

Научная статья
УДК 66.081:546.56

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ(II) НА ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛАХ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНЕЗЕМА

**Татьяна Ивановна Маслакова¹, Инна Геннадьевна Первова²,
Егор Константинович Мусихин³**

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ maslakovati@m.usfeu.ru

² pervovaig@m.usfeu.ru

³ chief.musikhon2013@yandex.ru

Аннотация. Проведено исследование целлюлозных материалов, полученных из рисовой шелухи с различным содержанием диоксида кремния и демонстрирующих значительную сорбционную способность по отношению к ионам меди(II). Установлено, что максимальная адсорбционная емкость достигается при содержании кремнезема 24,9 %, процесс извлечения наиболее полно описывается моделью Ленгмюра, указывая на мономолекулярную адсорбцию.

Ключевые слова: сорбционные свойства, целлюлозные материалы, модель Ленгмюра

Для цитирования: Маслакова Т. И., Первова И. Г., Мусихин Е. К. Исследование сорбции ионов меди(II) на целлюлозных материалах из рисовой шелухи с различным содержанием кремнезема // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologie : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 448–453.

Original article

STUDY OF COPPER(II) ION SORPTION ON CELLULOSE MATERIALS DERIVED FROM RICE HUSKS WITH VARYING SILICA CONTENT

Tatyana I. Maslakova¹, Inna G. Pervova², Egor K. Musikhin³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

© Маслакова Т. И., Первова И. Г., Мусихин Е. К., 2025

¹ maslakovati@m.usfeu.ru

² pervovaig@m.usfeu.ru

³ chief.musikhon2013@yandex.ru

Abstract. The paper involves the study cellulose materials derived from rice husks with varying silica dioxide content, demonstrating significant sorption capacity toward copper(II) ions. It was found that maximum adsorption capacity is achieved with a silica content of 24.9 %, and the extraction process is best described by the Langmuir model, indicating monolayer adsorption.

Keywords: sorption properties, cellulose materials, Langmuir model

For citation: Maslakova T. I., Pervova I. G., Musikhin E. K. (2025) Issledovanie sorbsii ionov medi(II) na tsellyuloznyh materialah iz risovoj sheluhi s razlichnym sodержaniem kremnezema [Study of copper(II) ion sorption on cellulose materials derived from rice husks with varying silica content]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 448–453. (In Russ).

Для удаления тяжелых металлов, попадающих в водоемы со сточными водами гальванического производства, наряду с традиционными сорбентами применяют доступные и недорогие углеводородсодержащие сорбционные материалы на основе растительных отходов. Исследование процесса сорбции ионов тяжелых металлов такими сорбентами остается до сих пор актуальной задачей, поскольку механизмы извлечения ионов и оптимальная модель адсорбции до сих пор не установлены.

Целью данной работы является исследование сорбционных свойств подложки – твердофазных носителей, синтезированных из рисовой шелухи с различным содержанием минеральной составляющей, по отношению к ионам меди(II).

В данной работе целлюлозосодержащие подложки с различным содержанием минерального компонента синтезированы из рисовой шелухи (РШ) методом органосольвентной варки. Ранее было показано [1–3], что техническая целлюлоза из РШ с сохраненной минеральной частью характеризуется более высокой удельной поверхностью, лучшей сорбционной способностью по сравнению с деминерализованным образцом. В этом контексте интерес представляло создание ряда целлюлозных материалов с различным содержанием минеральных компонентов, в связи с чем и были получены образцы 1–3 с содержанием кремнезема 3,2 %; 24,9 и 30,8 %, соответственно. Условия синтеза и характеристики синтезированных образцов 1–3 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики образцов целлюлозосодержащих подложек

Образец	Стадии обработки РШ			Целлюлозный материал		СП, ШР	Зольность после размола, %
	Щелочная обработка		Варка, расход рПУК, г/г от а. с. с. 0,8				
	Концентрация NaOH, н.	Продолжительность, мин	Продолжительность, мин	Зольность, % от массы а. с. ц.	Выход, %		
1	–	–	400	33,8	65,2	37	30,8
2	0,1	15	90	26,9	73,4	28,5	24,9
3	0,5	15	90	4,3	48,2	36,4	3,2

Для проверки влияния содержания минеральной составляющей – диоксида кремния (SiO_2) на эффективность сорбции было осуществлено импрегнирование (пропитка) образцов 1–3 кремнийсодержащих целлюлозных материалов раствором ацетата меди(II) с концентрацией 0,1 моль/дм³. С помощью цифрового микроскопа Levenhuk установлено, что обработку образцов достаточно проводить в течение 1 часа, поскольку дальнейшее увеличение времени контакта/иммобилизации ионов меди(II) не оказывает влияния на изменение интенсивности окраски кремнийсодержащих матриц. Окрашивание происходит в углублениях «панциря» (зоны с наибольшей концентрацией SiO_2), что позволит в дальнейшем использовать метод «проявки» для определения содержания токсикантов в водных объектах (рис. 1).

Высокое содержание аморфных областей и карбоксильных групп в бумажных отливках из рисовой шелухи способствует активной сорбции ионов Cu(II) на поверхности матрицы. Для оценки предельной сорбционной емкости сорбентов были построены изотермы сорбции ионов металла из водных растворов в статических условиях (рис. 2) с перемешиванием и термостатированием при температуре (296 ± 2) К. Начальные и текущие концентрации ионов меди(II) измерялись методом инверсионной вольтамперометрии с использованием прибора «ИВА-5».

Согласно полученным данным, максимальная адсорбционная емкость (a_{max}) по ионам меди(II), рассчитанная по уравнению Лемюра, составляет 27,2; 42,5 и 27,5 ммоль/кг, соответственно для матриц с зольностью – 3,2 % (образец 3); 24,9 % (образец 2) и 30,8 % (образец 1).

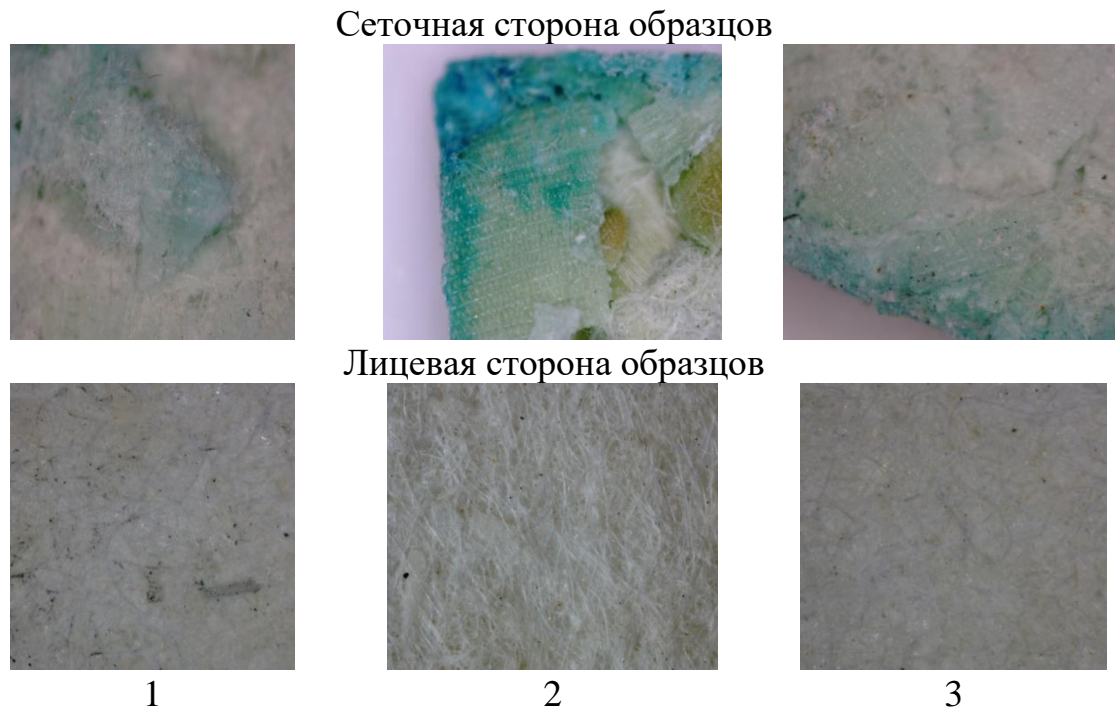


Рис. 1. Образцы кремнийсодержащих целлюлозных подложек после контакта с раствором ацетата меди(II) (стократное увеличение):
 1 – образец 1 с содержанием минеральной части 30,8 %;
 2 – образец 2 с содержанием минеральной части 24,9 %;
 3 – образец 3 с содержанием минеральной части 3,2 %

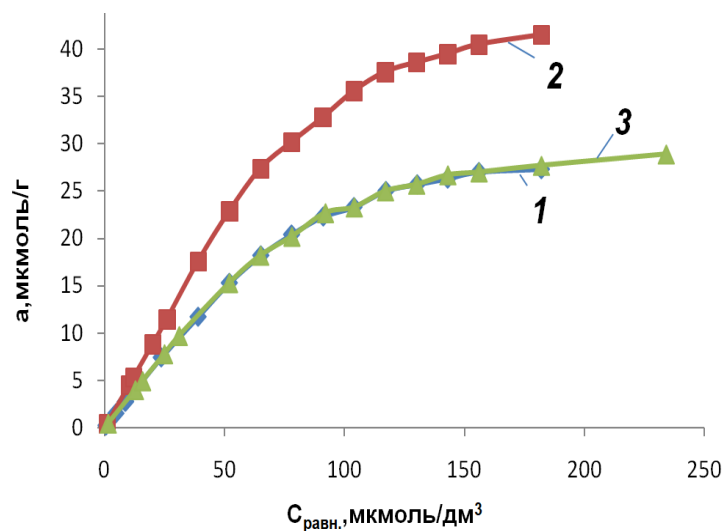


Рис. 2. Сорбция ионов меди(II) на подложках с разным содержанием SiO₂:
 1 – образец 3; 2 – образец 2; 3 – образец 1

Изотермы были обработаны в рамках моделей сорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина, Френкеля–Хелси–Хилла, Гаркинса–Джура. Полученные уравнения и их коэффициенты аппроксимации (R^2) указаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты обработки изотермы адсорбции с использованием различных моделей

Образец	Изотерма	Модель			
		Ленгмюра	Фрейндриха	Темкина	Гаркинса-Джура
1	Уравнение	$y = 3,1809x + 0,0034$	$y = 0,9985x - 0,5036$	$y = 1,8496x - 0,3345$	$y = -12,098x + 12,786$
	Аппроксимация	0,999	0,998	0,741	0,812
2	Уравнение	$y = 2,2657x - 0,0004$	$y = 1,0008x - 0,3551$	$y = 3,0787x - 0,7374$	$y = -3,2667x + 4,0265$
	Аппроксимация	0,999	0,998	0,833	0,916
3	Уравнение	$y = 3,224x - 0,0013$	$y = 1,0026x - 0,5084$	$y = 2,6895x - 1,2565$	$y = -3,9659x + 5,2613$
	Аппроксимация	0,999	0,997	0,845	0,922

Изотермы адсорбции ионов Cu(II) на подложках 1–3 соответствуют I типу изотерм сорбции по классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (классификации БДДТ), который характерен для микропористых адсорбентов. Процесс извлечения ионов Cu(II) исследуемыми образцами наиболее полно описывается уравнением Ленгмюра с коэффициентами аппроксимации 0,999, указывая на мономолекулярную адсорбцию ионов на поверхности кремнийсодержащих целлюлозных подложек. Адсорбция происходит на поверхности твердого тела, состоящей из элементарных участков, каждый из которых способен связывать лишь одну молекулу иона меди. Эти данные позволяют рекомендовать подложки из рисовой шелухи для эффективного извлечения ионов меди(II) из сточных вод.

Список источников

1. Вураско А. В., Симонова Е. И., Минакова А. Р. Изучение закономерностей влияния щелочной обработки на свойства органосольвентной целлюлозы из соломы риса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 228–248.

2. Влияние щелочной обработки на содержание SiO_2 в волокнистом материале / А. В. Вураско, Е. К. Мусихин, А. Л. Шерстобитов, Т. И. Маслакова // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов : материалы VII международной научно-технической конференции им. профессора

В. И. Комарова. Архангельск : Северный (арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, 2023. С. 310–315.

3. Вураско А. В., Симонова Е. И., Минакова А. Р. Изучение закономерностей влияния щелочной обработки на свойства органосольвентной целлюлозы из соломы риса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. Вып. 223. С. 228–248.

References

1. Vurasko A. V., Simonova E. I., Minakova A. R. Study of the Influence of Alkaline Treatment on the Properties of Organosolv Cellulose from Rice Straw // Proceedings of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy, 2018. Issue 223. P. 228–248.

2. Influence of Alkaline Treatment on SiO₂ Content in Fibrous Material / A. V. Vurasko, E. K. Musikhin, A. L. Sherstobitov, T. I. Maslakova // Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference in Honor of Professor V. I. Komarov. Arkhangelsk : Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, 2023. P. 310–315.

3. Vurasko A. V., Simonova E. I., Minakova A. R. Study of the Influence of Alkaline Treatment on the Properties of Organosolv Cellulose from Rice Straw // Izvestia of the Saint Petersburg Forestry Academy. 2018. Issue 223. P. 228–248.