

Научная статья
УДК 542.06+661.68.183
DOI: 10.37102/0869-7698_2023_232_06_12
EDN: LROKBM

Сравнительная характеристика кремнийсодержащих продуктов из отходов производства риса и коммерческих энтеросорбентов

А.В. Ковехова✉, О.Д. Арефьева, А.Е. Панасенко, Л.А. Земнухова

Анна Васильевна Ковехова

кандидат химических наук, научный сотрудник, доцент
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
kovekhova.av@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7179-2736>

Ольга Дмитриевна Арефьева

доктор химических наук, доцент, научный сотрудник, профессор
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
arefeva.od@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8001-4370>

Александр Евгеньевич Панасенко

кандидат химических наук, заведующий лабораторией
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
panasenko@ich.dvo.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7875-6068>

Людмила Алексеевна Земнухова

доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
LAZ@ich.dvo.ru
<http://orcid.org/0009-0003-5301-9119>

Аннотация. Проведено сравнение образцов аморфного кремнезема и алюмосиликата натрия, полученных из отходов производства риса (шелухи и соломы) и надземной части хвощей (полевого и зимующего), с реактивом диоксида кремния и коммерческими образцами кремнийсодержащих энтеросорбентов по ряду физико-химических показателей. Установлено фазовое состояние образцов (аморфное и аморфно-кристаллическое), описаны их ИК-спектры поглощения в области 400–4000 см⁻¹, найдены значения насыпной плотности (от 28 до 631 кг/м³), рН водной вытяжки (от 5,6 до 9,6) и содержания

водорастворимых веществ (от 7 до 35 %). Определена адсорбционная активность всех исследованных образцов по метиленовому синему в нейтральной среде (3–264 мг/г), а для энтеросорбентов и алюмосиликата натрия из соломы риса – в среде желудка (рН 2) и двенадцатиперстной кишки (рН 7,5). Показано, что адсорбционная активность кремнийсодержащих сорбентов из растительного сырья сопоставима с коммерческими энтеросорбентами.

Ключевые слова: солома риса, шелуха риса, хвощи, аморфный диоксид кремния, алюмосиликат натрия, энтеросорбенты, сорбция

Для цитирования: Ковехова А.В., Арефьева О.Д., Панасенко А.Е., Земнухова Л.А. Сравнительная характеристика кремнийсодержащих продуктов из отходов производства риса и коммерческих энтеросорбентов // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 6. С. 135–145. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_232_06_12.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН (проект № FWFN(0205)-2022-0002, тема 2, раздел 5).

Original article

Comparative characteristics of silicon-containing products from rice production waste and commercial enterosorbents

A.V. Kovekhova, O.D. Arefieva, A.E. Panasenko, L.A. Zemnukhova

Anna V. Kovekhova

Candidate of Sciences in Chemistry, Research Scientist, Associate Professor
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
kovekhova.av@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7179-2736>

Olga D. Arefieva

Doctor of Sciences in Chemistry, Associate Professor, Research Scientist, Professor
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
arefeva.od@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8001-4370>

Aleksandr E. Panasenko

Candidate of Sciences in Chemistry, Head of the Laboratory
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
panasenko@ich.dvo.ru
<http://orcid.org/0000-0001-7875-6068>

Lyudmila A. Zemnukhova

Doctor of Sciences in Chemistry, Professor, Chief Researcher
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
LAZ@ich.dvo.ru
<http://orcid.org/0009-0003-5301-9119>

Abstract. The paper presents a comparative characterization of samples of amorphous silica and sodium aluminosilicate obtained from rice production waste (husks and straw) and the above-ground part of horsetails (field and wintering), with a silicon dioxide reagent and commercial samples of silicon-containing enterosorbents according to a number of physico-chemical parameters. The phase state of the samples (amorphous and amorphous-crystalline) was established, their IR absorption spectra in the region of 400–4000 cm^{-1} were described, the values of bulk density (from 28 to 631 kg/m^3), the pH of the aqueous extract (from 5.6 to 9.6) and the content of water-soluble substances (from 7 to 35 %) were found. The adsorption activity of all the studied samples was determined by methylene blue in a neutral medium (3–264 mg/g), and for enterosorbents and sodium aluminosilicate from rice straw – in the stomach (pH 2) and duodenum (pH 7.5). It is shown that the adsorption activity of silicon-containing sorbents from plant raw materials is comparable to commercial enterosorbents.

Keywords: rice straw, rice husk, horsetails, amorphous silicon dioxide, sodium aluminosilicate, enterosorbents, sorption

For citation: Kovekhova A.V., Arefieva O.D., Panasenko A.E., Zemnukhova L.A. Comparative characteristics of silicon-containing products from rice production waste and commercial enterosorbents. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(6):135-145. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_232_06_12.

Funding. This work was supported by the state task of the Institute of Chemistry of the FEB RAS FWFN(0205)-2022-0002, Topic 2, Section 5.

Введение

В последние годы значительно возросло применение энтеросорбентов в лечении и профилактике различных заболеваний, так как это простой и доступный метод эфферентной терапии. Как следствие на фармакологическом рынке возросло количество энтеросорбентов, в том числе на основе аморфного диоксида кремния и алюмосиликатов.

Эффективный энтеросорбент должен быть нетоксичным, нетравматичным для слизистых оболочек и с хорошей эвакуацией из кишечника, обладать высокой сорбционной емкостью по отношению к удаляемым из желудочно-кишечного тракта компонентам. В практике хорошо зарекомендовали себя препараты, содержащие лактулозу, представляющую собой синтетический структурный изомер молочного сахара – лактозы. Идеальным сочетанием в лекарственном средстве является комплекс из пребиотика (лактuloза) и сорбента, обладающий суммарным эффектом, направленным на формирование оптимального микробиоценоза кишечника [1]. Новая ступень в развитии энтеросорбции связана с работами по синтезу и изучению микросферных энтеросорбентов на основе синтетических активированных углей. В работе [2] было показано, что таким образом можно снизить повреждающее действие порошкообразных углеродных (угольных) сорбентов на слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта.

Наиболее распространенными кремнийсодержащими природными энтеросорбентами являются глина и глиноземы [3]. Глины хорошо сорбируют коронавирусы, ротавирусы, нейтрализуют бактериальные токсины и подавляют эпителиальный синтез. Кроме каолина, в медицине используются смектиты (глинистые минералы из группы набухающих слоистых силикатов) и гидроалюмосиликаты. Препарат «Смекта», выпускаемый на основе диоктаэдрического смектита, оказывает антацидное и антипротеолитическое действие, способствует росту сахаролитической

и подавлению патогенной протеолитической микрофлоры кишечника [4]. На фармацевтическом рынке России представлены такие кремнийсодержащие энтеросорбенты, как «Вайтсорб», «Полифепан», «Энтеросгель», «Полисорб», «Смекта», «Силикс», «Белый уголь» и др.

Постоянно идет поиск новых эффективных энтеросорбентов из растительного сырья, в том числе отходов растениеводства, образующихся в значительных количествах на предприятиях по переработке сельскохозяйственных культур, например целлюлозы, плодовых косточек, шелухи и соломы риса, скорлупы и пустых стручков сельскохозяйственных культур, а также из отходов деревообработки – лигнина и коры [5, 6].

Настоящая работа посвящена сравнительной оценке кремнийсодержащих продуктов, выделенных из отходов производства риса и надземной части хвощей, с коммерческими энтеросорбентами.

Экспериментальная часть

В табл. 1 представлены исследованные в данной работе образцы аморфного кремнезема и алюмосиликата натрия, полученных из шелухи (РШ) и соломы риса (РС), надземной части хвощей, в сравнении с реактивом «Диоксид кремния» и коммерческими энтеросорбентами.

Таблица 1

Объекты исследования

Образец	Состав	Источник
Аморфный диоксид кремния		
РШ-Т	Диоксид кремния	Рисовая шелуха (Краснодарский край)
РС-Т	Диоксид кремния	Рисовая солома, сорт Ханкайский 429 (Приморский край)
ХП-Т	Диоксид кремния	Хвощ полевой (пос. Яковлевка, Приморский край)
ХЗ-Т	Диоксид кремния	Хвощ зимующий (пос. Вольно-Надеждинское, Приморский край)
РШ-О	Диоксид кремния, осажденный из щелочного гидролизата рисовой шелухи	Рисовая шелуха (Краснодарский край)
РС-О	Диоксид кремния, осажденный из щелочного гидролизата рисовой соломы	Рисовая солома, сорт Луговой (Приморский край)
ДК-Р	Кислота кремниевая $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Реактив «Кремниевая кислота» ГОСТ 4214-78, ООО «АО РЕАХИМ»
Алюмосиликаты		
Al(Na)-РС	Алюмосиликат натрия	Рисовая солома, сорт Луговой (Приморский край)
Коммерческие энтеросорбенты		
БУ	Диоксид кремния, микрокристаллическая целлюлоза, сахарная пудра, крахмал картофельный	«Белый уголь», ООО «Внешторг Фарма», Россия
В/с	Диоксид кремния коллоидный, микрокристаллическая целлюлоза, крахмал картофельный, магния стеарат	«Вайтсорб», ООО «НПО ФармВИЛАР», Россия
П/с	Кремния диоксид коллоидный	«Полисорб», АО «Полисорб», Россия

Образец	Состав	Источник
См	Смектит диоктаэдрический, ароматизаторы (ванильный), декстрозы моногидрат, натрия сахаринат	«Смекта», «Бофур Ипсен Индастри», Франция
Э/г	Полиметилсилоксана полигидрат, вода очищенная	«Энтеросгель», ООО «ТНК Силма», Россия

Получение образцов

Образцы аморфного диоксида кремния (РШ-Т, РС-Т, ХП-Т, ХЗ-Т) готовили следующим образом: навеску сырья (шелуха, солома, надземная часть хвоща) обрабатывали 0,1 М раствором соляной кислоты при 90 °С в течение 1 ч (Т : Ж = 1 : 13), отфильтровывали, промывали водой, сушили, а затем карбонизировали при 300 °С для удаления летучих веществ, после чего дожигали в муфельной печи при 600–700 °С до постоянной массы, согласно [5–7].

Образцы аморфного осажденного диоксида кремния (РШ-О, РС-О) получали по методике, описанной в [7], обрабатывая навеску сырья 1 М раствором NaOH при 90 °С в течение 1 ч (Т : Ж = 1 : 13). Остаток сырья отделяли от раствора, из которого затем осаждали кремнезем с помощью концентрированной соляной кислоты при рН 6. Полученный осадок подвергали термической обработке при 550–600 °С в течение 30–60 мин, охлаждали и обрабатывали 1 М раствором гидроксида натрия при 40–60 °С с получением раствора ортосиликата натрия. Диоксид кремния осаждали соляной кислотой, отделяли от раствора, промывали до полного удаления хлорида натрия и сушили на воздухе при 60 °С.

Для получения Al(Na)-PC¹ навеску соломы помещали в термостойкий стакан и добавляли 1 М раствор гидроксида натрия в соотношении Т : Ж = 1 : 13. Гидролиз проводили при нагревании до 90 °С в течение 1 ч при перемешивании. Гидролизат собирали в коническую колбу и добавляли раствор Al₂(SO₄)₃·18H₂O из расчета 32 г соли на 100 г рисовой соломы. Далее значение рН раствора в колбе доводили до 7 раствором HCl (конц.) с контролем по рН-метру. Осажденный алюмосиликат натрия промывали декантацией дистиллированной водой до бесцветных промывных вод и высушивали в сушильном шкафу при 105 °С.

Исследование образцов

Для установления элементного состава использовали атомно-абсорбционный спектрофотометр AA-780 (Shimadzu, Япония). ИК-спектры поглощения регистрировали на Фурье-спектрометре Vertex 70 (Bruker, Германия) в области 400–4000 см⁻¹ в бромиде калия. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили на дифрактометре D8 Advance (Bruker, Германия). Идентифицировали фазы с использованием программы EVA по базе данных PDF-2.

Определение массовой доли водорастворимых веществ и значения рН водной вытяжки образцов проводили по ГОСТ 4453-74, насыпную плотность – по ГОСТ 8269.0-97.

Сорбционную активность образцов по метиленовому синему (МС) устанавливали в соответствии с ГОСТ 4453-74.

¹ Патент № 2557607 РФ. Способ получения алюмосиликатов натрия или калия из кремнийсодержащего растительного сырья / Земнухова Л.А., Федорищева Г.А., Цой Е.А., Арефьева О.Д. Заявл. 03.04.2014; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.

Моделирование среды желудка и двенадцатиперстной кишки

Среду желудка и двенадцатиперстной кишки моделировали в первом приближении 0,9%-м раствором NaCl, который доводили соответственно соляной кислотой до pH 2,0 или гидрокарбонатом натрия до pH 7,5. Исходя из длительности пребывания сорбента в соответствующем отделе желудочно-кишечного тракта, было выбрано время перемешивания 1 ч [8].

Испытание адсорбционной активности выполняли в два этапа с применением маркерного вещества, в качестве которого использован МС, в концентрации 0,01 и 0,1 %. Для проведения адсорбции к двум сериям точных навесок сорбентов по 0,08 г прибавляли по 10 мл раствора маркерного вещества с pH 2 для одной серии и pH 7,5 для другой, перемешивали на приборе для встряхивания (130 об./мин) и декантировали. В декантате определяли остаточную концентрацию маркерного вещества при длине волны 400 нм.

Результаты и их обсуждение

По результатам элементного анализа (табл. 2) количество SiO₂ в образцах из растительного сырья находится в диапазоне от 78 до 99 %. Количество основного вещества SiO₂ в РШ-Т и РС-Т выше, чем в ХП-Т, ХЗ-Т и в осажденном диоксиде кремния (РШ-О и РС-О). В коммерческих энтеросорбентах содержание SiO₂ составляет 90–99 %. В образцах кремнезема из растительного сырья присутствуют примеси в основном щелочных, щелочноземельных металлов, алюминия и железа. Можно отметить значительные количества кальция в образцах, полученных из хвощей. В препарате «Белый уголь» есть примеси натрия и магния, в «Энтеросгеле» – алюминия. Если сравнивать алюмосиликат из соломы риса и «Смекту», то доля SiO₂ в Al(Na)-РС больше. Также можно отметить значительные количества алюминия, магния и железа в «Смекте».

Таблица 2

Химический состав исследуемых образцов, %

Образец	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO
Аморфный диоксид кремния							
РШ-Т	99,79	0,04	0,08	н/о	0,06	0,02	0,11
РС-Т	97,54	0,07	0,15	н/о	0,08	0,16	0,08
ХП-Т	81,10	н/о	н/о	1,82	н/о	н/о	5,49
ХЗ-Т	78,20	н/о	н/о	4,10	1,10	н/о	11,40
РШ-О	80,83	н/о	0,51	0,07	н/о	н/о	0,01
РС-О	77,52	н/о	0,02	0,04	н/о	н/о	н/о
Алюмосиликаты							
Al(Na)-РС	54,30	31,80	13,10	0,75	н/о	н/о	н/о
Коммерческие энтеросорбенты							
БУ	90,10	н/о	2,80	н/о	3,80	н/о	н/о
В/с	95,40	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
П/с	99,50	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
См	65,80	21,40	н/о	н/о	5,30	4,00	2,20
Э/г	92,20	2,90	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о

Примечание. н/о – не обнаружено.

ИК-спектры РШ-Т, РС-Т, ХП-Т, ХЗ-Т, ДК-Р, В/с, Б/у и П/с сходны между собой, полосы поглощения в них соответствуют, согласно [9], деформационным (465–471 см⁻¹) и валентным (симметричным и асимметричным) колебаниям (798–808 и 1092–1103 см⁻¹) силоксановых связей Si–O–Si (табл. 3). Полоса поглощения в спектре образца ДК-Р при 953 см⁻¹ отвечает колебаниям силанольных связей Si–ОН. В ИК-спектре Al(Na)-РС наблюдается полоса при 710 см⁻¹, отвечающая колебаниям связей Al–O–Si. Положение полос поглощения асимметричных валентных колебаний связи Si–O в «Смекте» и в Al(Na)-РС смещено в области 1026 см⁻¹ и 1022 см⁻¹ соответственно, что характерно для алюмосиликатов. В ИК-спектре «Энтеросгеля», в соответствии с составом препарата (табл. 1), полосы поглощения при 1275 и 783 см⁻¹ отвечают колебаниям связи Si–CH₃, а дублет при 1136–1036 см⁻¹ – колебаниям связей Si–O–Si [10].

Согласно РФА образцы РШ-Т, РС-Т, РШ-О, РС-О, Al(Na)-РС и В/с находятся в аморфном состоянии, ХП-Т, ХЗ-Т, См и Б/у – в аморфно-кристаллическом (табл. 4).

Таблица 3

Максимумы полос поглощения в ИК-спектрах исследованных образцов, см⁻¹

Образец	Полосы поглощения связи Si–O			Полоса поглощения связи Si–ОН	Полосы поглощения связи O–H	
	δ	v _s	v _{as}		δ	v _s
Аморфный диоксид кремния						
РШ-Т	467ср	800ср	1099с	–	1649о.сл	3487ш.о.сл
РС-Т	467ср	800ср	1099с	–	1635о.сл	3441ш.о.сл
ХП-Т	469ср	800ср	1096с	–	1632сл	3437ш.сл
ХЗ-Т	471ср	802ср	1097с	–	–	–
РШ-О	461ср	800ср	1096с	962ср	1625сл	3390ш.ср
РС-О	470ср	798ср	1099с	958ср	1636сл	3388ш.сл
ДК-Р	465с	798ср	1092с	953ср	1643 сл	3449ш.о.с
Алюмосиликаты						
Al(Na)-РС	451ср	710 сл	1022с	–	1651ср	3416с
Коммерческие энтеросорбенты						
Б/у	469с	802сл	1105с	–	1626сл	3412ш.ср
В/с	471с	806сл	1103с	–	1636сл	3433ш.сл
П/с	469с	808сл	1103с	–	1630о.сл	3433ш.сл
См	465с	777сл	1026с	916ср	1636сл	3410ш.сл
Э/г	(521с, 621ср)	(839сл*)	1036с	916ср	1628о.сл	3468ш.сл
	442ср	783с	1136с			
		(852сл*)	(1275с, 1412с)			

* Отнесение полосы пока не установлено.

Примечание. Обозначения для характеристик интенсивности полос: с – сильная, ср – средняя, сл – слабая, ш – широкая, о – очень. В скобках – данные дополнительных полос.

Физико-химическая характеристика исследованных образцов представлена в табл. 5. Величина насыпной плотности всех исследованных образцов находится в широких пределах; наибольшая, зависящая от морфологии материалов, характерна для коммерческого энтеросорбента «Смекта» (631 кг/м³), наименьшая – для «Полисорба» (28 кг/м³).

Таблица 4

Данные рентгенофазового анализа образцов

Образец	Состояние	Состав кристаллической фазы
РШ-Т	А	–
РС-Т	А	–
ХП-Т	АК	CaCO ₃
ХЗ-Т	АК	CaCO ₃ , SiO ₂ (кристобалит, кварц)
РШ-О	А	–
РС-О	А	–
Al(Na)-РС	А	SiO ₂ (кварц)
Б/у	АК	H ₂ Si ₃ O ₇
В/с	А	–
См	АК	Фаза не идентифицирована

Примечание. А – аморфное, АК – аморфно-кристаллическое.

Значения рН водной вытяжки образцов аморфного диоксида из растительного сырья и алюмосиликата Al(Na)-РС находятся в щелочной области, что связано с большим содержанием в их составе щелочных и щелочноземельных металлов. Исключение составляет РШ-Т с небольшим содержанием примесей, рН водной вытяжки которого равен 6,2. Для коммерческих образцов характерна слабокислая реакция в водном растворе. В препаратах «Белый уголь», «Смекта» и алюмосиликате натрия наблюдается высокое содержание водорастворимых веществ, так как в их состав входят водорастворимые наполнители, пищевые добавки (табл. 1) и щелочные металлы (табл. 2).

Таблица 5

Физико-химические характеристики образцов

Образец	Насыпная плотность, кг/м ³	рН водной вытяжки	Массовая доля водорастворимых веществ, %	Адсорбционная активность по МС, мг/г
Аморфный диоксид кремния				
РШ-Т	180	6,2	7,3	24
РС-Т	145	8,2	н/и	15
ХП-Т	56	8,9	4,4	164
ХЗ-Т	140	8,5	8,7	123
РШ-О	421	9,6	9,0	149
РС-О	420	8,1	9,6	146
ДК-Р	520	5,7	н/и	3
Алюмосиликаты				
Al(Na)-РС	293	9,6	15	79
Коммерческие энтеросорбенты				
Б/у	520	5,6	35,0	142
В/с	н/и	6,4	н/и	188
П/с	28	н/и	7,0	31
См	631	6,5	19,8	264
Э/г	290	5,6	7,0	28

Примечание: н/и – не исследовалось.

Наибольшей поглотительной способностью по отношению к МС среди образцов аморфного диоксида кремния из растительного сырья характеризуются ХП-Т,

ХЗ-Т, РШ-О и РС-О, среди энтеросорбентов – БУ, В/с и См. Высокую сорбционную активность ХП-Т, ХЗ-Т, РШ-О и РС-О можно объяснить наличием на поверхности отрицательно заряженных брестедовских основных центров при рКа +9,45 [11, 12]. «Смекта» также хорошо поглощает МС, по-видимому, за счет присутствия на поверхности брестедовских основных центров [13]. Кроме этого, при рН выше 6 преобладающей формой метиленового синего становится МС⁺ [14]. «Вайтсорб» и «Белый уголь» хорошо поглощают МС, возможно, из-за присутствия в их составе микрокристаллической целлюлозы.

Значение адсорбционной активности сорбентов по метиленовому синему в условиях моделирования среды желудка с концентрацией метиленового синего 0,1 % находится в пределах 11–130 мг/г (табл. 6). Наибольшей сорбционной активностью по МС в среде желудка (рН 2), так же, как и в нейтральной среде, обладает «Смекта» (130 мг/г).

Поглощение исследуемых энтеросорбентов по МС в условиях моделирования среды двенадцатиперстной кишки (рН 7,5) с концентрацией маркерного вещества 0,1 % изменяется от 94 до 122 мг/г. Наибольшими значениями характеризуются образцы ДК-Р, Э/г и Al(Na)-РС. При уменьшении концентрации маркерного вещества до 0,01 % в среде как желудка, так и двенадцатиперстной кишки сорбционная активность всех образцов уменьшается. «Белый уголь» в этих условиях МС не адсорбирует (табл. 6).

Таблица 6

Адсорбционная активность (мг/г) образцов в среде желудка (рН 2) и двенадцатиперстной кишки (рН 7,5)

Образец	рН 2, 0,1 % МС	рН 7,5, 0,1 % МС	рН 2, 0,01 % МС	рН 7,5, 0,01 % МС
ДК-Р	81	122	18	20
Al (Na)-РС	40	120	17	27
Б/у	11	94	0	0
П/с	144	98	15	26
См	130	109	15	24
Э/г	56	122	18	21

В кислой среде (рН 2) при концентрации маркерного вещества как 0,1 %, так и 0,01 % адсорбционная емкость исследованных энтеросорбентов по МС ниже, чем в слабощелочной среде (рН 7,5). Возможно, это связано с тем, что в щелочной среде поверхность сорбентов приобретает отрицательный заряд и происходит электростатическое взаимодействие между катионной формой МС⁺ и поверхностью кремнийсодержащих образцов. При рН 7,5 адсорбционная активность алюмосиликата натрия из рисовой шелухи выше, чем у «Смекты».

Таким образом, в работе показано, что кремнийсодержащие сорбенты, полученные из растительного сырья (ХП-Т, ХЗ-Т, РШ-О, РС-О, Al(Na)-РС), могут сравниться или даже превзойти по адсорбционной активности некоторые коммерческие препараты, и поэтому их можно рассматривать как перспективные и недорогие энтеросорбенты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеева А.А. Применение энтеросорбентов в комплексной терапии атопического дерматита // Вопросы современной педиатрии. 2012. Т. 11, № 2. С. 151–154.

2. Новокшонов А.А., Соколова Н.В. Метод энтеросорбции и его клиническая эффективность в комплексной терапии ОКИ у детей // Вопросы современной педиатрии. 2011. Т. 10, № 1. С. 140–147.
3. Wilson M.J. Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials // J. Chem. Ecol. 2003. Vol. 29, N 7. P. 1525–1547.
4. Николаев В.Г., Михайловский С.В., Гурина Н.М. Современные энтеросорбенты и механизмы их действия // Эфферентная терапия. 2005. Т. 11, № 4. С. 3–17.
5. Шевелева И.В., Холомейдик А.Н., Войт А.В., Земнухова Л.А. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) из растворов // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 171–176.
6. Земнухова Л.А., Панасенко А.Е., Цой Е.А. и др. Состав и строение образцов аморфного кремнезема, полученных из шелухи и соломы риса // Неорганические материалы. 2014. Т. 50, № 1. С. 82–89.
7. Панасенко А.Е., Борисова П.Д., Арефьева О.Д., Земнухова Л.А. Алюмосиликаты из соломы риса: получение и сорбционные свойства // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 291–298.
8. Маркелов Д.А., Ницак О.В., Геращенко И.И. Сравнительное изучение адсорбционной активности медицинских сорбентов // Химико-фармацевтический журнал. 2008. № 7. С. 30–33.
9. Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов / под ред. А.Г. Власова, В.А. Флоринской. Л.: Химия, 1972. 304 с.
10. Беллами Л.Д. Инфракрасные спектры сложных молекул / пер. с англ. В.М. Акимова; под ред. Ю.А. Пентина. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. 590 с.
11. Арефьева О.Д., Пироговская П.Д., Земнухова Л.А., Ковехова А.В. Кислотно-основные свойства кремнийсодержащих соединений, выделенных из хвощей (*Equisetum* Equisetaceae) // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, № 1. С. 21–28. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-21-28.
12. Арефьева О.Д., Пироговская П.Д., Панасенко А.Е. и др. Кислотно-основные свойства аморфного диоксида кремния из соломы и шелухи риса // Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 327–335. DOI: 10.14258/jcpm.2021017521.
13. Arefieva O.D., Pirogovskaya P.D., Panasenko A.E., Zemnukhova L.A. Acid-base properties of aluminosilicates from rice husk and straw // SN Applied Sciences. 2020. Vol. 2, iss. 5. Art. 894. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2732-1>.
14. Abdelali G., Charlotte H., Abdelmalek C. et al. Adsorptive removal of methylene blue by low cost agricultural waste: *Degla beida* Dates Stones in a Fixed-bed dynamic column // Research Journal of Chemistry and Environment. 2019. Vol. 23, N 1. P. 74–81.

REFERENCES

1. Alekseeva A.A. Primenenie enterosorbentov v kompleksnoj terapii atopicheskogo dermatita = [The use of enterosorbents in the complex therapy of atopic dermatitis]. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2012;11(2):151-154. (In Russ.).
2. Novokshonov A.A., Sokolova N.V. Metod enterosorbicii i ego klinicheskaya effektivnost' v kompleksnoj terapii OKI u detej = [The method of enterosorption and its clinical effectiveness in the complex therapy of OCI in children]. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2011;10(1):140-147. (In Russ.).
3. Wilson M.J. Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials. *J. Chem. Ecol*. 2003;29(7):1525-1547.
4. Nikolaev V.G., Mihajlovskij S.V., Gurina N.M. Sovremennyye enterosorbenty i mekhanizmy ih dejstviya = [Modern enterosorbents and their mechanisms of action]. *Efferentnaya terapiya*. 2005;11(4):3-17. (In Russ.).
5. Sheveleva I.V., Holomejdik A.N., Vojt A.V., Zemnuhova L.A. Sorbenty na osnove risovoj sheluhi dlya udaleniya ionov Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) iz rastvorov = [Rice husk-based sorbents for removing Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) ions from solutions]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2009;(4):171-176. (In Russ.).
6. Zemnuhova L.A., Panasenko A.E., Coj E.A. et al. Sostav i stroenie obrazcov amorfnoego kremnezema, poluchennyh iz sheluhi i solomy risa = [Composition and structure of amorphous silica samples obtained from rice husks and straw]. *Neorganicheskie materialy*. 2014;50(1):82-89. (In Russ.).
7. Panasenko A.E., Borisova P.D., Aref'eva O.D., Zemnuhova L.A. Alyumosilikaty iz solomy risa: poluchenie i sorbcionnye svoystva = [Rice straw aluminosilicates: production and sorption properties]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2019;(3):291-298. (In Russ.).

8. Markelov D.A., Nicak O.V., Gerashchenko I.I. Sravnitel'noe izuchenie adsorbcionnoj aktivnosti medicinskih sorbentov = [Comparative study of the adsorption activity of medical sorbents]. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal*. 2008;(7):30-33. (In Russ.).

9. Vlasov A.G., Florinskaya V.A., eds. Infrazrasnye spektry neorganicheskikh stekol i kristallov = [Infrared spectra of inorganic glasses and crystals]. Leningrad: Himiya; 1972. 304 p. (In Russ.).

10. Bellamy L.J. The Infra-red spectra of complex molecules. London: Methuen; New York: Wiley; 1958. 425 p.

11. Aref'eva O.D., Pirogovskaya P.D., Zemnuhova L.A., Kovekhova A.V. Kislotno-osnovnye svoystva kremnijsoderzhashchih soedinenij, vydelennyh iz hvoshchej (*Equisetum Equisetaceae*) = [Acid-base properties of silicon-containing compounds isolated from horsetails]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*. 2020;10(1):21-28. (In Russ.). DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-21-28.

12. Aref'eva O.D., Pirogovskaya P.D., Panasenko A.E. et al. Kislotno-osnovnye svoystva amorfno-go dioksida kremniya iz solomy i sheluhi risa = [Acid-base properties of Amorphous silicon dioxide from straw and Rice husk]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2021;(1):327-335. (In Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021017521.

13. Arefieva, O.D., Pirogovskaya, P.D., Panasenko, A.E., Zemnukhova, L.A. Acid-base properties of aluminosilicates from rice husk and straw. *SN Applied Sciences*. 2020;2(5):art. 894. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2732-1>.

14. Abdelali G., Charlotte H., Abdelmalek C. et al. Adsorptive removal of methylene blue by low cost agricultural waste: Degla beida Dates Stones in a Fixed-bed dynamic column. *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2019;23(1):74-81.

