

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ЭНТЕРОСОРБЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННОГО МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ДИСБАЛАНСА ЖИТЕЛЕЙ МЕГАПОЛИСОВ

© Тунакова Ю.А.¹, Галимова А.Р.¹, Валиев В.С.², Файзуллин Р.И.³, Шром И.А.¹

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)

Россия, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10

² Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ)

Россия, 420089, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Даурская, д. 28

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии (ИФМиБ КФУ)

Россия, 420055, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 74

Цель – проведение сравнительной оценки сорбционной емкости полимерных энтеросорбентов и минерально-го энтеросорбента на основе цеолита по отношению к приоритетным микроэлементам.

Материалы и методы. Для определения сорбционной емкости в качестве объектов исследования использовались наиболее широко представленные на потребительском рынке биополимерные энтеросорбенты (на основе целлюлозы, пектина, альгинатов, хитина и хитозана). В качестве биополимеров использовались полисахариды, уникальным свойством которых является способность поглощать большое количество воды и в присутствии двухвалентных катионов металлов образовывать гели. Оценка эффективности использования минерального энтеросорбента на основе цеолита проводилась путем сопоставления сорбционной емкости. Предложен способ оценки эффективности энтеросорбентов с помощью растворов, на основе молочной сыворотки, как типичной биологической жидкости, моделирующей гастродуоденальное содержимое организма человека.

Результаты. Описана опасность постоянного поступления металлов из различных источников загрязнения на территории мегаполиса. Для защиты организма от полиметаллического воздействия обосновано использование метода энтеросорбции – лечебно-профилактическое мероприятия, целью которого является прекращение действия токсинов различного происхождения и их элиминация из организма. Обосновано применение энтеросорбентов для коррекции микроэлементного дисбаланса организма жителя мегаполиса в условиях полиметаллического загрязнения среды обитания.

В результате проведенного исследования выбранных энтеросорбентов в одинаковых условиях установлено, что наибольшую эффективность имеет энтеросорбент на основе хитозана, второе место занимают энтеросорбенты на основе хитина и пектина. Остальные исследуемые энтеросорбенты имеют значительно меньшую сорбционную емкость.

Заключение. Рассматриваемый минеральный энтеросорбент на основе цеолита является слабым энтеросорбентом по отношению к эссенциальным металлам и достаточно эффективным по отношению к токсичным металлам на примере кадмия. То есть, препарат относится к группе селективных энтеросорбентов. Для повышения эффективности его применения необходима комбинация с более эффективными неселективными сорбционными материалами, такими как активированный уголь или хитозан.

Ключевые слова: металлы; микроэлементный дисбаланс; детоксикация; энтеросорбция; полимерные энтеросорбенты; минеральные энтеросорбенты.

Тунакова Юлия Алексеевна – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой общей химии и экологии, КНИТУ-КАИ, г. Казань. ORCID iD: 0000-0002-8826-8639. E-mail: juliaprof@mail.ru

Галимова Алина Раисовна – канд. хим. наук, доцент кафедры общей химии и экологии, КНИТУ-КАИ, г. Казань. ORCID iD: 0000-0002-7535-1724. E-mail: ARGalimova@kai.ru

Валиев Всеволод Сергеевич – ст. науч. сотрудник лаборатории биогеохимии, ИПЭН АН РТ, г. Казань. ORCID iD: 0000-0002-8848-5326. E-mail: podrost@mail.ru

Файзуллин Рашат Искандарович – канд. мед. наук, доцент, зам. директора по научной деятельности, ИФМиБ КФУ, г. Казань. ORCID iD: 0000-0001-6033-6356. E-mail: RFajzullin@kpfu.ru

Шром Илья Александрович – аспирант кафедры общей химии и экологии, КНИТУ-КАИ, г. Казань. ORCID iD: 0009-0006-6175-406X. E-mail: shromilya@yandex.ru

Для нормального функционирования систем организма человека в нем должен поддерживаться определенный баланс микроэлементов [1-3]. В настоящее время доказана связь между микроэлементным составом внутренних сред организма человека и геохимическими условия-

ми среды обитания [4-13]. Опасность постоянного поступления металлов из внешней среды преимущественно связана с ингибированием ферментативной активности путем инактивации кофакторов и с нарушением структуры и функций биологических мембран, за счет инициации

свободно-радикального окисления их липидного слоя [13-15].

Если поглощение микроэлементов преобладает над выведением, то важнейшие системы организма подвергаются хроническому токсическому действию, поэтому в профилактике подобных состояний особое значение приобретает их элиминация с использованием энтеросорбентов. Энтеросорбентами называют широко используемый в России класс сорбентов с сорбционно-детоксикационными свойствами. Основной характеристикой энтеросорбента является показатель сорбционной емкости — то количество вещества, которое может поглотить сорбент на единицу своей массы.

Литературные данные в основном касаются клинической эффективности энтеросорбентов, тогда как информации об их сорбционной емкости крайне недостаточно [16-19]. Ставилась задача исследования сорбционной емкости по отношению к приоритетным микроэлементам, считающихся наиболее безопасными в использовании, биополимерных энтеросорбентов, обладающих высокой биологической активностью и совместимостью с тканями человека, полимерного и минерального энтеросорбентов. Для оценки сорбционной емкости того или иного энтеросорбента целесообразно применять специальные растворы, моделирующие сложный состав внутренних биологических жидкостей организма. Традиционно в качестве модельных растворов, рекомендуемых для определения сорбционной емкости, используют водные или кислотные (моно-) поликатионные растворы, не учитывающие сложный состав той среды, в которой и происходит сорбция в живом организме [15-21]. В качестве основы для растворов, имитирующих сложный состав различных жидкостей организма человека и максимально моделирующих условия его внутренней среды, предложена молочная сыворотка. Молочная сыворотка является типичной биологической жидкостью, представляющей собой сложную многокомпонентную матрицу, состоящую из воды с растворенными в ней минералами и органической фракции (белки, углеводы, жиры и витамины) [22-25].

Целью работы было проведение сравнительной оценки сорбционной емкости полимерных энтеросорбентов и минерального энтеросорбента на основе цеолита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки сорбционной емкости биополимерных, полимерного и минерального энтеросорбентов были выбраны их основные типы:

- цитрусовый пектин — состоит из полисахаридов, являющихся одними из главных компонентов межклеточного вещества растений. Цитрусовый пектин характеризуется наибольшим процентным содержанием метоксильных групп и отсутствием в составе микроэлементов, которые могут исказить результаты эксперимента;
- альгинат кальция — содержит биополимеры (некрахмальные полисахариды и лигнин) и кальций;
- хитозан — получен из панцирей крабов и содержит природные полисахариды с высокой липотропной адсорбционной способностью;
- микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) — содержит биополимеры, полученные в результате химической деструкции древесной целлюлозы и упорядоченные в виде кристаллической структуры;
- микотон — содержит смесь биополимеров хитина, глюканов и меланинов.

Наряду с биополимерными энтеросорбентами используются минеральные энтеросорбенты на основе алюмосиликатов или цеолитов, например, литовит, цеосорб, смекта и некоторые другие [4-5]. Получают их, как правило, из натурального природного сырья и наряду с экономической доступностью они обладают высокими сорбционными свойствами [6], удобством лекарственной формы, безопасностью для слизистых оболочек организма и хорошей эвакуацией из кишечника.

Навески энтеросорбентов весом 2 г помещались в пробирки на 50 мл и заливались 10-кратным объемом (20 мл) модельных растворов заданной концентрации, приготовленных на основе молочной сыворотки. Модельные растворы готовились разведением азотнокислых солей Zn(II), Cu(II), Fe(II) и Cd(II) молочной сывороткой в соответствующих пропорциях, обеспечивающих концентрации порядка 0,5; 1,0; 2,5; 3,5; 5,0 мг/л. Молочная сыворотка использовалась нами в качестве сложной многокомпонентной матрицы, наилучшим образом моделирующей гастродуоденальное содержимое при экспериментальном определении сорбционной емкости энтеросорбентов.

Концентрации микроэлементов в растворе подбирались таким образом, чтобы охватить весь диапазон физиологических флуктуаций их концентраций в жидких средах организма человека. Исключением являются типичные токсичные микроэлементы, так как нормальные их концентрации в организме очень низки, поэтому при их определении был сформирован ряд модельных растворов с условными концентрациями.

Полученные смеси модельных растворов и тестируемых энтеросорбентов тщательно перемешивались, отстаивались в течение суток и отфильтровывались через бумажный фильтр ТУ 6-09-1678-95 с замером конечных объемов полученных таким образом фильтратов. Затем в них методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии определялись остаточные концентрации металлов, согласно [21, 22]. Полученные значения пересчитывали на абсолютное количество адсорбированного металла по формуле:

$$Q_{me} = (C_1 \times V_1 - C_2 \times V_2) / m,$$

где C_1 , C_2 – концентрации металла до и после сорбции, мкг/мл;

V_1 , V_2 – объемы растворов до и после сорбции, мл;

m – масса сорбента (навеска), г.

Результат пересчитывался на абсолютное количество адсорбированного микроэлемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования выбранных энтеросорбентов установлены следующие закономерности: наибольшую эффективность продемонстрировал хитозан, который является самым дорогостоящим энтеросорбентом. Второе место как по сорбционной емкости, так и по стоимости занимают микотон и цитру-

совый пектин, третье – МКЦ, цеолит и альгинат кальция. Установлено, что альгинат кальция обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к кадмию и цинку и совершенно неэффективен по отношению к железу и меди. Это можно объяснить тем, что он получен из ламинарий, богатых именно этими микроэлементами. Отчасти это подтверждается и аналитическими результатами – при взаимодействии модельных растворов и препарата альгината кальция концентрация железа и меди в растворах возрастает.

При тестировании энтеросорбента на основе цеолита также, как и при тестировании альгината кальция, отмечено значительное увеличение концентраций катионов железа в растворах после их обработки сорбентом. Объясняется это тем, что препарат цеолита имеет в своем составе растворимые ионы этого металла, переходящие в раствор в результате ионного обмена с медью, цинком или кадмием.

По полученным данным построены изотермы Ленгмюра, отражающие зависимости между количеством адсорбированного металла и концентрациями металла в растворах. На рисунках 1-4 представлены сравнительные кривые зависимостей величины адсорбции от концентрации катионов металлов в растворах, полученные для разных энтеросорбентов.

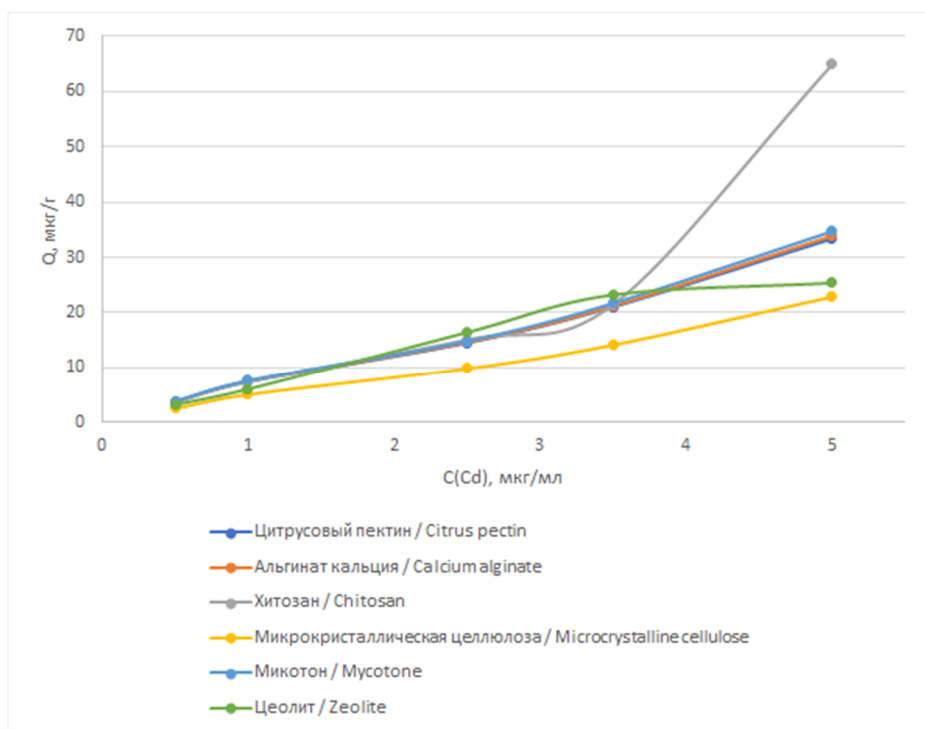


Рис. 1. Зависимость величины адсорбции кадмия (Q , мкг/г) от концентрации катионов металлов в растворах.

Fig. 1. Dependence of the adsorption value of cadmium (Q , $\mu\text{g/g}$) on the concentration of metal cations in solutions.

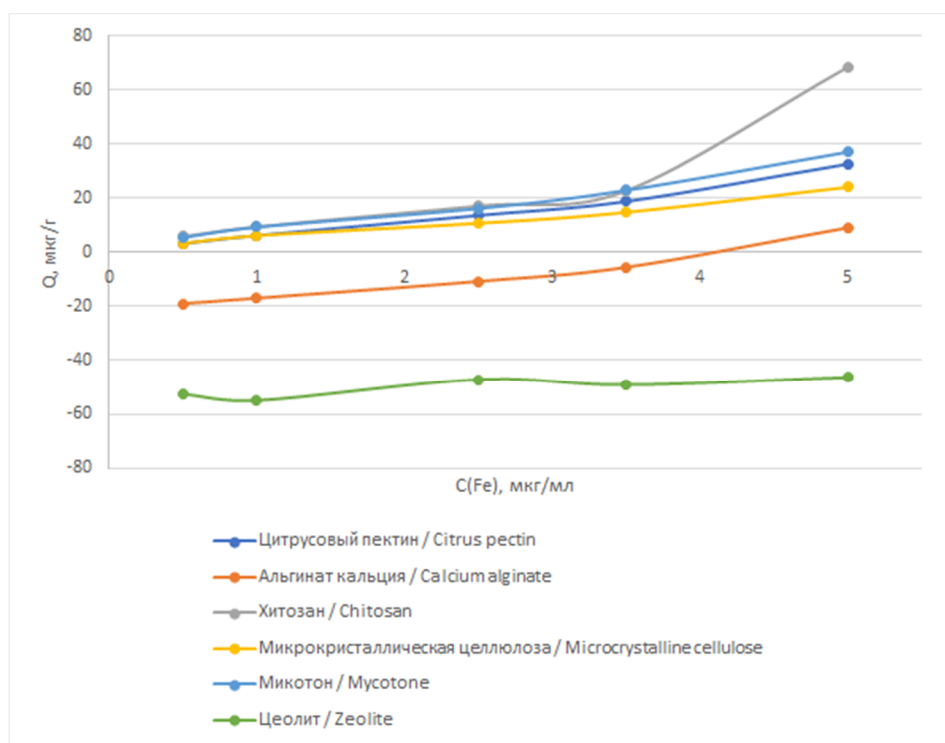


Рис. 2. Зависимость величины адсорбции железа (Q , мкг/г) от концентрации катионов металлов в растворах.

Fig. 2. Dependence of the value of iron adsorption (Q , µg/g) on the concentration of metal cations in solutions.

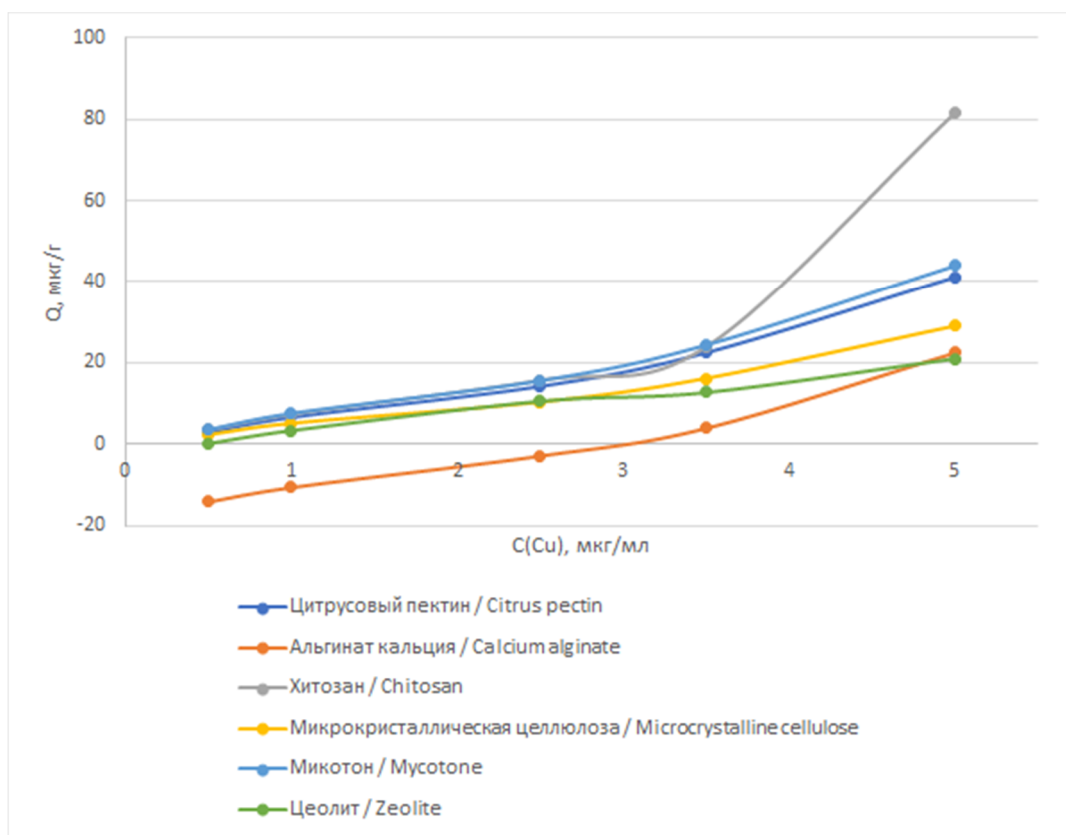


Рис. 3. Зависимость величины адсорбции меди (Q , мкг/г) от концентрации катионов металлов в растворах.

Fig. 3. Dependence of the copper adsorption value (Q , µg/g) on the concentration of metal cations in solutions.

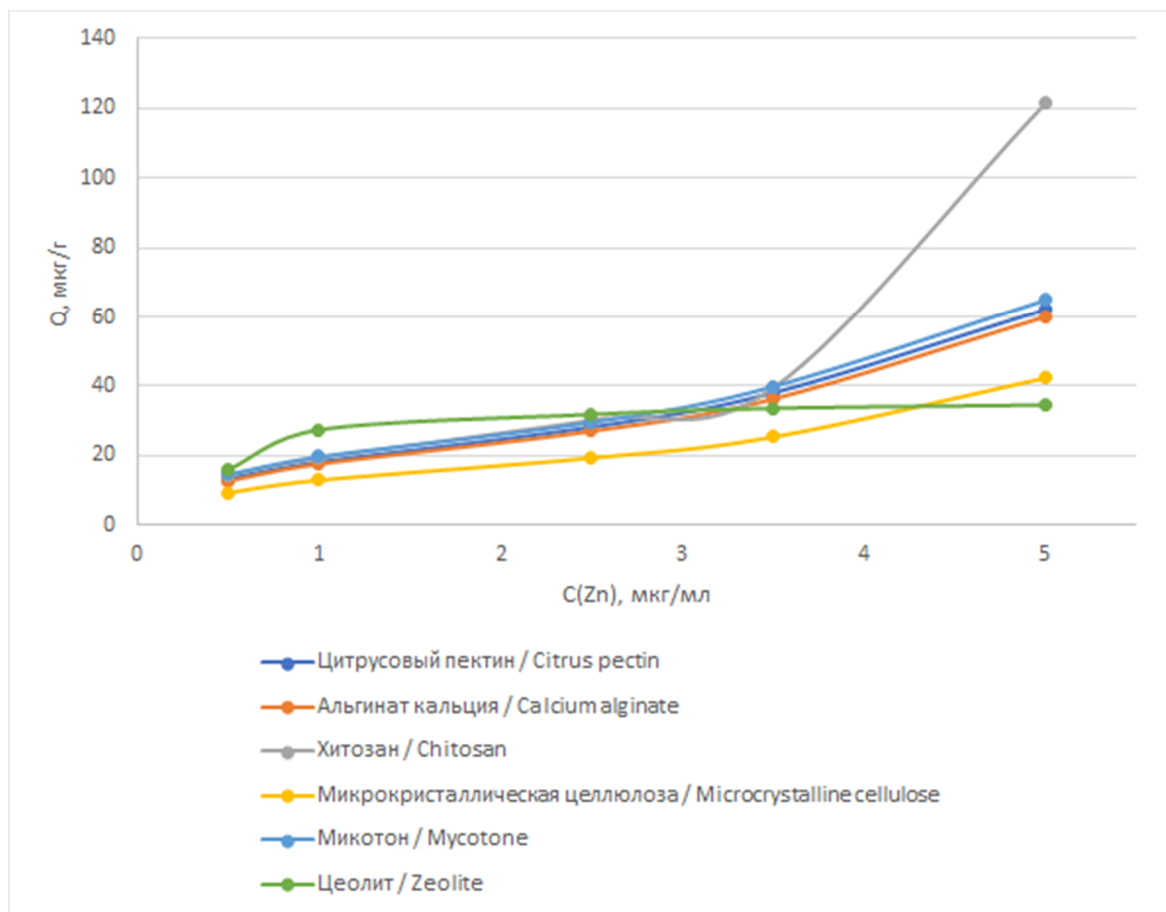


Рис. 4. Зависимость величины адсорбции цинка (Q , мкг/г) от концентрации катионов металлов в растворах.

Fig. 4. Dependence of the zinc adsorption value (Q , µg/g) on the concentration of metal cations in solutions.

В целом, в результате проведенного исследования установлено, что характер изотерм, полученных при тестировании разных энтеросорбентов, схож для всех исследуемых металлов (кроме железа). При этом установлено отклонение от классической изотермы адсорбции: на всех участках кривой наблюдается прямо пропорциональная зависимость между концентрацией ионов металлов в растворе и количеством сорбата. Возможно, это связано с относительно низкими концентрациями металлов в модельных растворах, при которых реализуется лишь начальный этап классической изотермы сорбции.

Классическая изотерма формируется на трех этапах – три участка кривой: на первом этапе, при малых концентрациях адсорбируемое количество прямо пропорционально концентрации растворенного вещества, на втором этапе, при дальнейшем повышении концентрации вещества в растворе его адсорбируемое количество резко увеличивается, а на третьем этапе происходит насыщение сорбента и кривая постепенно выходит на «плато».

При сравнении эффективности энтеросорбентов на основе различных сорбционных ма-

териалов, измеренной в схожих условиях, было показано (табл. 1), что сорбционная способность исследуемого препарата цеолита по отношению к кадмию превосходит МКЦ, по отношению к меди практически не уступает препарату альгината кальция, однако по отношению к цинку и, особенно, к железу препарат следует признать неэффективным.

Таким образом, рассмотренный препарат на основе цеолита является слабым энтеросорбентом по отношению к эссенциальным металлам и достаточно эффективным по отношению к таким токсичным элементам, как кадмий. То есть препарат относится к группе селективных энтеросорбентов. Возможно самостоятельное его использование в качестве биологически активной добавки, улучшающей баланс микроэлементов во внутренней среде организма. Для использования в качестве эффективного энтеросорбента необходима комбинация данного препарата с более эффективными неселективными сорбционными материалами, такими как активированный уголь или хитозан.

Таблица 1

Table 1

Эффективность сорбции металлов различными энтеросорбентами в пересчете на 1 г сорбента (мкг/г)

The efficiency of metal sorption by various enterosorbents in terms of 1 g of sorbent (µg/g)

Сорбент Sorbent	Cd	Fe	Cu	Zn
Цитрусовый пектин / Citrus Pectin (a)	3.71	3.29	2.86	13.36
Цитрусовый пектин / Citrus Pectin (b)	7.36	6.259	6.566	18.156
Цитрусовый пектин / Citrus Pectin (c)	14.54	13.66	14.19	28.22
Цитрусовый пектин / Citrus Pectin (d)	21.05	18.85	22.44	38.05
Цитрусовый пектин / Citrus Pectin (e)	33.38	32.66	41.16	62.14
Альгинат кальция / Calcium alginate (a)	3.696	-18.88	-14.23	12.74
Альгинат кальция / Calcium alginate (b)	7.47	-16.88	-10.68	17.62
Альгинат кальция / Calcium alginate (c)	14.63	-10.67	-2.95	27.04
Альгинат кальция / Calcium alginate (d)	21.21	-5.46	3.85	36.31
Альгинат кальция / Calcium alginate (e)	33.9	9.11	22.39	60.01
Хитозан / Chitosan (a)	3.79	5.85	3.44	14.49
Хитозан / Chitosan (b)	7.45	9.45	7.32	19.28
Хитозан / Chitosan (c)	15.11	17.14	15.68	30.18
Хитозан / Chitosan (d)	21.46	22.79	23.91	39.48
Хитозан / Chitosan (e)	64.83	68.49	81.61	121.39
МКЦ / Microcrystalline cellulose (a)	2.49	3.39	2.32	9.37
МКЦ / Microcrystalline cellulose (b)	5.06	6.18	5.13	12.95
МКЦ / Microcrystalline cellulose (c)	9.82	10.76	10.34	19.3464
МКЦ / Microcrystalline cellulose (d)	14.15	14.84	16.15	25.36
МКЦ / Microcrystalline cellulose (e)	22.86	24.08	29.05	42.31
Микотон / Mycotone (a)	3.83	5.52	3.52	14.57
Микотон / Mycotone (b)	7.59	9.35	7.54	19.64
Микотон / Mycotone (c)	14.85	16.23	15.57	29.56
Микотон / Mycotone (d)	21.71	22.94	24.34	39.84
Микотон / Mycotone (e)	34.69	37.08	43.94	64.89
Цеолит / Zeolite (a)	3.21	-52.61	0.11	15.97
Цеолит / Zeolite (b)	6.06	-54.99	3.31	27.43
Цеолит / Zeolite (c)	16.43	-47.09	10.51	31.86
Цеолит / Zeolite (d)	23.22	-49.12	12.68	33.62
Цеолит / Zeolite (e)	25.36	-46.27	20.96	34.57

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 075-03-2024-067 от 17.01.2024 г. (номер темы FZSU-2023-0005).

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Тунакова Ю.А. – разработка концепции; Галимова А.Р. – проведение экспериментальных исследований; Валиев В.С. – планирование исследования; Файзуллин Р.И. – анализ и интерпретация полученных данных; Шром И.А. – анализ литературы.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Скальный А.В. *Химические элементы в физиологии и экологии человека*. Москва: Мир. Оникс 21 век, 2004. 216 с. [Skal'nyj A.V. *Chemical elements in human physiology and ecology*. Moscow: Mir. Oniks 21 vek, 2002. 216 p. (in Russ.)].
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. *Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология*. Москва: Медицина, 1991, 496 с. [Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. *Microelementoses of humans: etiology, classification, organopathology*. Moscow: Medicinka, 1991, 496 p. (in Russ.)].
3. Насолодин В.В., Широков В.Л., Люсин А.В. Взаимодействие микроэлементов в процессе их обмена в организме. *Вопросы питания*. 1999;(4):10-13 [Nasolodin V.V., Shirokov V.L., Lyusin A.V. Interaction of microelements in the process of their metabo-

- lism in the body. *Problems of Nutrition*. 1999;(4):10-13 (in Russ.)).
4. Исаков А.Ж., Перминова Л.А., Засорин Б.В., Зеленина Л.В. Региональные особенности биологической реакции детей на воздействие факторов внешней среды. *Гигиена и санитария*. 2009;(4):49-51 [Isakov A.Zh., Perminova L.A., Zasorin B.V. Regional features of children's biological reactions to environmental factors. *Gigiena i Sanitaria*. 2009;(4):49-51 (in Russ.)]. EDN: KWUEVH.
5. Луцевич И.Н., Иванченко М.Н., Жуков В.В. Влияние климатогеографических факторов на распределение тяжелых металлов в окружающей среде и здоровье детей. *Гигиена и санитария*. 2010;(3):63-66 [Lutsevich I.N., Ivanchenko M.N., Zhukov V.V. Influence of climatic and geographic factors on the environmental distribution of heavy metals and children's health. *Gigiena i Sanitaria*. 2010;(3):63-66. (in Russ.)]. EDN: MUCGAT.
6. Coelho P., Costa S., Silva S., Walter A., Ranville J., Sousa A.C., Costa C., Coelho M., et al. Metal(loid) levels in biological matrices from human populations exposed to mining contamination – Panasqueira Mine (Portugal). *J Toxicol Environ Health A*. 2012;75(13-15):893-908. DOI: 10.1080/15287394.2012.690705.
7. Kodaira H., Ohno K., Fukase N., Kuroda M., Adachi S., Kikuchi M., Asada Y. Release and systemic accumulation of heavy metals from preformed crowns used in restoration of primary teeth. *J Oral Sci*. 2013;55(2):161-165. DOI: 10.2334/josnurd.55.161.
8. Phan K., Phan S., Huoy L., Suy B., Wong M.H., Hashim J.H., Mohamed Yasin M.S., Aljunid S.M., et al. Assessing mixed trace elements in groundwater and their health risk of residents living in the Mekong River basin of Cambodia. *Environmental Pollution*. 2013;183:111-119.
9. Qu C.S., Ma Z.W., Yang J. Human Exposure Pathways of Heavy Metals in a Lead-Zinc Mining Area, Jiangsu Province, China. *PLoS One*. 2012;7(11):e46793. DOI: 10.1371/journal.pone.0046793.
10. Чашин В.П., Аскарова З.Ф., Ларионова Т.К., Кудашева А.Р. Элементный статус работников горнообогатительного предприятия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2007;(10):9-13 [Chashchin V.P., Askarova Z.F., Larionova T.K., Kulasheva A.R. Chemical hair analysis in ore-dressing and processing plant workers. *Med Tr Prom Ekol*. 2007;(10):9-13 (in Russ.)]. EDN: KGBMMN.
11. Li Y., Zhang X., Yang L., Li H. Levels of Cd, Pb, As, Hg, and Se in Hair of Residents Living in Villages Around Fenghuang Polymetallic Mine, Southwestern China. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2012;89(1):125-128. DOI: 10.1007/s00128-012-0650-7.
12. Dongarrà G., Varrica D., Tamburo E., D'Andrea D. Trace elements in scalp hair of children living in differing environmental contexts in Sicily (Italy). *Environ Toxicol Pharmacol*. 2012;34(2):160-169. DOI: 10.1016/j.etap.2012.03.005.
13. Ozmen H., Akarsu S., Polat F., Cukurovali A. The levels of calcium and magnesium, and of selected trace elements, in whole blood and scalp hair of children with growth retardation. *Iran J Pediatr*. 2013;23(2):125-130.
14. Uetake K., Tanaka T. Hair mineral analysis by X-ray fluorescence spectrometry: associations with body fat. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2013;22(2):257-260. DOI: 10.6133/apjcn.2013.22.2.14.
15. Rowbottom L., Mole T., Roberts N. Unexpected hypozinaemia in a patient with discharging empyema that proved resistant to replacement therapy. *BMJ Case Rep*. 2013;2013:bcr2012007774. DOI: 10.1136/bcr-2012-007774.
16. Урсова Н.И., Горелов А.В. Современный взгляд на проблему энтеросорбции. Оптимальный подход к выбору препарата. *Русский медицинский журнал*. 2006;14(19):1391-1396 [Ursova N.I., Gorelov A.V. Modern view on the problem of enterosorption. Optimal approach to choosing a drug. *Russian Medical Journal*. 2006;14(19):1391-1396 (in Russ.)]. URL: https://www.rmj.ru/articles/pediatric/Sovremennyy_vzglyad_na_problemu_enterosorbicii_Optimalnyy_podhod_k_vyboru_preparata/
17. Палий И.Г., Резниченко И.Г. Современный взгляд на проблему энтеросорбции: выбор оптимального препарата. *Новости медицины и фармации*. 2007;(11):15-17 [Palij I.G., Reznichenko I.G. A modern view on the problem of enterosorption: choosing the optimal drug. *Medical and Pharmaceutical News*. 2007;(11):15-17 (in Russ.)].
18. Беляков Н.А., Соломенников А.В. Энтеросорбция – механизм лечебного действия. *Эфферентная терапия*. 1997;3(2):22-26 [Belyakov N.A., Solomennikov A.V. Enterosorption – the mechanism of therapeutic action. *Efferentnaya terapiya*. 1997;3(2):22-26 (in Russ.)].
19. Щербakov П.Л., Петухов В.А. Сравнительная эффективность энтеросорбентов при диарее у детей. *Вопросы современной педиатрии*. 2005;4(4):86-90 [Shcherbakov P.L., Petukhov V.A. Comparative effectiveness of enterosorbents for diarrhea in children. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2005;4(4):86-90 (in Russ.)]. EDN: PHXWLB.
20. Reshetnikov V.I. Evaluation of the adsorption capacity of enterosorbents and related medicinal preparations. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2003;37(5):246-251. EDN: SVZOFL.
21. Веприкова Е.В., Щипко М.Л., Кузнецова С.А. Получение энтеросорбентов из отходов окорки берёзы. *Химия растительного сырья*. 2005;(1):65-70 [Veprikova E.V., Shchipko M.L., Kuznecova S.A. Obtaining enterosorbents from birch bark waste. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2005;(1):65-70 (in Russ.)].
22. Попов А.М., Драпкина Г.С., Постолова М.А. Разработка технологической схемы производства сухой гранулированной молочной сыворотки методом скатывания. *Фундаментальные исследования*. 2004;(3):129 [Popov A.M., Drapkina G.S., Postolova M.A. Development of a technological scheme for the production of dry granulated whey using the rolling method. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2004;(3):129 (in Russ.)]. EDN: IUJFXJ.
23. Ренвик А. Комбинационная токсикология и взаимодействие между добавками. *Вопросы питания*. 2000;(3):32-37 [Renvik A. Combination

- toxicology and interactions between additives. *Problems of Nutrition*. 2000;(3):32-37 (in Russ.)].
24. Водяницкий Ю.Н., Рогова О.Б., Пинский Д.Л. Применение уравнений Лэнгмюра и Дубинина-Радушкевича для описания поглощения меди и цинка дерново-карбонатной почвой. *Почвоведение*. 2000;(11):1391-1398 [Vodyanickij YU.N., Rogova O.B., Pinskiy D.L. Application of Langmuir and Dubinin-Radushkevich equations to describe the absorption of copper and zinc by sod-carbonate soil. *Eurasian Soil Science*. 2000;(11):1391-1398 (in Russ.)].
25. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. *Коллоидная химия*. Санкт-Петербург: Лань, 2003. 336 с. [Gel'fman M.I., Kovalevich O.V., Yustratov V.P. *Colloidal chemistry*. Sankt-Peterburg: Lan', 2003. 336 p. (in Russ.)].

Поступила в редакцию 26.09.2024
Подписана в печать 25.04.2025

Для цитирования: Тунакова Ю.А., Галимова А.Р., Валиев В.С., Файзуллин Р.И., Шром И.А. Исследование сорбционной емкости энтеросорбентов, используемых для коррекции экологически обусловленного микроэлементного дисбаланса жителей мегаполисов. *Человек и его здоровье*. 2025;28(1):51–59. DOI: 10.21626/vestnik/2025-1/07. EDN: RNHMMT.

STUDY OF THE SORPTION CAPACITY OF ENTEROSORBENTS USED TO CORRECT ENVIRONMENTALLY CAUSED MICROELEMENT IMBALANCE OF RESIDENTS OF MEGACITIES

© Tunakova Yu.A.¹, Galimova A.R.¹, Valiev V.S.², Faizullin R.I.³, Shrom I.A.¹

¹ **Kazan National Research Technical University named after. A.N. Tupolev-KAI (KNITU-KAI)**

10, Karl Marx Str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420111, Russian Federation

² **Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (IPEN AS RT)**

28, Daurskaya Str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420089, Russian Federation

³ **Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Fundamental Medicine and Biology (IFMB KFU)**

74, Karl Marx Str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420055, Russian Federation

Objective – to conduct a comparative assessment of the sorption capacity of polymer enterosorbents and a mineral enterosorbent based on zeolite in relation to priority microelements.

Materials and methods. To determine the sorption capacity, the most widely available biopolymer enterosorbents on the consumer market (based on cellulose, pectin, alginates, chitin and chitosan) were used as objects of study. Polysaccharides were used as biopolymers, the unique property of which is the ability to absorb large amounts of water and form gels in the presence of divalent metal cations. The efficiency of using a mineral enterosorbent based on zeolite was assessed by comparing the sorption capacity. A method for assessing the efficiency of enterosorbents using solutions based on whey, as a typical biological fluid simulating the gastroduodenal contents of the human body, is proposed.

Results. The danger of constant metal intake from various sources of pollution in the territory of a megalopolis is described. To protect the body from polymetallic exposure, the use of the enterosorption method is justified – a therapeutic and preventive measure aimed at stopping the action of toxins of various origins and eliminating them from the body. The use of enterosorbents to correct the microelement imbalance of the body of a megalopolis resident in conditions of polymetallic pollution of the environment is justified.

As a result of the study of the selected enterosorbents under the same conditions, it was found that the chitosan-based enterosorbent has the greatest efficiency, the second place is occupied by chitin and pectin-based enterosorbents. The rest of the studied enterosorbents have a significantly lower sorption capacity.

Conclusion. The considered mineral enterosorbent based on zeolite is a weak enterosorbent in relation to essential metals and quite effective in relation to toxic metals, for example, cadmium. That is, the drug belongs to the group of selective enterosorbents. To increase the effectiveness of its use, a combination with more effective non-selective sorption materials, such as activated carbon or chitosan, is necessary.

Keywords: metals; microelement imbalance; detoxification; enterosorption; polymeric enterosorbents; mineral enterosorbents.

Tunakova Yulia A. – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department of General Chemistry and Ecology, KNITU-KAI, Kazan, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-8826-8639. E-mail: juliaprof@mail.ru

Galimova Alina R. – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor at the Department of General Chemistry and Ecology, KNITU-KAI, Kazan, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-7535-1724. E-mail: ARGalimova@kai.ru

Valiev Vsevolod S. – senior researcher at the Laboratory of Biogeochemistry, IPEN AS RT, Kazan, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0002-8848-5326. E-mail: podrost@mail.ru

Faizullin Rashat I. – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Deputy Director for Scientific Activities, IFMiB KFU, Kazan, Russian Federation. ORCID iD: 0000-0001-6033-6356. E-mail: RIFaizullin@kpfu.ru

Shrom Ilya A. – Post-graduate student at the Department of General Chemistry and Ecology, KNITU-KAI, Kazan, Russian Federation. ORCID iD: 0009-0006-6175-406X. E-mail: shromilya@yandex.ru

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

SOURCE OF FINANCING

The scientific research was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the fulfillment of obligations under Agreement No. 075-03-2024-067 dated 17.01.2024 (topic number FZSU-2023-0005).

AUTHORS CONTRIBUTION

Tunakova Yu.A. – concept development; Galimova A.R. – experimental studies; Valiev V.S. – research planning; Faizullin R.I. – analysis and interpretation of the obtained data; Shrom I.A. – literature analysis.

Received 26.09.2024

Accepted 25.04.2025

For citation: Tunakova Yu.A., Galimova A.R., Valiev V.S., Faizullin R.I., Shrom I.A. Study of the sorption capacity of enterosorbents used to correct environmentally caused microelement imbalance of residents of megacities. *Humans and their health*. 2025;28(1):51–59. DOI: 10.21626/vestnik/2025-1/07. EDN: RNHMMT.