin A.S., Khursan S.L., Kobzev G.I. Relative stability of the heavy metal (Zn, Cd, Co, Pb) complexes with alanine. *Vestnik Bashkirskogo Universiteta. Khimiya*. 2016;21(2):291–297. (In Russ.).
30. Drozdova L.I., Pivnenko T.N., Karaulova E.P., Yarochkin A.P. Biochemical description of muscular tissue of deep-water fish as a source of free amino acids and biogenic peptides. *Izvestiya TINRO*. 2007;(150):383–390. (In Russ.).
31. Kostenko E.E., Butenko E.N. Izuchenie kompleksobrazovaniya Pb (II), Cd (II), Hg (II) s aminokislotami dlya prognozirovaniya proteknykh svoystv pishchevyykh produktov = [Study of complex formation of Pb (II), Cd (II), Hg (II) with amino acids to predict the protective properties of food products]. *Naukovi Praci Nacional'nogo Universitetu Harchovih Tekhnologij*. 2012;(44):85–91. (In Russ.).
32. Novosel'tseva E. E., Tikhonova I.L., Belokonova N. A., Popova O.S. Adsorption capacity of some food products and sorbents in relation to lead compounds. *Aktual'nye voprosy sovremennoy meditsinskoj nauki i zdavoookhraneniya: sbornik statei VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh ucheynykh i studentov, Ekaterinburg, 19–20 aprelya 2023 g. Ekaterinburg: UGMU; 2023. P. 765–771. (In Russ.). URL: https://elib.usma.ru/bitstream/usma/13566/1/USMU_Sbornik_statei_2023_149.pdf (дата обращения: 13.04.2024).*