

УДК [631.417.7+662.73](470.11)
DOI 10.26456/vtchem2023.4.15

СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЭНТЕРОСОРБЕНТОВ, ПРЕПАРАТОВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ В ОТНОШЕНИИ ИОНОВ Cd^{2+}

Е.А. Айвазова, Е.А. Журавлева, Т.А. Корельская,
Н.А. Онохина, Н.А. Зубова

*ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Архангельск*

Проведены исследования сорбционных свойств гуминовых кислот (ГК), гуматов натрия (ГNa), а также некоторых энтеросорбентов, широко используемых на фармацевтическом рынке, таких как активированный уголь (АУ), фильтрум-СТИ (ФС), лактофильтрум (ЛФ), полисорб (ПС), по отношению к ионам кадмия. Для количественной оценки сорбционной способности препаратов использовали математические модели Лэнгмюра и Фрейндлиха. Расчет математических моделей сорбции Лэнгмюра и Фрейндлиха, а также статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office for Windows, Excel, 2016. Проведена оценка прочности связей между сорбентом и сорбтивом с помощью коэффициента связывания, оценка предельной адсорбции, скорости связывания ионов кадмия различными сорбентами и определены рН, при которых сорбционная емкость является максимальной для гуминовых и кислот, их натриевых солей и сравнение этих показателей с коммерческими энтеросорбентами АУ, ФС, ЛФ и ПС. Значения предельной адсорбции ионов Cd^{2+} препаратами гуминовых кислот и их солей в целом имеют тенденцию к увеличению с повышением кислотности растворов. Степень связывания ионов кадмия ГNa из растворов более высокая, по сравнению с ГК и другими препаратами. Значительно отличаются показатели, характеризующие сродство сорбента к сорбтиву и прочность связывания ионов Cd^{2+} для ГNa и ГК от таковых для других энтеросорбентов. Скорость связывания ионов кадмия для препаратов ГК и ГNa с ростом рН меняется незначительно.

Ключевые слова: гуминовые кислоты, гуматы натрия, токсиканты, адсорбционные эффекты, степень извлечения.

Промышленная, сельскохозяйственная и рекреационная деятельность - источник жизни человека, основа его существования. Деятельность человека приводит к стремительной деградации окружающей среды. Человек неизбежно и дальше будет менять характеристики окружающей среды [1,2].

В результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду выбрасываются миллионы тонн отходов,

содержащих токсичные вещества. Загрязнение окружающей среды кадмием – одним из самых токсичных металлов (относится к 1 классу опасности) – оказывает значимое отрицательное влияние на состояние здоровья населения [3,4,5]. По оценкам ВОЗ, для атмосферного воздуха населенных мест среднесуточные ПДК кадмия и его неорганических соединений – 0,0003 мг/м³. ПДК рабочей зоны в воздухе /максимальная разовая – 0,05/0,01 мг/м³. ПДК кадмия в воде в соответствии с требованиями СанПиН составляет 0,001 мг/дм³ [6]. Однако, согласно исследованиям Чагиной Н.Б. с соавторами [7], содержание кадмия в снежном покрове и талых водах Архангельска составляет от 0,03 до 1,12 мкг/л, т.е. в некоторых случаях незначительно превышает ПДК.

Главными источниками выбросов загрязняющих веществ, содержащих кадмий, в атмосферу являются предприятия гальванических, стекольных и цементных производств. Загрязнение воздуха и природных вод кадмием происходит в результате поступления продуктов сгорания угля и дизельного топлива. В организм человека кадмий попадает с табачным дымом, продуктами питания растительного происхождения. Кадмий негативно воздействует на органы желудочно-кишечного тракта, центральную нервную систему, нарушает фосфорно-кальциевый обмен, обладает канцерогенным действием. Кадмий накапливается в организме, период его полувыведения составляет 10-35 лет [8].

Тяжелые металлы и их соединения являются приоритетными поллютантами верхнего слоя почвы, а в заболоченных районах – торфа. В Архангельской области сосредоточено около 25 % всего торфяного фонда европейской части России. В связи с увеличением потребности в использовании различных видов сорбционных материалов важно оценить возможность использования верхового торфа, представляющего собой дешевый возобновляемый ресурс, в качестве потенциального источника для получения на его основе эффективного природного сорбента такого как гуминовые кислоты [9-20].

Полифункциональный характер гуминовых кислот и их солей определяет широкий спектр биосферных функций, в том числе протекторную функцию. Протекторная функция гуминовых кислот заключается в способности образовывать прочные комплексы биополимера с тяжелыми металлами, радионуклидами и органическими экотоксикантами, и как следствие изменение форм существования токсичных веществ, их способности к миграции, а также уменьшение доступности для организма и токсичности [21].

Поэтому целью данной работы было исследование сорбционных свойств непосредственно препаратов гуминовых кислот, выделенных из верхового торфа, и их солей; сравнение их с сорбционной способностью

энтеросорбентов, уже известных на фармацевтическом рынке, в отношении ионов Cd^{2+} .

Экспериментальная часть

В ходе работы были проведены исследования сорбционных свойств гуминовых кислот (ГК), гуматов натрия (ГNa), а также некоторых энтеросорбентов, широко используемых на фармацевтическом рынке, таких как активированный уголь (АУ), фильтрум-СТИ (ФС), лактофильтрум (ЛФ), полисорб (ПС), по отношению к ионам кадмия. Образцы ГК выделяли из образцов верхового торфа, отобранного на территории Архангельской области, с использованием общепринятой методики [22]. Для определения сорбционной способности препаратов брали навески $0,1 \pm 0,001$ г, помещали в конические колбы с притертыми пробками и добавляли в каждую по 40 мл стандартных растворов с исходными концентрациями в диапазоне от 2 до 400 мкг Cd^{2+} /мл, встряхивали с малой интенсивностью в течение 40 мин. После этого содержимое колб отфильтровывали. Эксперимент проводился в четырех сериях при значениях рН от 3 до 6. Необходимые значения рН создавали, добавляя в стандартные растворы 2N H_2SO_4 . Уровень кислотности и равновесную концентрацию Cd^{2+} в растворе определяли потенциометрическим методом с использованием иономера «Эксперт-001» с электродами стеклянным комбинированным ЭСК-10603 и ионоселективным ЭЛИС – 131 Cd, соответственно.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования была проведена оценка адсорбционных эффектов исследуемых препаратов при значениях рН = 3–6 в отношении Cd^{2+} [23].

Для количественной оценки сорбционной способности препаратов использовали математические модели Лэнгмюра и Фрейндлиха.

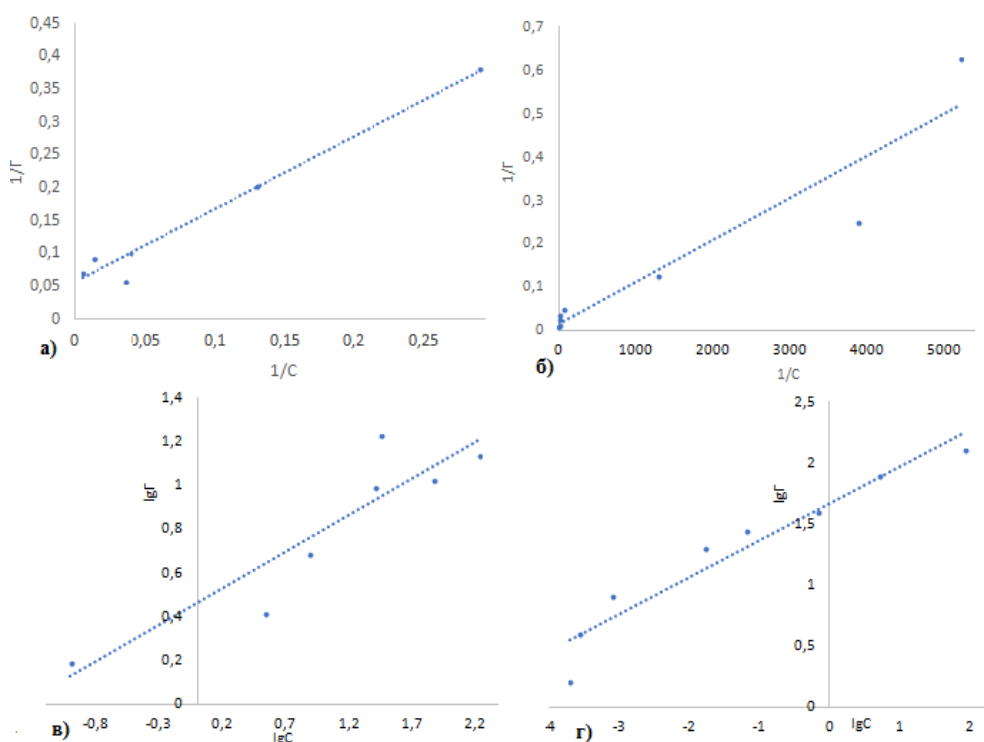
Расчет математических моделей сорбции Лэнгмюра и Фрейндлиха, а также статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office for Windows, Excel, 2016.

Модель сорбции Лэнгмюра позволяет описать процессы сорбции веществ на одинарном гомогенном слое сорбента, т.е. на поверхности сорбента образуется мономолекулярный слой сорбтива, а все активные центры обладают равной энергией и энтальпией. Линейная форма уравнения Ленгмюра имеет вид $\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\text{пр}}} + \frac{1}{\Gamma_{\text{пр}} \cdot \beta} \cdot \frac{1}{C}$, где $\Gamma_{\text{пр}}$ и β – константы уравнения Ленгмюра, которые были рассчитаны из наклона и пересечения прямых на графиках в соответствующих координатах

линейных уравнений. $\Gamma_{пр}$ – емкость при насыщении, мг/г; β – степень аффинитета, константа, характеризующая сродство сорбента к сорбтиву.

Уравнение изотермы модели Фрейндлиха $\lg \Gamma = \lg KF + \frac{1}{n} \cdot \lg C_p$ используется для описания адсорбции на гетерогенном слое сорбента с неопределенным количеством активных центров связывания. Так как адсорбционные центры по этой модели обладают различными величинами энергии, то в первую очередь происходит заполнение активных сорбционных центров с максимальной энергией. Коэффициент связывающей емкости (K_F) позволяет оценить прочность связей между сорбентом и сорбтивом; n – коэффициент интенсивности сорбции, указывающего на скорость протекания процесса.

Изотермы адсорбции ГК, ГNa и других исследованных энтеросорбентов приведены на рис.1-7.

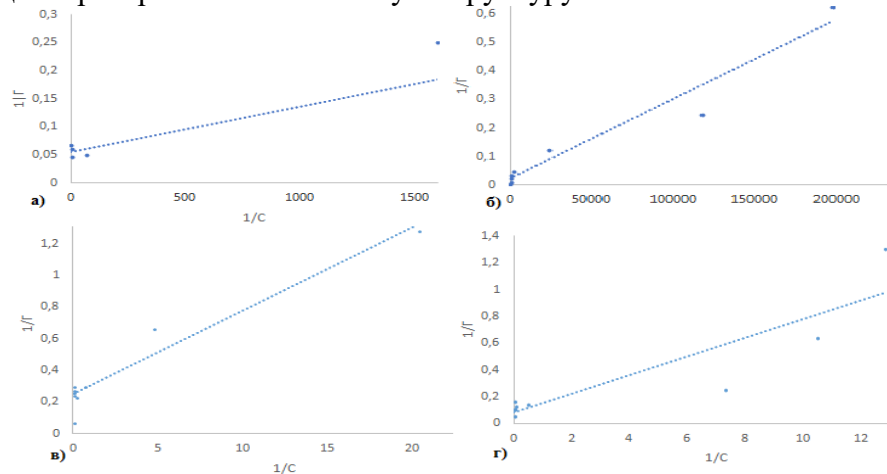


Р и с . 1. Изотермы Лэнгмюра и Фрейндлиха адсорбции Cd^{2+} ГК (а; в) и ГNa (б; г) при рН 3.

Уравнения прямых изотерм адсорбции приведены в таблицах 1-4.

При математической обработке данных, полученных при изучении сорбционной способности коммерческих препаратов энтеросорбентов, положительной корреляции не выявлено при рН 3 для всех коммерческих энтеросорбентов и при рН 4 для ЛФ и ПС. Это,

вероятно, связано с блокировкой активных центров данных сорбентов под действием большого количества H^+ и природой сорбции этих препаратов в целом. АУ имеет пористую структуру с очень большой площадью поверхности, что определяет для данного энтеросорбента преимущественно физический тип адсорбции. Последний, вероятно, характерен и для ПС, действующим веществом которого является SiO_2 , имеющим пространственно-сетчатую структуру.



Р и с . 2. Изотермы Лэнгмюра адсорбции Cd^{2+} ГК (а); ГNa (б); АУ (в) и ФС (г) при рН 4.

С уменьшением кислотности растворов до рН 5 и 6 коэффициент R^2 возрастает до значений, близких к 1. Для препаратов ГК и ГNa характерна высокая корреляционная зависимость предельной адсорбции от равновесной концентрации Cd^{2+} в модельном растворе при всех значениях рН данного эксперимента.

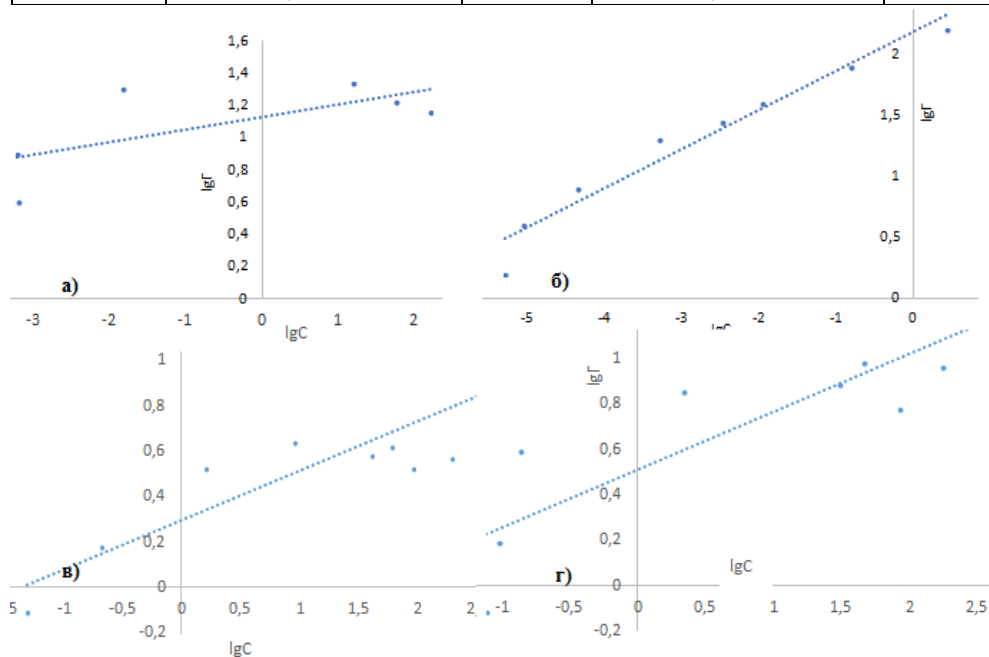
Таблица 1
Уравнения линейаризации изотерм адсорбции при рН 3

Образец	Модель Лэнгмюра		Модель Фрейндлиха	
	Уравнение	R^2	Уравнение	R^2
ГК	$\Gamma=1,1094C_p + 0,0563$	0,9736	$\Gamma=0,3341C_p + 0,4632$	0,8347
ГNa	$\Gamma=0,0001C_p + 0,0153$	0,8959	$\Gamma=0,2991C_p + 1,6654$	0,9247

Таблица 2
Уравнения линейаризации изотерм адсорбции при рН 4

Образец	Модель Лэнгмюра		Модель Фрейндлиха	
	Уравнение	R^2	Уравнение	R^2
ГК	$\Gamma=0,00008C_p + 0,0556$	0,7204	$\Gamma=0,3341C_p + 0,4632$	0,4733

ГNa	$\Gamma = 3 \cdot 10^{-6}C_p + 0,0231$	0,9525	$\Gamma = 0,3197C_p + 2,1841$	0,9532
АУ	$\Gamma = 0,0525C_p + 0,2485$	0,9392	$\Gamma = 0,2191C_p + 0,2972$	0,7232
ФС	$\Gamma = 0,0696C_p + 0,0802$	0,8042	$\Gamma = 0,2552C_p + 0,5127$	0,7584



Р и с . 3. Изотермы Фрейндлиха адсорбции Cd^{2+} ГК (а); ГNa (б); АУ (в) и ФС (г) при рН 4.

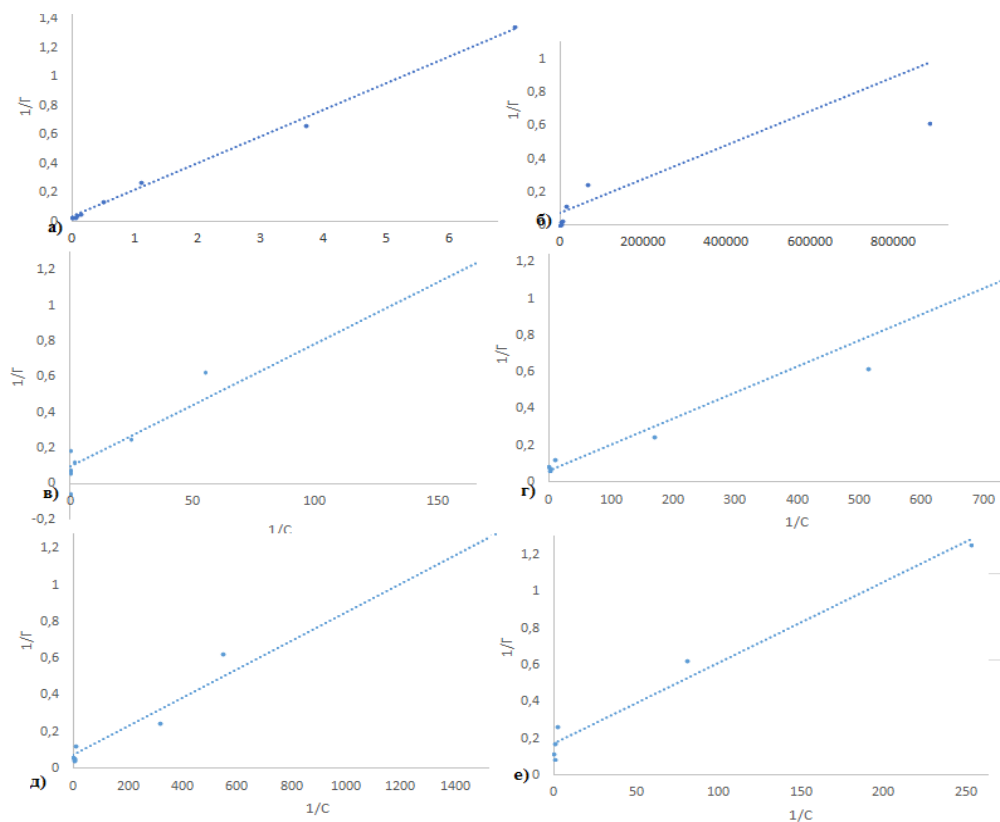
Т а б л и ц а 3

Уравнения линеаризации изотерм адсорбции при рН 5

Образец	Модель Лэнгмюра		Модель Фрейндлиха	
	Уравнение	R^2	Уравнение	R^2
ГК	$\Gamma = 0,1831C_p + 0,0355$	0,9975	$\Gamma = 0,4991C_p + 0,5626$	0,8750
ГNa	$\Gamma = 10^{-6}C_p + 0,0712$	0,7615	$\Gamma = 0,2791C_p + 1,9444$	0,8918
АУ	$\Gamma = 0,0069C_p + 0,0937$	0,9556	$\Gamma = 0,2183C_p + 0,684$	0,6921
ФС	$\Gamma = 0,0014C_p + 0,0629$	0,9565	$\Gamma = 0,2123C_p + 0,8337$	0,8108
ЛФ	$\Gamma = 0,0008C_p + 0,0744$	0,9799	$\Gamma = 0,2313C_p + 0,9169$	0,8753
ПС	$\Gamma = 0,0044C_p + 0,1746$	0,9718	$\Gamma = 0,2565C_p + 0,6078$	0,9596

Таблица 4
Уравнения линеаризации изотерм адсорбции при pH 6

Образец	Модель Лэнгмюра		Модель Фрейндлиха	
	Уравнение	R ²	Уравнение	R ²
ГК	$\Gamma = 1,0348C_p + 0,1425$	0,8356	$\Gamma = 0,5759C_p - 0,0775$	0,7996
ГNa	$\Gamma = 2 \cdot 10^{-6}C_p + 0,0408$	0,8849	$\Gamma = 0,2845C_p + 1,9274$	0,9202
АУ	$\Gamma = 0,0324C_p + 0,0695$	0,9801	$\Gamma = 0,4447C_p + 0,6852$	0,921
ФС	$\Gamma = 0,0072C_p + 0,045$	0,9446	$\Gamma = 0,3751C_p + 0,8647$	0,8904
ЛФ	$\Gamma = 0,0379C_p + 0,022$	0,9915	$\Gamma = 0,4252C_p + 0,8139$	0,9275
ПС	$\Gamma = 0,0409C_p + 0,1017$	0,9654	$\Gamma = 0,4272C_p + 0,5716$	0,9453



Р и с . 4. Изотермы Лэнгмюра адсорбции Cd²⁺ ГК (а); ГNa (б); АУ (в); ФС (г); ЛФ (д) и ПС (е) при pH 5.

Значения предельной адсорбции ионов Cd^{2+} препаратами гуминовых кислот и их солей в целом имеют тенденцию к увеличению с повышением кислотности растворов (рис. 8). Для всех исследованных препаратов энтеросорбентов отмечается обратная динамика изменения $\Gamma_{\text{пр}}$ с уменьшением pH. Максимальные значения $\Gamma_{\text{пр}}$ отмечаются для ГК и ГNa (41,15 мг/г и 43,29 мг/г, соответственно) при pH 4 и для ГNa при pH 3 – 65,36 мг/г. Стоит отметить значительно более высокие показатели $\Gamma_{\text{пр}}$ для препаратов ГК и ГNa по сравнению с другими изученными сорбентами, особенно в растворах с высокими значениями кислотности, что, вероятно, объясняется наличием в ГК (и их солях) карбоксильных, карбонильных, фенольных группировок, а также amino- и иногда амидных групп (рис. 9).

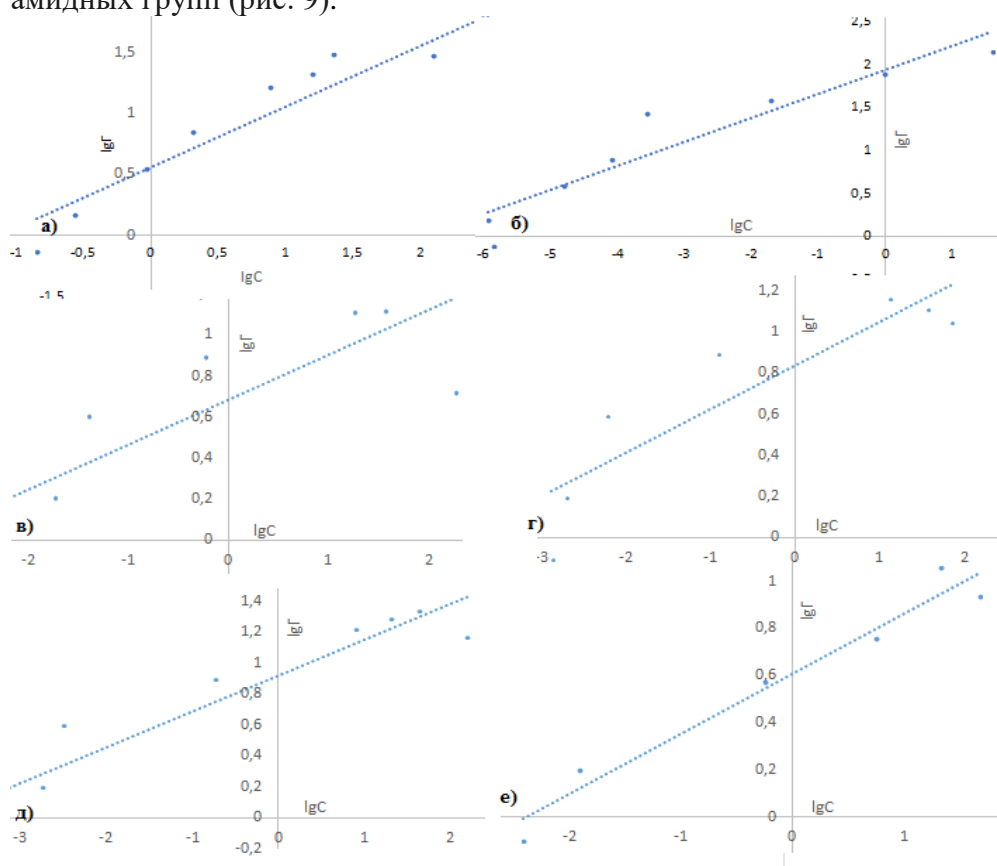
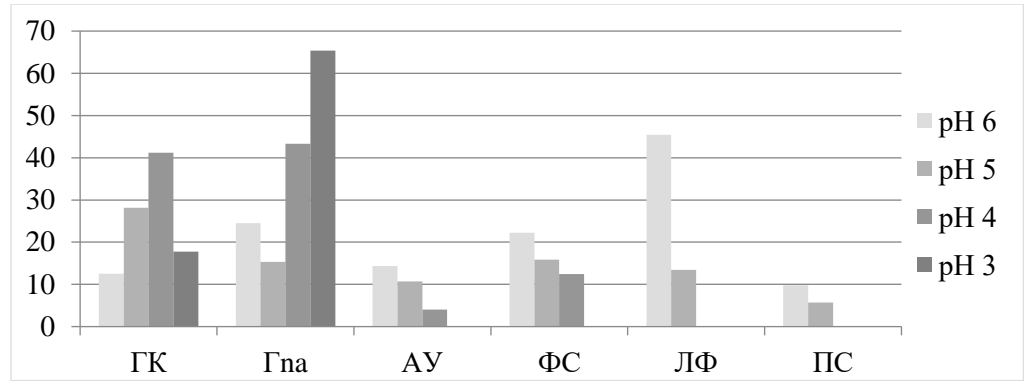
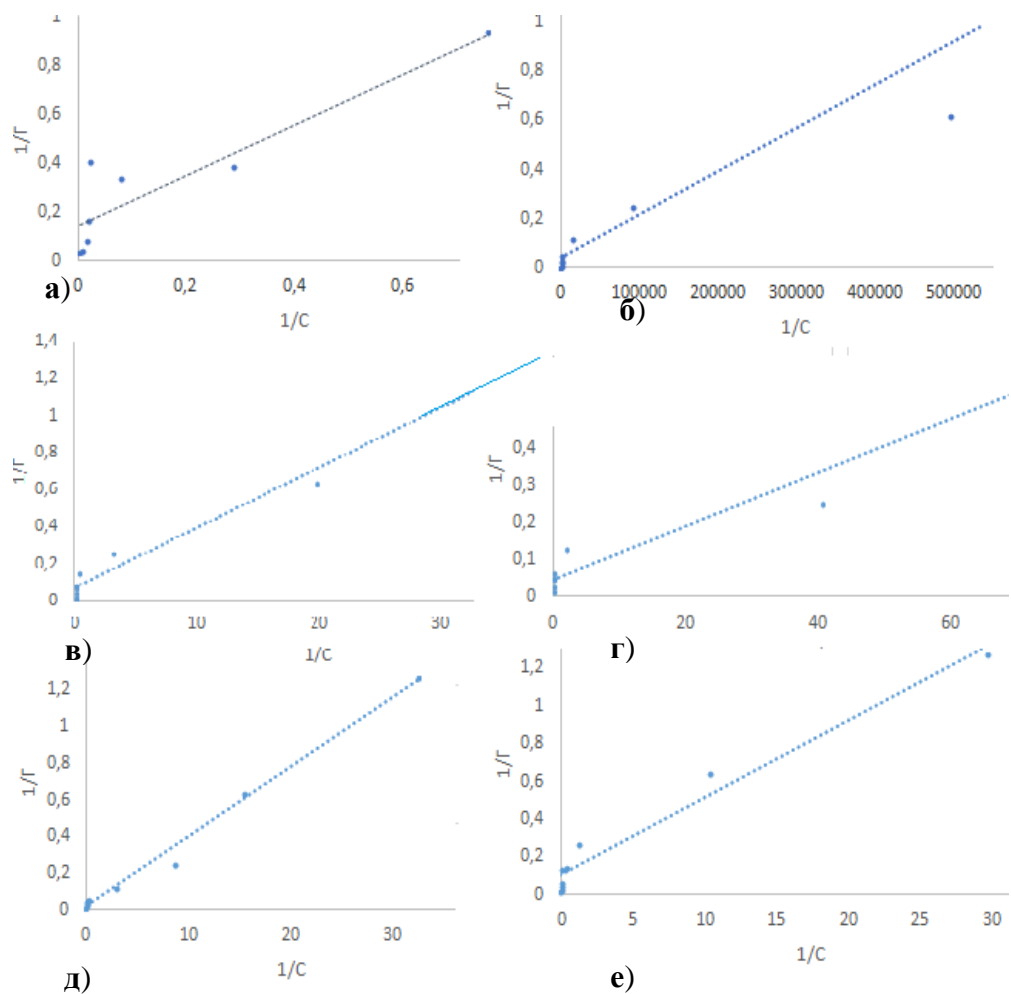


Рис. 5. Изотермы Фрейндлиха адсорбции Cd^{2+} ГК (а); ГNa (б); АУ (в); ФС (г); ЛФ (д) и ПС (е) при pH 5.



Р и с . 8. Зависимость $\Gamma_{\text{пр}}$ исследуемых препаратов от значений pH модельных растворов



Р и с . 6. Изотермы Лэнгмюра адсорбции Cd^{2+} ГК (а); ГNa (б); АУ (в); ФС (г); ЛФ (д) и ПС (е) при pH 6.

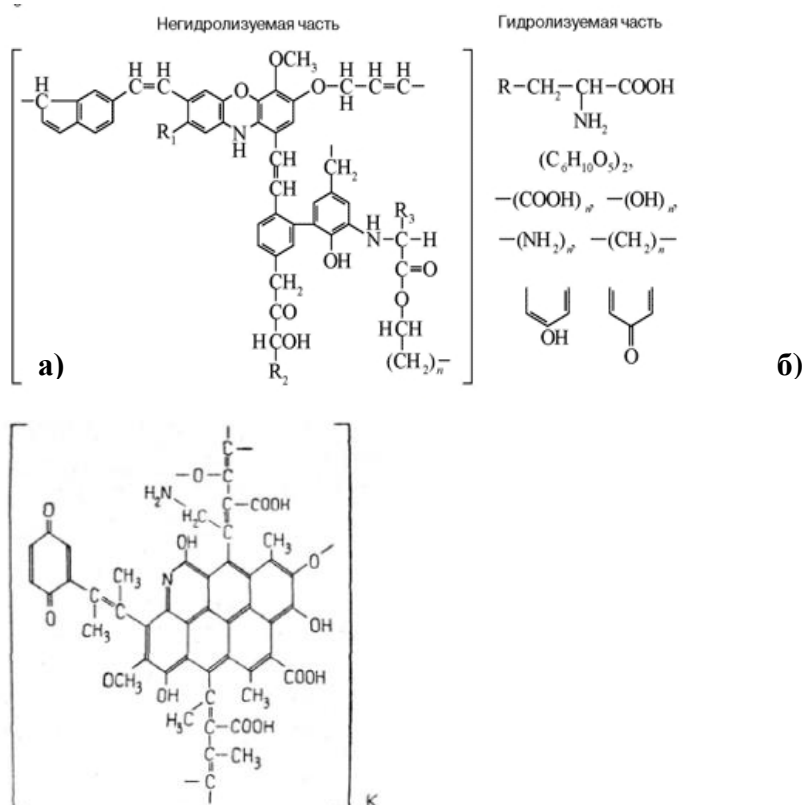
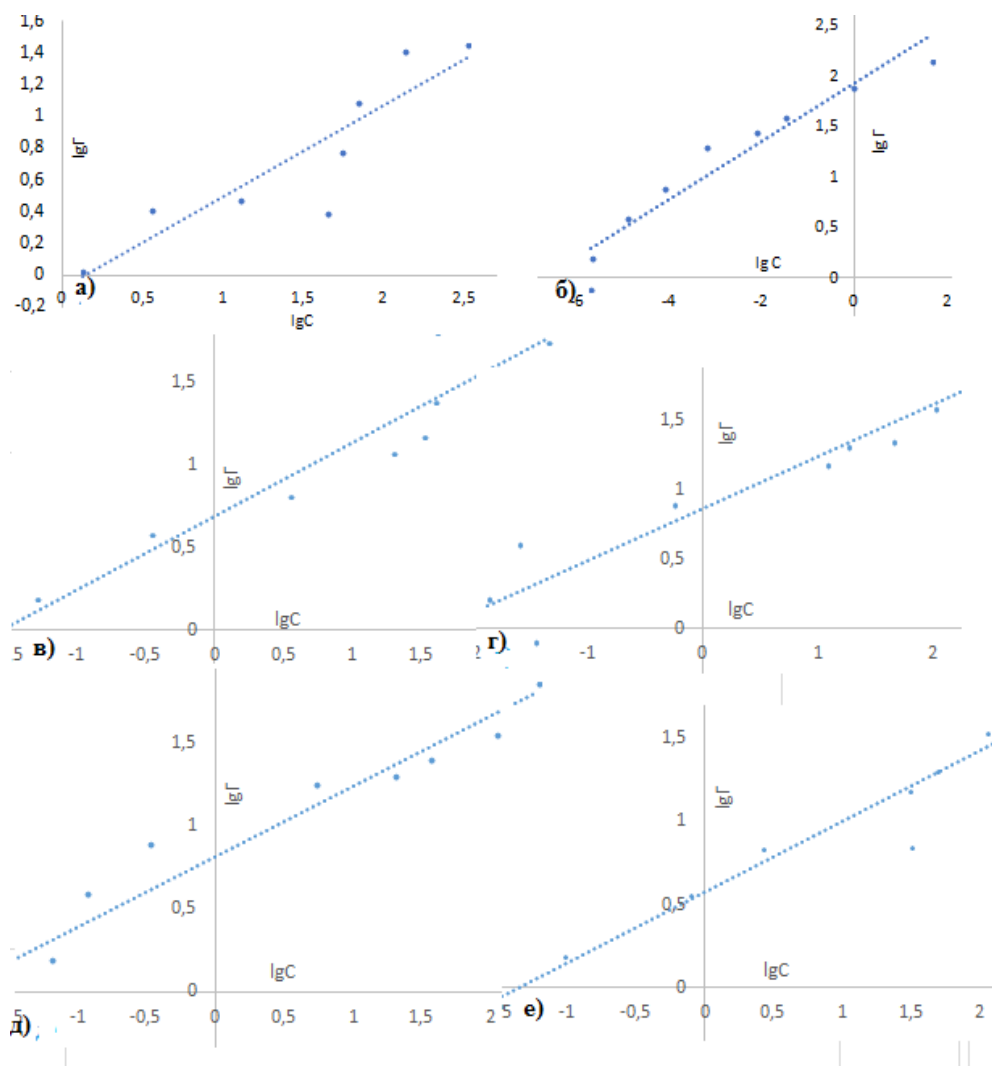
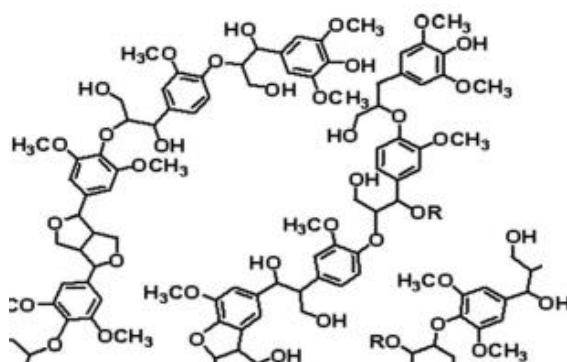


Рис. 9. Формулы структурных ячеек ГК по Орову(а) и Комиссарову(б).

Проблемы, возникшие, при определении предельной адсорбции и, как следствие, расчетных коэффициентов сорбции коммерческих препаратов энтеросорбентов, вероятно, связаны с их химическим строением. Так, например, ФС и ЛФ – препараты, разработанные на основе гидролизного лигнина (рис 10), который являясь полифункциональным биополимером, в отличие от ГК и ГNa содержит большие количества метоксильных, спиртовых и фенольных гидроксильных групп, по отношению к карбонильным и карбоксильным группам. Значения констант ионизации спиртовых и феноксильных групп в структуре этих соединений смещены в область более высоких значений pH, а соответственно их диссоциация в сильноокислой среде и, как следствие, участие в хемосорбции ионов Cd^{2+} выражено в меньшей степени по сравнению с препаратами ГК и ГNa, содержащих значительные количества $-COOH$, рKa которых имеют меньшие значения.



Р и с . 7. Изотермы Фрейндлиха адсорбции Cd^{2+} ГК (а); ГNa (б); АУ (в); ФС (г); ЛФ (д) и ПС (е) при pH 5.

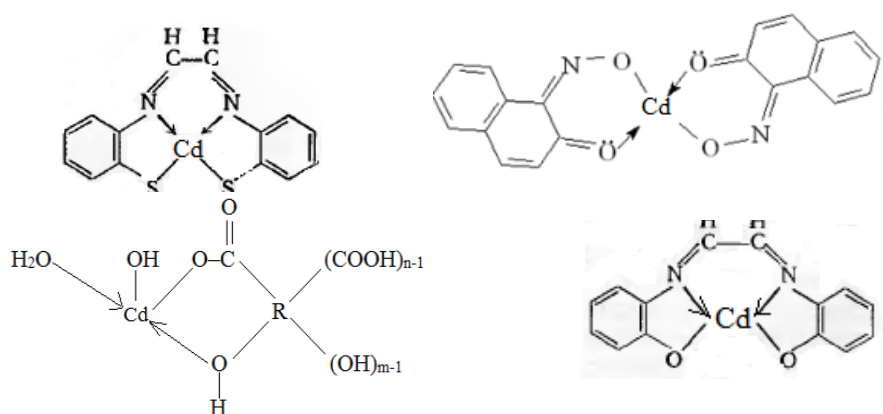


Р и с . 10. Структурный фрагмент лигнина

Более высокая степень связывания ионов кадмия ГНа из растворов, по сравнению с ГК и другими препаратами, вероятно, связана с наличием большего количества свободных заряженных группировок, прежде всего карбоксильных групп, диссоциирующих при разных значениях рН. Максимальная сорбционная емкость ГНа определена при рН 3, хотя в этих же условиях предельная адсорбция ГК значительно снижена, т.к. в сильноокислой среде последние образуют водонерастворимую фазу в виде коллоидов, которые коагулируют с образованием гелеобразных осадков. Значения рН около 3 соответствуют точке, при которой происходит необратимое коагулирование коллоидов и полимеризация молекул гуминовых кислот. При этом блокируются их реакционные центры, резко снижается площадь поверхности раздела фаз и падает их физико-химическая и биологическая активность.

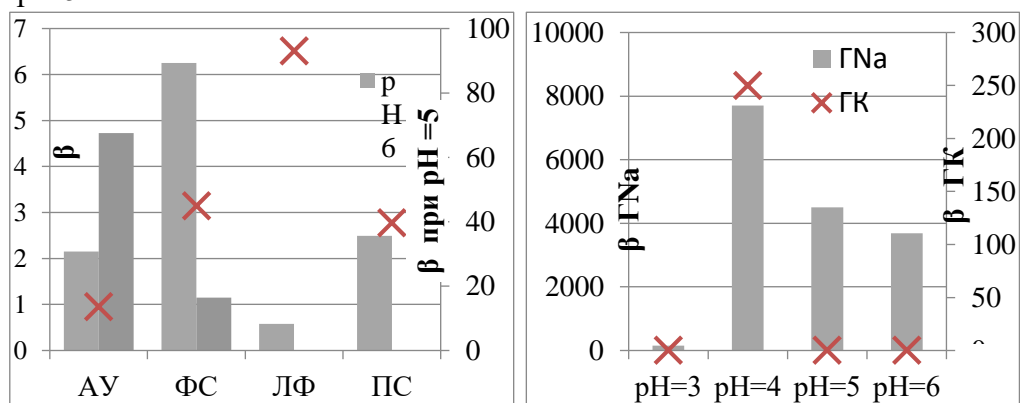
В случае использования ГНа в качестве сорбента, не смотря на то, что равновесие в сильноокислой среде также будет смещаться в сторону образования слабой кислоты: $\text{ГНа} + \text{H}^+ = \text{ГК} + \text{Na}^+$, возрастает доля фонового электролита в растворе, который влияет на величину кажущейся константы ионизации карбоксильной группы, смещая её величину в более кислую область. Таким образом, в сильноокислой среде препараты ГНа обеспечивают присутствие большего количества заряженных анионных функциональных групп, способных к хелатированию, чем в случае с нативной ГК.

Вероятно, механизмы связывания ионов кадмия ГК и их солями могут быть весьма разнообразны. Наряду с образованием ГК с ионами кадмия простых гетерополярных солей – гуматов, высока вероятность комплексно-гетерополярных солей с участием различных функциональных групп. Кислородсодержащие (-COOH, фенольные и спиртовые -OH, а также >C=O), серосодержащие, а также аминные (-NH₂), амидные (-CO-NH₂) и иминные (>C=NH) функциональные группы, входящие в состав ГК, могут образовывать стабильные комплексы с ионами Cd²⁺ по типу следующих структур:

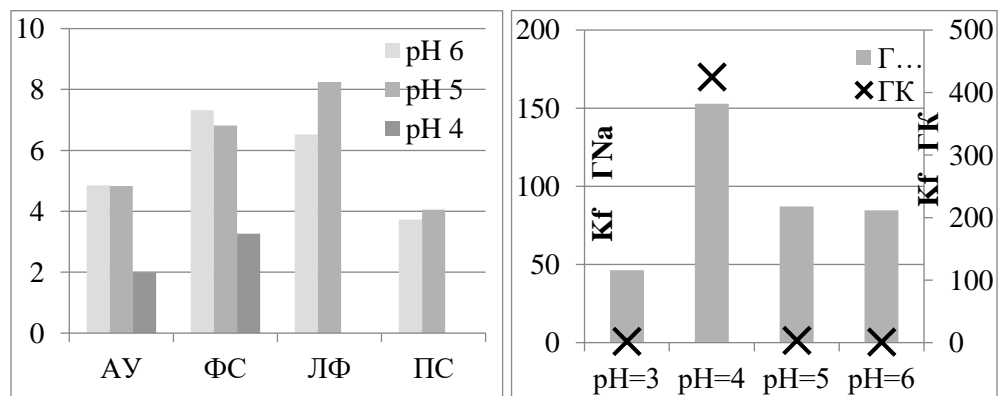


Незначительное увеличение $\Gamma_{\text{пр}} \text{ГNa}$ в слабокислой среде (рН 6) возможно происходит за счет вовлечения в процесс химической сорбции функциональных групп, проявляющих меньшие кислотные свойства, например, карбоксильных групп, сопряженных с сильными электронодонорными группировками, такими как $-\text{NH}_2$ или $-\text{OH}$.

Показатели, характеризующие средство сорбента к сорбтиву и прочность связывания ионов Cd^{2+} , для ГNa и ГК отличаются от таковых для других энтеросорбентов значительно (рис. 11 а,б; рис. 12 а,б), при этом максимальные значения данных показателей в отношении Cd^{2+} отмечаются при рН 4 для обоих препаратов. Для коммерческих препаратов, напротив, некоторое увеличение коэффициента аффинитета и Kf (за исключением ФС) происходит с уменьшением кислотности раствора и максимальные значения этих коэффициентов отмечаются при рН 5.



Р и с . 11. Зависимость средства энтеросорбентов (а) и препаратов ГК и ГNa (б) от значений рН исследуемых модельных растворов



Р и с . 12. Зависимость прочности связывания (Kf) ионов Cd^{2+} энтеросорбентов (а) и препаратов ГК и ГNa (б) от значений рН модельного раствора.

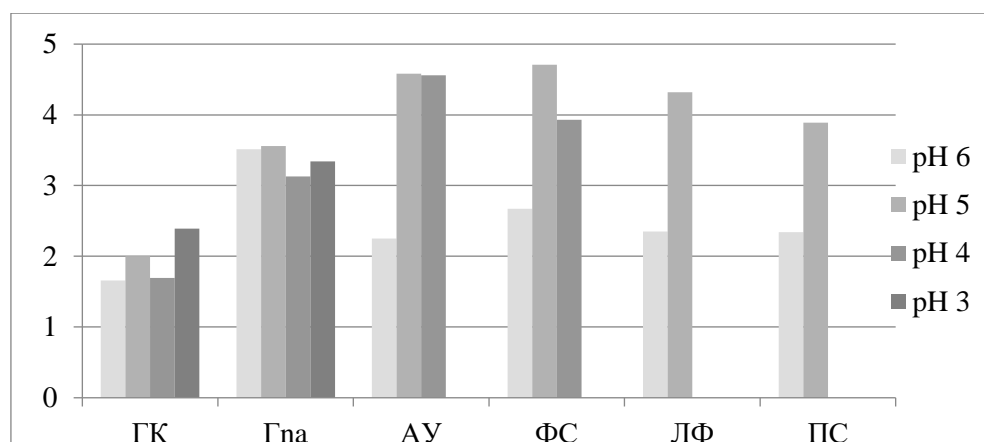


Рис. 13. Зависимость скорости связывания (n) ионов Cd²⁺ различными препаратами от значений pH модельного раствора

Скорость связывания ионов кадмия у коммерческих препаратов энтеросорбентов резко возрастает при изменении pH от 6 до 5, тогда как для препаратов ГК и ГNa коэффициент n с ростом pH меняется незначительно и составляет 1,7-2,4 и 3,1-3,6 для ГК и ГNa, соответственно (рис 13). Увеличение интенсивности сорбции Cd²⁺ препаратами ГNa в 1,5-1,8 раз по сравнению с ГК вероятно является результатом наличия большего количества активных центров связывания в препаратах солей и меньшей конкуренции Cd²⁺ и H⁺ в растворе.

Выводы

1. Значения предельной адсорбции ионов Cd²⁺ препаратами гуминовых кислот и их солей в целом имеют тенденцию к увеличению с повышением кислотности растворов.

2. Более высокая степень связывания ионов кадмия ГNa из растворов, по сравнению с ГК и другими препаратами, вероятно, связана с наличием большего количества свободных заряженных группировок, прежде всего карбоксильных групп, диссоциирующих при разных значениях pH. Максимальная сорбционная емкость ГNa определена при pH 3, хотя в этих же условиях предельная адсорбция ГК значительно снижена, т.к. в сильнокислой среде последние образуют водонерастворимую фазу в виде коллоидов, которые коагулируют с образованием гелеобразных осадков. В сильнокислой среде препараты ГNa обеспечивают присутствие большего количества заряженных анионных функциональных групп, способных к хелатированию, чем в случае с нативной ГК.

3. Показатели, характеризующие сродство сорбента к сорбтиву и прочность связывания ионов Cd²⁺, для ГNa и ГК отличаются от таковых для других энтеросорбентов значительно. Максимальные значения данных показателей в отношении Cd²⁺ отмечаются при pH 4 для обоих препаратов.

4. Скорость связывания ионов кадмия для препаратов ГК и ГНа с ростом рН меняется незначительно и составляет 1,7-2,4 и 3,1-3,6 для ГК и ГНа, соответственно. Увеличение интенсивности сорбции Cd^{2+} препаратами ГНа в 1,5-1,8 раз по сравнению с ГК, вероятно, является результатом наличия большего количества активных центров связывания в препаратах солей и меньшей конкуренции Cd^{2+} и H^+ в растворе.

Список литературы

1. Магомедова З.Н., Мусиев Д.Р. // Современные проблемы АПК и перспективы его развития: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Махачкала, 2017. С. 195–199.
2. Грищенко И.И., Зорькина А.В., Басенко И.Н., Якимова К.А., Минаков Г.Р., Соловьев Е.Б., Евтушенко О.В., Минаков Д.Р. // Университетская клиника. 2017. №4-1. С. 42–46.
3. Фазлыева А.С., Даукаев Р.А., Каримов Д.О // Медицина труда и экология человека. 2022. №1. С. 220–235.
4. Штанько Д.С., Кинжаев Д.А., Чвякин В.А. // Инновационные научные исследования. 2022. №4-2. С. 16–22.
5. Ахметова Э.И. // Неделя науки. Ставрополь, 2019. С. 531–532.
6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ГН 2.1.6.695-98.
7. Н.Б. Чагина*, Е.А. Айвазова**, Н.Л. Иванченко*, Е.А. Варакин*, Н.А. Соболев* // Вестник САФУ. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 4. С. 57–68
8. Крайнов П.Е. Влияние // Современные наукоемкие технологии. 2014. №5-2. С. 102–103.
9. Сартаков М.П., Якубенюк С.А., Якубенюк А.А., Шпынова Н.В. // Образование, наука и техника: XXI век: сборник научных статей. Ханты-Мансийск, 2011. Т. 9. С. 44–48.
10. Сартаков М.П. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. №4. С. 60–64.
11. Переломов М.В., Атрощенко Ю.М., Грачёва К.А. // Modern Science. 2020. №2. С. 19–23.
12. Зыкова И.В., Исаков В.А. // Наукосфера. 2021. №9-2. С. 87–91.
13. Зыкова И.В., Исаков В.А. // Наукосфера. 2021. №9-2. С. 92–96.
14. Федорова А.А., Соколова И.В., Селянина С.Б. // Торфяные болота Сибири: функционирование, ресурсы, восстановление: материалы IV международной научной конференции. Томск, 2021. С. 126–127.
15. Маслов С.Г., Гарновская Л.И. // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. №1. С. 98–102.
16. Переломов Л.В., Пинский Д.А., Переломова И.В., Атрощенко Ю.М. // Агрехимия. 2019. №2. С. 66–74.
17. Зеленцов В.И., Дацко Т.Я. // Электронная обработка материалов. 2012. Т. 48(6). С. 65–73.
18. Портнова А.В., Вольхин В.В. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. №4. С. 71–75.
19. Кузнецова И.А., Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Бровко О.С. // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2013. №1. С. 37–42.

20. Когут Б.М., Кононова М.М., Титова Н.А., Дьяконова К.В., Александрова И.В. // Гуминовые вещества в биосфере: тезисы докладов III Всероссийской конференции. СПб., 2005. С. 13–16.
21. Перминова И.В., Жилин Д.М. // Зеленая химия в России: сб. статей. М., 2004. С.146-162.
22. Корельская Т.А., Майер Л.В., Журавлева Е.А., Айвазова Е.А., Онохина Н.А., Зубова Н.А. // Вестник Тверского государственного университета. 2021. №3. С. 167-174.
23. Корельская Т.А., Майер Л.В., Журавлева Е.А., Айвазова Е.А., Онохина Н.А., Зубова Н.А. // Химия растительного сырья. 2023. №1. С.333-341.

Об авторах:

КОРЕЛЬСКАЯ Татьяна Александровна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры общей и биоорганической химии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск, e-mail: takorelskaya@yandex.ru

ЖУРАВЛЕВА Екатерина Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и биоорганической химии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск, e-mail: zhuravleva.ek20@yandex.ru

АЙВАЗОВА Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой общей и биоорганической химии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск, e-mail: ayvazowa@yandex.ru

ОНОХИНА Наталья Александровна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры общей и биоорганической химии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск, e-mail: onohina.76@mai.ru

ЗУБОВА Наталья Александровна – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей и биоорганической химии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск, e-mail: natalja.matonina@yandex.ru

COMPARISON OF THE SORPTION ABILITY OF SOME ENTEROSORBENTS, PREPARATIONS OF HUMIC ACIDS AND THEIR SODIUM SALTS IN RELATION TO Cd²⁺ IONS

**E.A. Aivazova, E.A. Zhuravleva, T.A. Korelskaya,
N.A. Onokhina, N.A. Zubova**

Northern State Medical University, Arkhangelsk

In the course of the work, studies were carried out on the sorption properties of humic acids (HA), sodium humates (HNa), as well as some enterosorbents widely used in the pharmaceutical market, such as activated carbon (AC),

filtrum (FS), lactofiltrum (LF), polysorb (PS), with respect to ions cadmium. Mathematical models of Langmuir and Freundlich were used to quantify the sorption capacity of drugs. Calculation of mathematical models of Langmuir and Freundlich sorption, as well as statistical data processing were carried out using Microsoft Office for Windows, Excel, 2016 software. The strength of the bonds between the sorbent and the sorbent was evaluated using the binding coefficient, the maximum adsorption rate, the binding rate of cadmium ions by various sorbents were estimated, and the pH at which the sorption capacity is maximum for humic and acids, their sodium salts and comparison of these indicators with commercial enterosorbents AC, FS, LF and PS were determined. The values of the marginal adsorption of Cd²⁺ ions by humic acid preparations and their salts generally tend to increase with increasing acidity of solutions. The degree of binding of cadmium ions of HNa from solutions is higher, compared with HA and other drugs. The indicators characterizing the affinity of the sorbent to the sorbent and the binding strength of Cd²⁺ ions for GNa and HA differ significantly from those for other enterosorbents. The rate of binding of cadmium ions for HA and HNa preparations changes slightly with increasing pH.
Keywords: *humic acids, sodium humates, toxicants, adsorption effects, degree of extraction.*

Дата поступления в редакцию: 12.09.2023.
Дата принятия в печать: 03.10.2023.