

Химическая экология

УДК 631.417.7+662.73
DOI 10.26456/vtchem2025.2.9

Сравнение сорбционных характеристик размельченной костной ткани рогов северного оленя и полисорба в отношении ионов свинца

¹Айвазова Е.А., ¹Корельская Т.А., ¹Журавлёва Е.А.,
¹Онохина Н.А., ²Данилов В.Е.

¹ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ, г. Архангельск
²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск

В работе проведена оценка структурно-функционального состава биополимеров костной ткани рогов взрослых оленей с использованием метода ИК-спектроскопии. Исследована структура костной ткани рогов оленей с использованием метода электронной микроскопии. Определены размеры частиц размельчённой костной ткани с помощью технологии измерения коэффициента отражения сфокусированного луча (FBRM), реализуемой на лазерном анализаторе размера частиц Lasentec D600L. Проведена сравнительная оценка сорбционных показателей размельчённой костной ткани рогов и полисорба в отношении ионов свинца с использованием математических моделей Лэнгмюра и Фрейндлиха. Вычислены значения сорбционной емкости, степени аффинитета, показывающей сродство сорбента к сорбтиву, коэффициента связывающей емкости, позволяющего оценить прочность связей между сорбентом и сорбтивом, коэффициента интенсивности сорбции, указывающего на скорость протекания процесса при значениях рН=4 и рН=6. Выявлена высокая свинец связывающая способность костной ткани рогов. Основываясь на полученных результатах сделан вывод о преимуществах сорбционной активности материала костной ткани рогов северного оленя в отношении ионов свинца в сравнении с препаратом Полисорб. Показана возможность использования костной ткани рогов северного оленя в качестве энтеросорбента для предотвращения сатурнизма.

Ключевые слова: рога северного оленя, сорбционная способность, энтеросорбенты.

Активная урбанизация в последние десятилетия приводит к значительному увеличению техногенных нагрузок на окружающую среду, как следствие, способствует росту эндемических заболеваний, вызванных, в том числе, и накоплением в организме человека тяжелых

металлов [1, 2]. В настоящее время на фармацевтическом рынке представлено значительное разнообразие энтеросорбентов на основе диоксида кремния, лигнина, смектитов и пр. [3, 4]. Однако данные препараты, к сожалению, не всегда являются эффективными в отношении тяжелых металлов. Остро встает вопрос о разработке качественно новых субстанций, способных выполнять роль эффективного энтеросорбента, быстро и прочно связывающего ионы тяжелых металлов в организме; при этом выполнять роль источника биологически важных для жизнедеятельности человека микро- и макроэлементов.

В настоящее время использование природного сырья в быту, промышленности, медицине и других сферах деятельности человека является перспективным. При изучении гуминовых кислот, выделенных из торфа, а также размельченной костной ткани рогов северного оленя, была доказана хорошая сорбционная способность данных субстанций в отношении ионов некоторых тяжелых металлов [5], что делает актуальным использование их в качестве энтеросорбентов работникам ЦБК, тяжелой и деревообрабатывающей промышленности, заводов по производству лакокрасочных материалов, а также жителям, находящимся в непосредственной близости к данным предприятиям. Данные субстанции можно рекомендовать к использованию в качестве профилактического средства для предотвращения сатурнизма. Актуальность использования субстанций, выделенных из природного сырья и обладающих хорошими сорбционными свойствами в отношении тяжелых металлов, связана с тем, что антропогенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами становится одной из приоритетных угроз для живых организмов, включая человека, а экономический и технический прогресс все чаще становится причиной нарушения естественных экосистем [6-8].

Цель исследования - провести сравнительный анализ сорбционных свойств размельченной костной ткани рогов северного оленя и полисорба в отношении ионов Pb^{2+} .

Методика эксперимента

Объекты исследования: размельченная костная ткань рогов северного оленя и полифункциональный энтеросорбент Полисорб.

Костная ткань сброшенных рогов северного оленя применяется, как правило, в качестве биологически активной добавки к пище ввиду наличия в составе различных микро- и макроэлементов (кальций и фосфор с высокой биодоступностью содержатся в виде гидроксиапатита в комплексе с оссеином – органическим компонентом костной ткани), витаминов, аминокислот, биологически активных пептидов,

фосфолипидов. Пористое строение материала костной ткани дает предпосылки для использования его в качестве сорбента [9].

Полисорб - неорганический неселективный полифункциональный энтеросорбент на основе высокодисперсного кремнезема с размерами частиц до 0.09 мкм и с химической формулой SiO_2 . Обладает выраженными сорбционными и детоксикационными свойствами. В просвете ЖКТ связывает и выводит из организма эндогенные и экзогенные токсические вещества различной природы, включая патогенные бактерии и бактериальные токсины, антигены, пищевые аллергены, лекарственные препараты и яды, соли тяжелых металлов, радионуклиды, алкоголь [10]. В редких случаях наблюдаются следующие побочные эффекты: аллергические реакции, диспепсия, запоры. При длительном приеме возможно нарушение всасывания витаминов и кальция, в связи с чем рекомендуется профилактический прием поливитаминных препаратов и препаратов, содержащих кальций [11].

Определение структуры костной ткани проводилось методом электронной микроскопии [12-14]. Снимки порошкообразных препаратов рогов северного оленя получали с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM Sigma VP ZEISS (ускоряющее напряжение 10 кВ, детектор InLens). Для повышения контрастности снимков SEM на поверхность исследуемых образцов наносили Au-Pd покрытие 80:20, используя для этого устройство для напыления QUORUM Q150T ES.

Образцы измельченных шнековым измельчающим механизмом рогов северного оленя предоставлены ООО «Северный олень» (г. Нарьян-Мар). Распределение частиц размельченной костной ткани по размеру в пробах определяли с помощью технологии измерения коэффициента отражения сфокусированного луча (FBRM), реализуемой на лазерном анализаторе размера частиц Lasentec D600L (рис. 1). Условия проведения анализа: температура окружающей среды $23 \pm 1^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $57 \pm 3\%$. Сканирование анализируемой суспензии проводили при 780 нм. Глубина погружения датчика 10 мм, исходя из достижения максимальной концентрации взвешенных частиц в поле видимости датчика. В ячейку прибора вносили 0,25 г анализируемой пробы и 500 мл дистиллированной воды. Измерение проводили при постоянном перемешивании в течение 30 мин с периодичностью 1 мин. Распределение частиц по размеру проводилось с помощью специализированного программного обеспечения анализатора.

Определение особенностей структурно-функционального состава биополимеров, входящих в состав костной ткани рогов северного оленя проводили методом ИК-спектроскопии [15]. ИК-спектры получали

методом однократного нарушенного полного отражения (НПВО) с использованием ИК-Фурье спектрометра модели ВЕРТЕКС-70 (Bruker, Germany), оснащенного системой НПВО GladiATR (Pike Tech, USA) с алмазной призмой. Условия регистрации спектров в области 4000 – 400 см⁻¹, разрешение 4 см⁻¹, число сканов 128. Управление прибором и обработку спектра осуществляли с использованием программного пакета OPUS (Bruker, Germany).

Для определения адсорбционной способности брали навески измельченных рогов и полисорба массой $0,100 \pm 0,001$ г, помещали в мерные конические колбы и в каждую добавляли по 40 мл стандартного раствора (Pb(NO₃)₂) с концентрациями: 2, 4, 10, 20, 50, 70, 100, 200, 400 мкг/мл. Эксперимент проводился в четырех сериях при значениях pH 4 и 6. Необходимые значения pH создавали, добавляя в стандартные растворы 2N H₂SO₄. Полученные системы встряхивали с малой интенсивностью в течение 40 мин при температуре 37⁰С. После этого содержимое колб отфильтровывали. Уровень кислотности и равновесную концентрацию Pb²⁺ в растворах до и после адсорбции определяли потенциометрическим методом с использованием иономера «Эксперт-001» с электродами стеклянным комбинированным ЭСК-10603 и ионоселективным ЭЛИС – 131 Pb, соответственно.

Для количественной оценки сорбционной активности выбранных препаратов использовали математические модели Лэнгмюра и Фрейндлиха. Модель Лэнгмюра позволяет описать процессы сорбции веществ на одинарном (мономолекулярном) слое сорбента. Согласно данной модели на поверхности сорбента образуется мономолекулярный слой адсорбтива, а все активные центры обладают равной энергией и энтальпией. Линейная форма уравнения Ленгмюра имеет вид $\frac{1}{G} = \frac{1}{G_{\infty}} + \frac{1}{G_{\infty} \cdot \beta} \cdot \frac{1}{C}$, где G_∞ – емкость при насыщении, мг/г; β – степень аффинитета, константа, характеризующая сродство сорбента к сорбтиву.

Модель Фрейндлиха используется для описания адсорбции на гетерогенном слое сорбента с неопределенным количеством активных центров связывания. Согласно данной модели, адсорбционные центры обладают различными величинами энергии, поэтому в первую очередь происходит заполнение активных сорбционных центров с максимальной энергией. Уравнение изотермы Фрейндлиха имеет вид $\lg G = \lg K_F + \frac{1}{n} \lg C_p$, где K_F – коэффициент связывающей емкости, позволяющий оценить прочность связей между сорбентом и сорбтивом; n – коэффициент интенсивности сорбции, указывающий на скорость протекания процесса сорбции.

Обсуждение результатов

Размельченный препарат костной ткани с преобладанием частиц с размерами от 10 до 130 мкм (рис. 1), имеет пористо-слоистую структуру, согласно снимкам, приведенным на рис. 2 и содержит многочисленные коллагеновые волокна, проходящие параллельно и под углом к друг другу в сочетании с губчатой структурой костной ткани [16]. Такое строение является предпосылкой для предположения наличия высокой сорбционной способности данной субстанции.

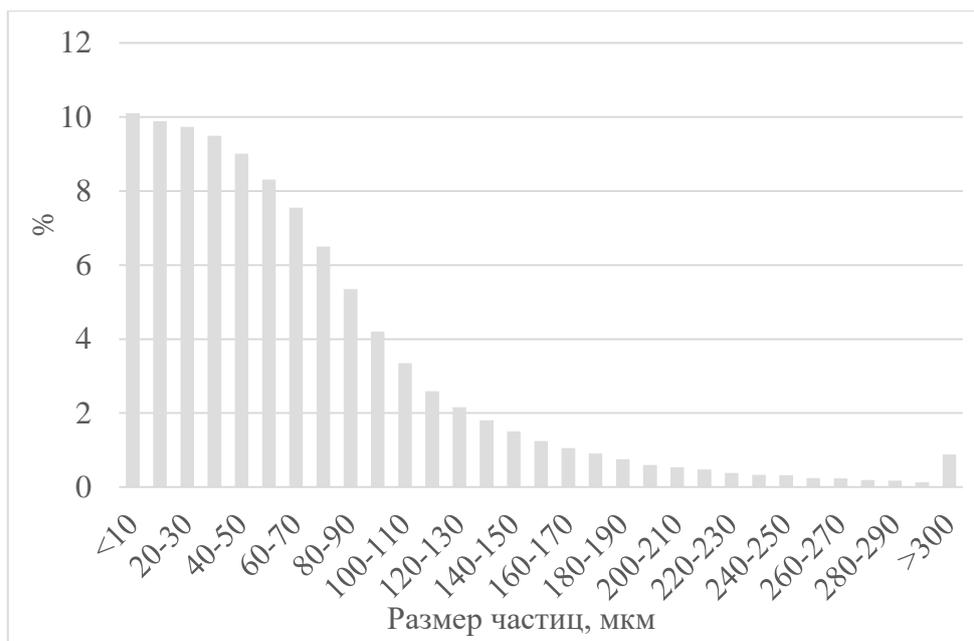


Рис. 1. Распределение частиц размельченной костной ткани рогов северного оленя по размерам, мкм.

ИК-спектр ткани рогов северных оленей [17, 18] приведен на рис. 3. Широкая интенсивная полоса поглощения при $3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$, обусловлена валентными колебаниями ОН-групп (фенольные, спиртовые и ОН-группы в карбоксильных группах), связанных межмолекулярными связями. Наличие в исследуемом материале -ОН групп первичных спиртов и фенолов подтверждается присутствием в ИК-спектре сильных полос поглощения в области 1000 см^{-1} (валентные колебания связи С-О первичного спирта) и 1260 см^{-1} (валентные колебания связи С-О фенолов).

Наличие двух полос около 1320 и 1430 см^{-1} , отражает взаимодействие между валентными колебаниями связи С-О и плоскостными деформационными колебаниями группы С-О-Н, указывая на присутствие карбоксильных групп. Полоса 1430 см^{-1} в спектре костной ткани рогов северного оленя может указывать на наличие нитрозо-групп, в том числе фрагментов N-нитрозосоединений.

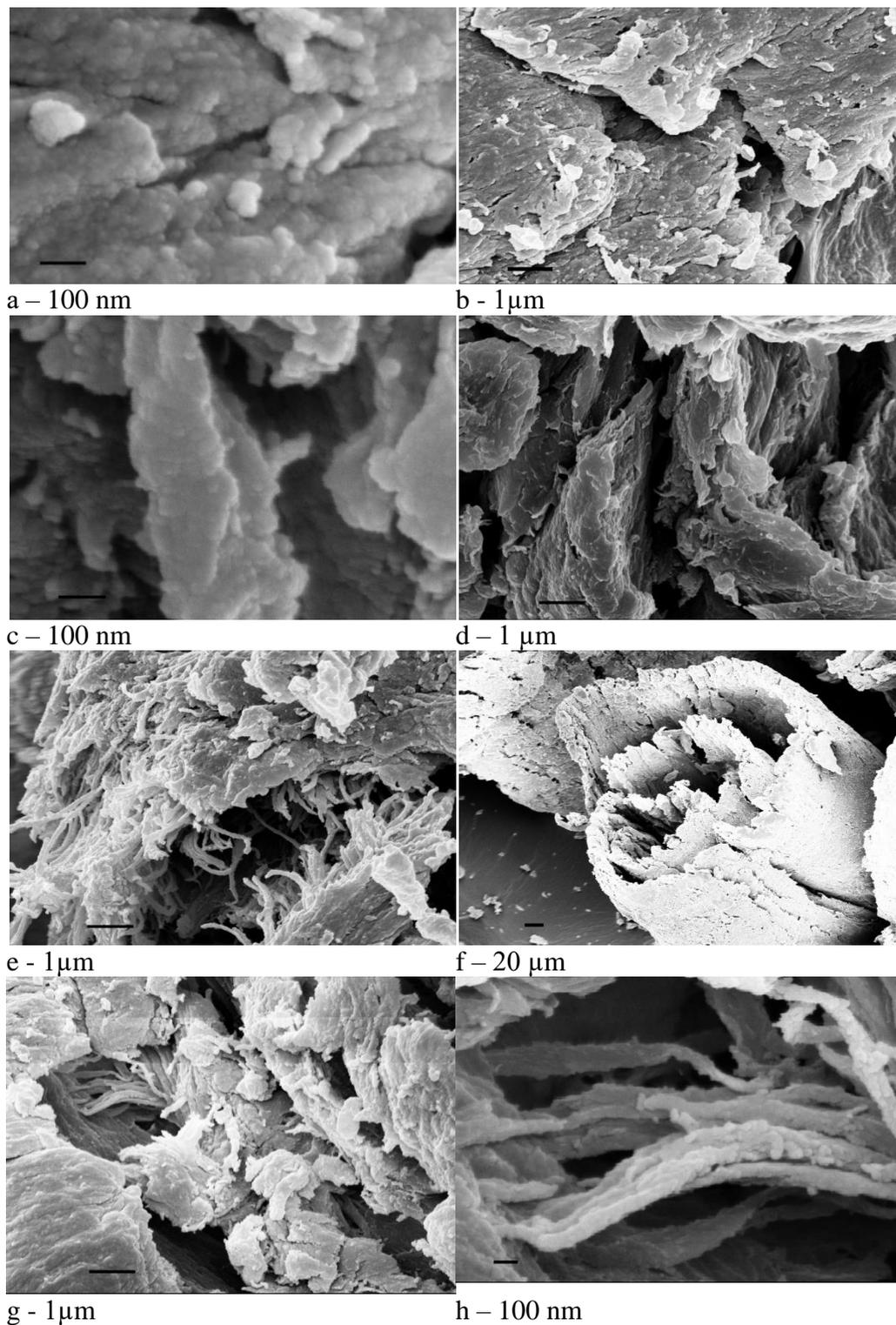


Рис. 2. Снимки препаратов костной ткани рогов северного оленя при различном увеличении

Наличие в спектре следующих полос поглощения с высокой вероятностью указывает на присутствие в биополимере аминогрупп различной природы:

- широкая полоса валентных колебаний групп $-\text{NH}_3^+$ в области $2400\text{-}3100\text{ см}^{-1}$ (перекрывается с полосой поглощения, обусловленной валентными колебаниями OH – групп, а также с областью поглощения $3000\text{-}2850\text{ см}^{-1}$, обусловленной валентными колебаниями связи C-H в алканах). За счет многочисленных составных полос и обертонов область поглощения распространяется примерно до 2000 см^{-1} .

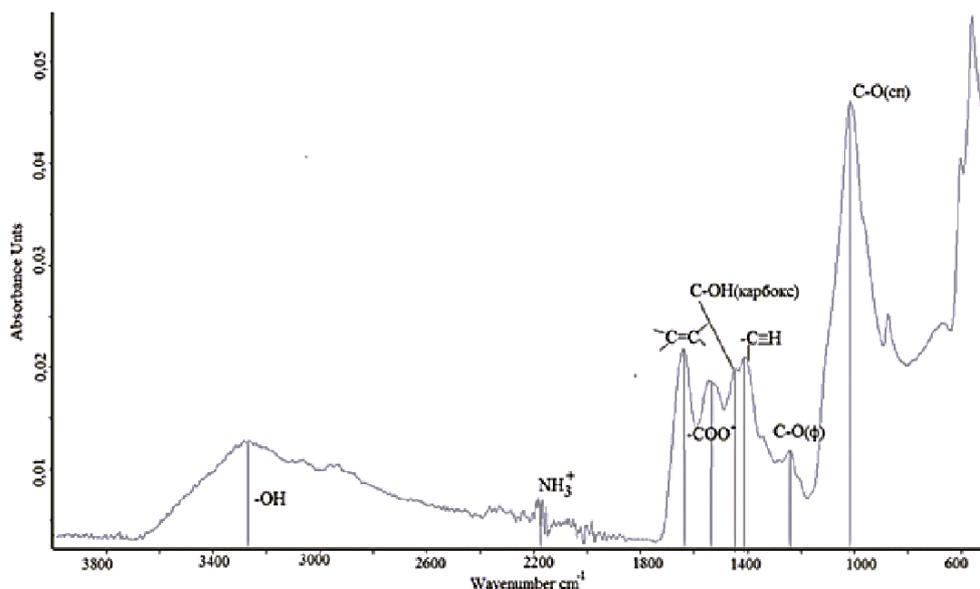


Рис. 3. ИК-спектр костной ткани рогов северного оленя

Область обертонов включает характерную полосу около $2180\text{-}2200\text{ см}^{-1}$, относящуюся к комбинации антисимметричного деформационного и крутильного колебаний группы $-\text{NH}_3^+$. Подтверждением наличия аминогруппы является присутствие в спектре костной ткани рогов северного оленя полосы поглощения при 520 см^{-1} , относящейся к торсионным колебаниям $-\text{NH}_3^+$ и довольно сильная полоса симметричных колебаний в области $1540\text{-}1500\text{ см}^{-1}$. Кроме того, полосы поглощения в области $1630\text{ – }1500\text{ см}^{-1}$ могут указывать на присутствие первичных, вторичных аминов или лактамов:

- карбоксилат-ион имеет сильное поглощение около 1600 см^{-1} и чуть более слабое около 1400 см^{-1} . Эти полосы появляются в спектре в результате соответственно антисимметричных и симметричных валентных колебаний $-\text{CO}_2^-$;

- полосы валентных колебаний $-\text{C=O}$ карбоксильных групп в области $1630\text{-}1600\text{ см}^{-1}$ накладываются на полосы колебаний средней

или слабой интенсивности в этом же диапазоне ($1600-1575\text{ см}^{-1}$), характерные для валентных колебаний связи $\text{C}=\text{C}$ в линейных алкенах и бензоидных структур. Скелетные колебания, включая колебания $\text{C}-\text{C}$ цикла также проявляются в виде дублетов в области $1430-1400\text{ см}^{-1}$. Подтверждением наличия бензоидных структур в исследуемых образцах является присутствие полос поглощения около 580 см^{-1} , свидетельствующих о внеплоскостных деформационных колебаниях связей $\text{C}-\text{H}$ кольца и указывают на наличие замещенных бензолов. Интенсивные полосы поглощения в области $900-880\text{ см}^{-1}$ обусловлены внеплоскостными деформационными колебаниями связей $\text{C}-\text{H}$ в кольце и указывающие на наличие моноядерных и полиядерных ароматических структур. Смещение полосы поглощения $-\text{COOH}$ в более коротковолновую область спектра указывает на наличие сопряжения в системе.

Наличие метильных групп и метиленовых цепочек подтверждается наличием поглощения ($2850-2970\text{ см}^{-1}$, особенно отчетливо фиксируется в спектре гуминовой кислоты), обусловленным антисимметричными и симметричными валентными колебаниями связи $\text{C}-\text{H}$ в насыщенных фрагментах; поглощение при 1370 см^{-1} и 1430 см^{-1} указывают соответственно на симметричные и антисимметричные деформационные колебания $-\text{CH}_3$ и $-\text{CH}_2-$. Отмечаются слабые, резкие (резонанс Ферми) колебания в области $2160 - 2200\text{ см}^{-1}$, что связано с наличием валентных колебаний связей $\text{C}\equiv\text{C}$, смещение значений в более коротковолновую область указывает на наличие сопряжения в системе. В области $1210-1290\text{ см}^{-1}$ отмечается обертоном деформационного колебания $\equiv\text{CH}$ в виде слабой широкой полосы, что подтверждает наличие фрагментов ацетиленовых углеводородов.

Особенности строения гуминовых кислот и костной ткани рогов северных оленей определяют высокую свинецсвязывающую активность данных образцов. Можно предположить, что сорбционные свойства анализируемых образцов в отношении Pb^{2+} проявляются посредством образования адсорбционных комплексов за счет межмолекулярных связей (собственно адсорбция) и за счет ионных или координационных связей (хемосорбция). Таким образом, высокая свинецсвязывающая способность изученных образцов, вероятно, обусловлена комбинированием процессов физической адсорбции и хемосорбции, обусловленной взаимодействием молекул биополимеров, входящих в состав костной ткани, с Pb^{2+} .

Возможность прогнозирования хемосорбционной способности изученных биополимеров базируется на анализе ИК-спектра данного образца. Наличие в ИК-спектре соответствующих полос поглощения указывает на совместное присутствие карбоксильных и других групп, таких как $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $>\text{C}=\text{O}$, $-\text{COOH}$, $>\text{NH}$, что дает основание

предполагать проявление их комплексообразовательных свойств по отношению к ионам тяжелых металлов, в том числе к ионам свинца.

Можно предположить, что сорбционные свойства анализируемых образцов костной ткани в отношении Pb^{2+} проявляются посредством образования адсорбционных комплексов за счет межмолекулярных связей (собственно адсорбция) и за счет ионных или координационных связей (хемосорбция). Таким образом, высокая свинец связывающая способность изученных образцов, вероятно, обусловлена комбинированием процессов физической адсорбции и хемосорбции, обусловленной взаимодействием молекул биополимеров, входящих в состав костной ткани, с Pb^{2+} .

В ходе исследования была проведена оценка адсорбционной активности [19] ткани рогов северного оленя и полисорба в отношении ионов Pb^{2+} при значениях $pH=4$ и $pH=6$ в отношении Pb^{2+} . Графики линейаризации изотерм Лэнгмюра и Фрейндлиха, уравнения, описывающие их и значения коэффициентов аппроксимации приведены на рис. 4, 5. Значения констант Γ_{∞} сорбционной емкости (50,25 при $pH=4$; 208,33 при $pH=6$) и коэффициента связывающей емкости (K_F), позволяющего оценить прочность связей между сорбентом и сорбтивом (125,46 при $pH=4$; 80,46 при $pH=6$) для костной ткани рогов, по сравнению с Γ_{∞} (92,59 при $pH=4$; 29,59 при $pH=6$) и K_F (9,74 при $pH=4$; 22,47 при $pH=6$) для Полисорба. Оценка сродства сорбентов (β) к Pb^{2+} , показала, что данный показатель образца костной ткани к ионам свинца выше по сравнению с таковой для «Полисорба» как при $pH=4$, так и при $pH=6$ [20]. Коэффициент интенсивности сорбции(n), указывающий на скорость протекания процесса, рассчитанный из уравнения Фрейндлиха для костной ткани (7,64 при $pH=4$; 3,90 при $pH=6$) и «Полисорба» (1,14 при $pH=4$; 1,51 при $pH=6$) указывает на более высокую скорость поглощения ионов свинца костной тканью размельчённых рогов северного оленя [21-23]. Результаты представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов указывает на более высокую связывающую активность размельчённой ткани рогов северного оленя, по сравнению с полисорбом, в отношении ионов Pb^{2+} . Стоит отметить увеличение доли полимолекулярной адсорбции костной ткани рогов, в сравнении с полисорбом, с повышением кислотности среды [24-26]. Это способствует более эффективной адсорбции ионов Pb^{2+} в ЖКТ данной субстанции.

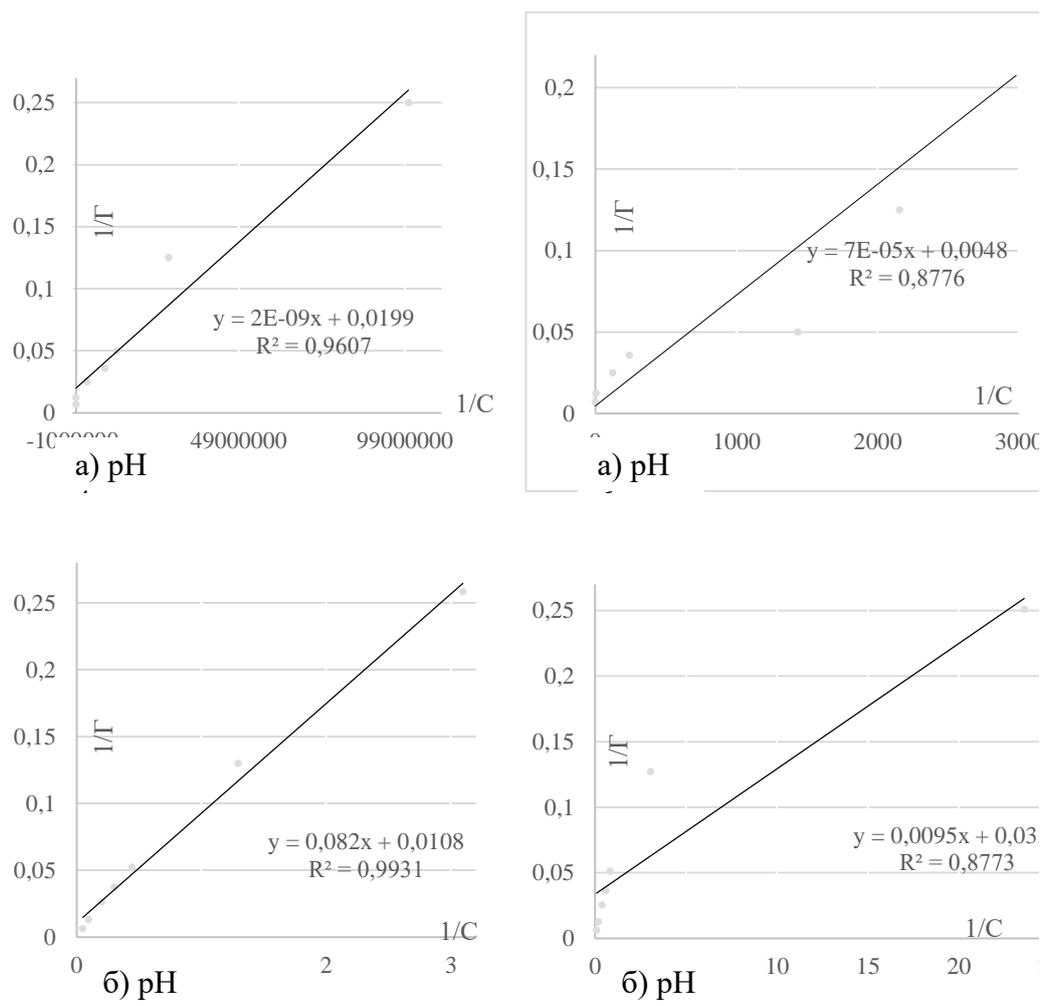


Рис. 4. Изотермы Ленгмюра адсорбции Pb^{2+} (а) костной тканью рогов северного оленя, (б) полисорбом

Таблица 1
Значения констант уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха сорбции ионов Pb^{2+}

Сорбент	Модель Ленгмюра		Модель Фрейндлиха	
	Γ_{∞}	β	K_F	n
pH = 4				
Костная ткань рогов	50,25	$9,95 \cdot 10^{-2}$	125,46	7,64
Полисорб	92,59	0,13	9,74	1,14
pH = 6				
Костная ткань рогов	208,33	68,57	80,46	3,90
Полисорб	29,59	3,56	22,47	1,51

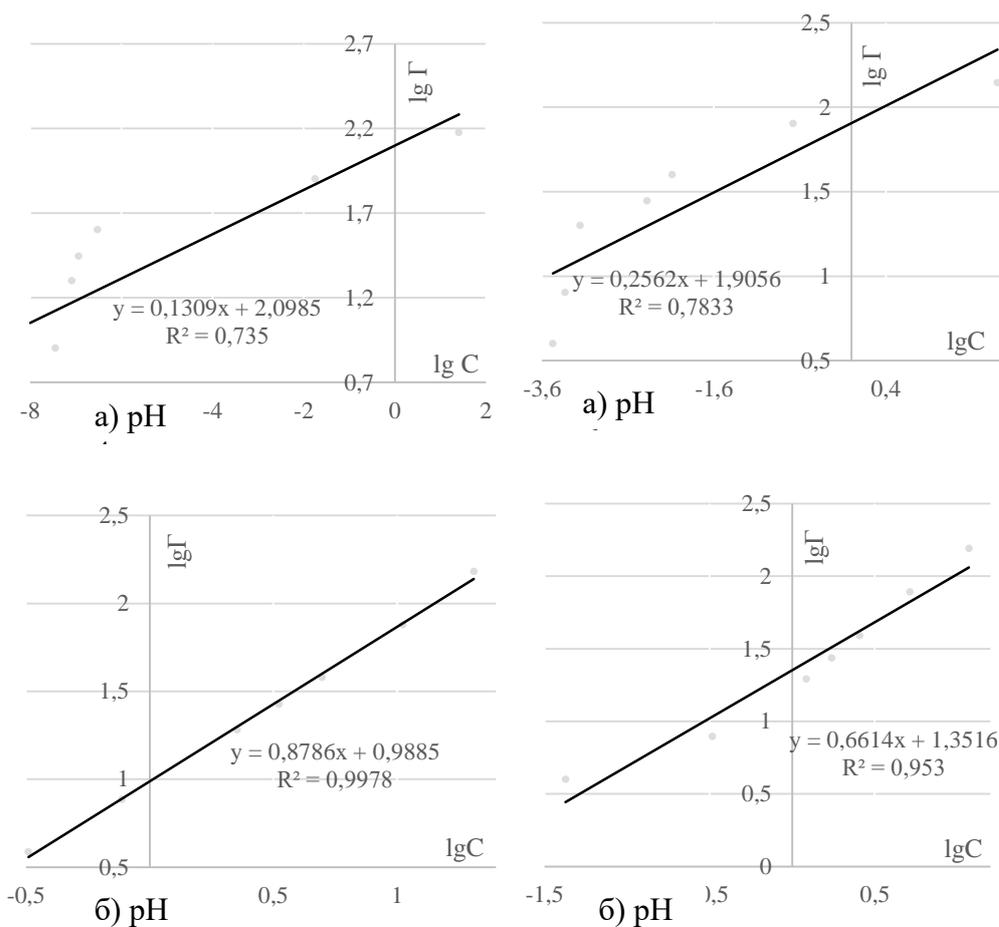


Рис. 5. Изотермы Фрейндлиха адсорбции Pb^{2+} (а) костной тканью рогов северного оленя, (б) полисорбтом

Заключение

Согласно полученным результатам костная ткань рогов северного оленя имеет слоистую пористую структуру. Биополимеры, входящие в её состав, содержат значительное число функциональных групп, способных к комплексообразованию, интенсивность которого увеличивается за счет наличия сопряженных фрагментов. Сорбционные процессы, протекающие на костной ткани рогов северного оленя, описанные с помощью математической модели Фрейндлиха, характеризуются более высокими значениями сорбционных коэффициентов. Это указывает на выраженность полимолекулярной адсорбции на данном препарате.

Основываясь на полученных результатах можно сделать вывод о значительных преимуществах материала костной ткани рогов северного оленя в сорбционной активности в отношении ионов свинца (в

сравнении с препаратом Полисорб), что в совокупности с меньшим отрицательным побочным действием, являет собой основание для его применения как эффективного энтеросорбента в целях лечения и профилактики свинцовых отравлений и интоксикаций для людей соответствующих регионов и производственных сфер.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-25-20181, <https://rscf.ru/project/25-25-20181/>

Список литературы

1. Баторов А.Е., Филиппова В.И. Урбанизация и ее влияние на экологию (на примере Иркутской области) // StudNet. 2021. Т. 4. № 4.
2. Глебов В.В. Влияние техногенной сферы большого города на адаптационные процессы человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-11. С. 2461-2465.
3. Носкевич Д.И., Корбут Я.И. Анализ опыта применения энтеросорбентов населением // Молодежный инновационный вестник. 2021. Т. 10. № S1. С. 452-456.
4. Кормишина А.Е., Мизина П.Г., Соловьева И.Л. Фармацевтический рынок лекарственных средств адсорбционного действия: состояние и перспективы // Медицинский вестник Башкортостана. 2018. Т. 13. № 6 (78). С. 55-62.
5. Айвазова Е.А., Корельская, Т. А., Журавлёва, Е. А., Такшеева, Л. А., Майер, Л. В. Сорбционная способность ткани рогов северных оленей в отношении ионов Pb^{2+} // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2023. № 16 (1). С. 127–133/
6. Engwa G.A., Ferdinand P.U., Nwalo F.N., Unachukwu M.N. Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans // Poisoning in the Modern World – New Tricks for an Old Dog? London, 2019. Pp. 1–23.
7. Eshonkulov R.A., Yusupov I.N., Boyirov Z.R., Muradov Sh.O. Assessment of heavy metals in the environmental system in the southern Uzbekistan // Вестник науки и образования. 2021. № 8-3 (111). С. 16-20.
8. Jussipbekov U.Zh., Chernyakova R.M., Agatayeva A.A., Kozhabekova N., Kaiynbayeva R.A., Sultanbayeva G.Sh. Sorption of heavy metal cations from a water-salt system by natural montmorillonite // Химический журнал Казахстана. 2021. № 1 (73). С. 204-212.
9. Айвазова Е.А., Журавлёва Е.А., Корельская Т.А., Незговоров Д.В., Крылов И.А., Такшеева Л.А. Способ применения измельчённых рогов северного оленя в качестве сорбента // Патент РФ № 2790060. Патентообладатель ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ (город Архангельск). 2023. Заявка № 2022108943 от 04.04.2022.
10. Грекова А., Смолянкин Н., Вершинин А., Полилов А. Оценка клинической эффективности энтеросорбента "полисорб мл" при острых кишечных инфекциях у детей // Врач. 2007. № 9. С. 50-51.
11. Никонорова М.А., Карбышева Н.В., Матрос О.И., Бесхлебова О.В., Шевцова Е.А., Попилов М.А. Кремния диоксид коллоидный (полисорб

- МП) в патогенетической терапии острых кишечных инфекций неустановленной этиологии // Главный врач Юга России. 2021. № 5 (80). С. 35-37.
12. Joseph I., Goldstein. Practical scanning electron microscopy. Electron and ion microprobe analysis. New York: 1975. 329 p.
13. Карупу В.Я. Электронная микроскопия. Киев: 1984. 208 с.
14. Криштал М.М., Ясников И.С., Полуниин В.И. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ в примерах практического применения. М.: 2009. 208 с.
15. Лепеха С.В., Киселёва Д.В., Косинцев П.А. Особенности структуры субфоссильных останков костной ткани северных оленей по данным ИК-фурье спектроскопии // Минералы: строение, свойства, методы исследования. 2021. № 12. С. 89-90.
16. Kataeva N.N., Sarkisyan N.G., Chumakov N.S., Khlystova K.A., Medvedeva O.M., Shmygalev A.S. Microscopic and elemental analysis of jaw bone tissue in injury Medical Immunology (Russia). 2023. Т. 25. № 3. С. 649-654.
17. Стороженко П. А., Расулов М.М. Панты марала: структурно-функциональные особенности и фармацевтические перспективы. Медицина и высокие технологии. 2020. № 4. С. 12-24. [Storozhenko P. A., Rasulov M.M. Maral antlers: structural and functional features and pharmaceutical prospects. Medicine and high technology. 2020. No. 4. pp. 12-24. (in Russ)].
18. Звягин В.Н., Королев В.В., Нарина Н.В., Анушкина Е.С. Прогнозирование температуры и условий сожжения останков по инфракрасным спектрам костной ткани // Достижения российской судебно-медицинской науки XX-XXI столетия: к 100-летию со дня образования современных судебно-экспертных школ. Труды VIII Всероссийского съезда судебных медиков с международным участием. Под общей редакцией А.В. Ковалева. 2019. С. 99-109.
19. Бабешина Л.Г., Келус Н.В., Кузнецов А.А. Сорбционная активность и механизм сорбции сфагновых мхов // Фармация. 2017. Т. 66. № 2 - С. 33-38.
20. Дзюбина А.А., Дымова Т.А., Кузьмина М.В., Смирнова Н.Э. Сорбция ионов тяжелых металлов льняным волокном из водных растворов // NOVAINFO.RU. Т.1. №77. 2018 – С.24-36.
21. Смирнов А.К., Смотрина Т.В., Ярошевская Х.М. Сорбция свинца (II) лишайниковыми полисахаридами // Вестник технологического университета. Т.19. №14. 2016 – С.44-46.
22. Паршина А.Э., Боголицын К.Г., Иванченко Н.Л., Поломарчук Д.А. Сорбция кадмия, свинца и хрома (VI) целлюлозными комплексами арктических бурых водорослей // Химия растительного сырья. № 3. 2022. С.- 325-336.
23. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. 2020. Vol. 6. N9. Pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

24. Ahad R.I.A., Syiem M.B., Rai A.N. Cd(II) sorption by Nostoc sp. JRD1: Kinetic, thermodynamic and isotherm studies // *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 21. 101283. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101283.
25. Мирхардарова Э.Д., Шагаргазина Г.В., Ильясова Р.Р., Массалимов И.А. Сорбция ионов свинца (II) частицами диспергированных природных материалов // *Системы обеспечения техносферной безопасности*. 2019. С.51-52.
26. Абдуллаева Н.А.К., Ботиров С.Х.У., Усмонова Х.Х.К., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. // Сорбция катионов свинца природными волокнами // *Universum: Химия и биология*. № 11-2. 2024. С. 5-10.

Об авторах:

КОРЕЛЬСКАЯ Татьяна Александровна – кандидат химических наук, доцент кафедры общей и биорганической химии ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ (163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д.51); e-mail: takorelskaya@yandex.ru

АЙВАЗОВА Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, заведующий кафедры общей и биорганической химии ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ (163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д.51); e-mail: ayvazowa@yandex.ru

ОНОХИНА Наталья Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры общей и биорганической химии ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ (163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д.51); e-mail: onohina.76@mail.ru

ЖУРАВЛЕВА Екатерина Александровна - кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и биорганической химии ФГБОУ ВО СГМУ Министерства здравоохранения РФ (163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д.51); e-mail: zhuravleva.ek20@yandex.ru

ДАНИЛОВ Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163000 Россия, Архангельск, набережная Северной Двины, 17); e-mail: v.danilov@narfu.ru

Comparison of sorption characteristics of crushed bone tissue of reindeer antlers and polysorb in relation to lead ions

¹Aivazova E.A., ¹Korelskaya T.A., ¹Zhuravleva E.A.,
¹Onokhina N.A., ²Danilov V.E.

¹ The Northern State Medical University (Arkhangelsk city), Arkhangelsk

² The Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk

The paper evaluates the structural and functional composition of biopolymers of the bone tissue of adult deer horns using the method of IR spectroscopy. The structure of the bone tissue of deer antlers was studied using the method of electron microscopy. The particle sizes of the crushed bone tissue were determined using the focused beam reflection coefficient (FBRM) measurement technology implemented on the Lasentec D600L laser particle size analyzer. A comparative assessment of the sorption parameters of the crushed bone tissue of horns and polysorb in relation to lead ions was carried out using mathematical models of Langmuir and Freundlich. The values of sorption capacity, the degree of affinity, indicating the affinity of the sorbent to the sorbent, the coefficient of binding capacity, which makes it possible to assess the strength of the bonds between the sorbent and the sorbent, and the coefficient of sorption intensity, indicating the rate of the process at pH=4 and pH=6, were calculated. A high lead binding capacity of the bone tissue of the horns was revealed. Based on the results obtained, a conclusion is drawn about the advantages of the sorption activity of the reindeer antler bone material in relation to lead ions in comparison with the Polysorb preparation. The possibility of using the bone tissue of reindeer antlers as an enterosorbent to prevent saturnism is shown.

Keywords: reindeer antlers, sorption capacity, enterosorbents.

Дата поступления в редакцию: 19.05.2025.

Дата принятия в печать: 23.05.2025.