

**СЕРНОКИСЛОТОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОПИЛКИ АКАЦИИ УШКОВИДНОЙ  
(ACACIA AURICULIFORMIS) ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ МЕДИ (II)**

*Галимова Р.З., кандидат технических наук, доцент,  
Нгуен Т.К.Т., аспирант,  
Шайхиев И.Г., доктор технических наук, доцент,  
Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Свергузова С.В., доктор технических наук, профессор,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова*

**Аннотация:** получены модифицированные сорбционные материалы на основе опилок акации ушковидной (*Acacia Auriculiformis*) путем обработки их поверхности низкоконцентрированными растворами серной кислоты с концентрациями 1%, 2% и 3%. По данным ИК-спектров, дифрактограмм, микрофотографий и гистограмм распределения шероховатости поверхности нативных и сернокислотомодифицированных опилок акации установлено, что обработка поверхности опилок растворами кислот приводит к изменению структуры сорбционного материала, а именно: вымыванию низкомолекулярных компонентов с состава древесины акации. Изучены закономерности процессов адсорбции ионов  $Cu^{2+}$  нативными и сернокислотномодифицированными опилками акации в статических условиях. По полученным значениям начальных и равновесных концентраций ионов меди (II) в растворах рассчитаны сорбционные ёмкости материалов и построены изотермы адсорбции ионов  $Cu^{2+}$  нативными и модифицированными опилками акации. Обработка опилок акации растворами серной кислоты приводит к увеличению сорбционной ёмкости по ионам меди, при этом наибольшая сорбционная ёмкость наблюдается в случае опилок акации, обработанных 3% раствором серной кислоты. Обработкой полученных изотерм сорбции в рамках мономолекулярных моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича, Темкина, определены уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации. Выявлено, что процессы адсорбции ионов  $Cu^{2+}$  нативными и модифицированными опилками акации 3% раствором серной кислоты лучше всего описываются моделью Ленгмюра, а процессы адсорбции ионов меди опилками акации, модифицированными 1% и 2% растворами серной кислоты – моделью Фрейндлиха. Рассчитаны термодинамические константы процессов адсорбции, по значениям которых определено, что все исследуемые процессы относятся к процессам физической адсорбции. Обработкой кинетических зависимостей процессов в рамках диффузионной модели адсорбции рассчитаны коэффициенты Био для процессов сорбции ионов  $Cu^{2+}$  нативными и модифицированными опилками акации, по значениям которых определены лимитирующие стадии процессов (смешанная диффузия).

**Ключевые слова:** модификация, ионы меди (II), опилки *Acacia auriculiformis*, модели адсорбции, термодинамика, кинетика, адсорбция

**SULFURIC ACID MODIFIED SAWDUST OF ACACIA AURICULARIS  
(ACACIA AURICULIFORMIS) FOR THE PURIFICATION  
OF WASTEWATER FROM COPPER IONS (II)**

---

*Galimova R.Z., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Nguyen T.K.T., Postgraduate,  
Shaykhiev I.G., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Associate Professor,  
Kazan National Research Technological University  
Sverguzova S.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

---

**Abstract:** modified sorption materials based on acacia sawdust (*Acacia Auriculiformis*) were obtained by treating their surface with low-concentration sulfuric acid solutions with concentrations of 1%, 2% and 3%. According to IR spectra, diffractograms, micrographs and histograms of the distribution of surface roughness of native and sulfuric acid-modified acacia sawdust, it was found that surface treatment of the sawdust with acid solutions leads to a change in the structure of the sorption material, namely, leaching of low molecular weight components from the composition of acacia wood. The regularities of the processes of adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  ions by native and sulfuric acid modified acacia filings under static conditions were studied. Using the obtained values of the initial and equilibrium concentrations of copper (II) ions in solutions, the sorption capacities of the materials were calculated and the adsorption isotherms of  $\text{Cu}^{2+}$  ions were constructed using native and modified acacia filings. Processing acacia sawdust with sulfuric acid solutions leads to an increase in the sorption capacity for copper ions, while the greatest sorption capacity is observed in the case of acacia sawdust treated with a 3% sulfuric acid solution. By processing the obtained sorption isotherms in the framework of the monomolecular models of Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich, Temkin, the regression equations and approximation coefficients are determined. It was revealed that the processes of adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  ions by native and modified acacia sawdust with a 3% sulfuric acid solution are best described by the Langmuir model, and the processes of copper ion adsorption by acacia sawdust modified by 1% and 2% sulfuric acid solutions are described by the Freundlich model. The thermodynamic constants of the adsorption processes are calculated, from the values of which it is determined that all the studied processes belong to the processes of physical adsorption. By processing the kinetic dependences of the processes within the framework of the diffusion adsorption model, we calculated the Biot coefficients for the sorption processes of  $\text{Cu}^{2+}$  ions by native and modified acacia filings, the values of which determined the limiting stages of the processes (mixed diffusion).

**Keywords:** modification, copper (II) ions, *Acacia auriculiformis* filings, adsorption models, thermodynamics, kinetics, adsorption

В связи со вступлением в силу закона об импортозамещении в Российской Федерации, наблюдается рост промышленного сектора страны, а, следовательно, и количества образующихся на предприятиях сточных вод. Одними из наиболее широко распространенных загрязнителей в составе сточных вод гальванических и других производств являются ионы  $\text{Cu}^{2+}$ . Среди большого разнообразия методов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов [1-3] особый интерес представляет сорбционная очистка с использованием дешевых и доступных целлюлозосодержащих сорбционных материалов на основе отходов переработки сельскохозяйственного сырья и древесной биомассы [4-7]. Особый интерес вызывают многотоннажные отходы, образующиеся на предприятиях по переработке древесины – опилки, кора, стружки, щепа. Ранее, в работах [8-14] было показано, что перечисленные отходы обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к большинству поллютантов из водных сред и сточных вод.

В работе [15] изучена возможность использования опилок акации в качестве сорбционного материала для извлечения ионов меди из модельных водных растворов. Установлено, что сорбционная ёмкость нативных опилок акации ушковидной по

отношению к ионам меди не достаточно велика (0,11 ммоль/г или 7 мг/г).

Данный вид деревьев широко распространен в Австралии, Африке, Мексике и в Азии. Во Вьетнаме данный вид является типичным видом и древесина *Acacia auriculiformis* используется в качестве топлива.

Известно, что обработка целлюлозосодержащих материалов растворами кислот приводит к увеличению их сорбционных свойств по отношению к большинству поллютантов [16-18].

В связи с вышеизложенным, получены сернокислотомодифицированные опилки акации ушковидной (*Acacia auriculiformis*), путем обработки их слабоконцентрированными (1%, 2% и 3%) растворами серной кислоты.

Изменение структуры опилок акации под действием низкоконцентрированных растворов серной кислоты, а именно: извлечение низкомолекулярных компонентов древесины, подтверждается данными ИК-спектроскопии, электронной микроскопии и дифрактограммами нативных и сернокислотномодифицированных опилок акации (рис. 1-3 соответственно).

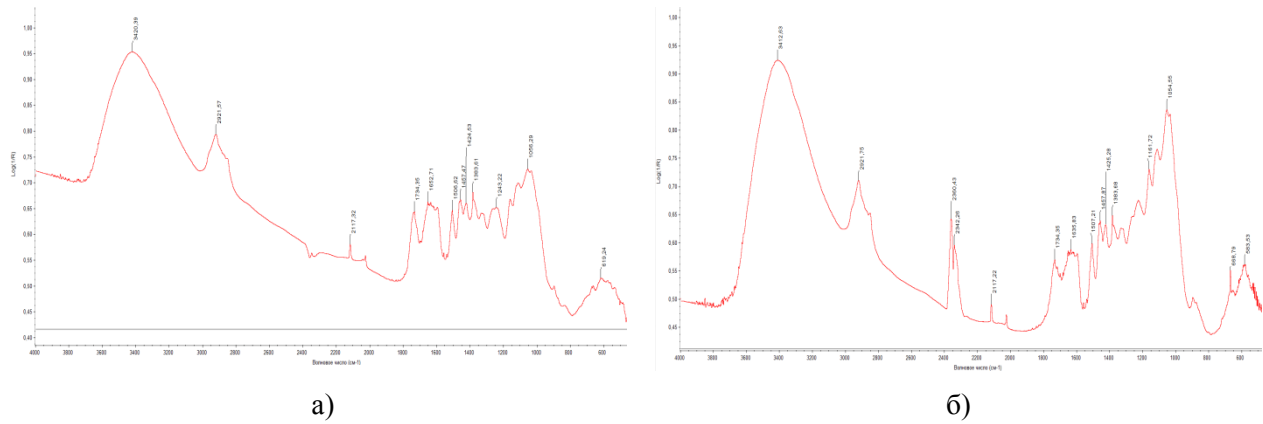


Рис. 1. ИК-спектры опилок акации ушковой: а) нативных, б) после обработки 3%-ным раствором серной кислоты

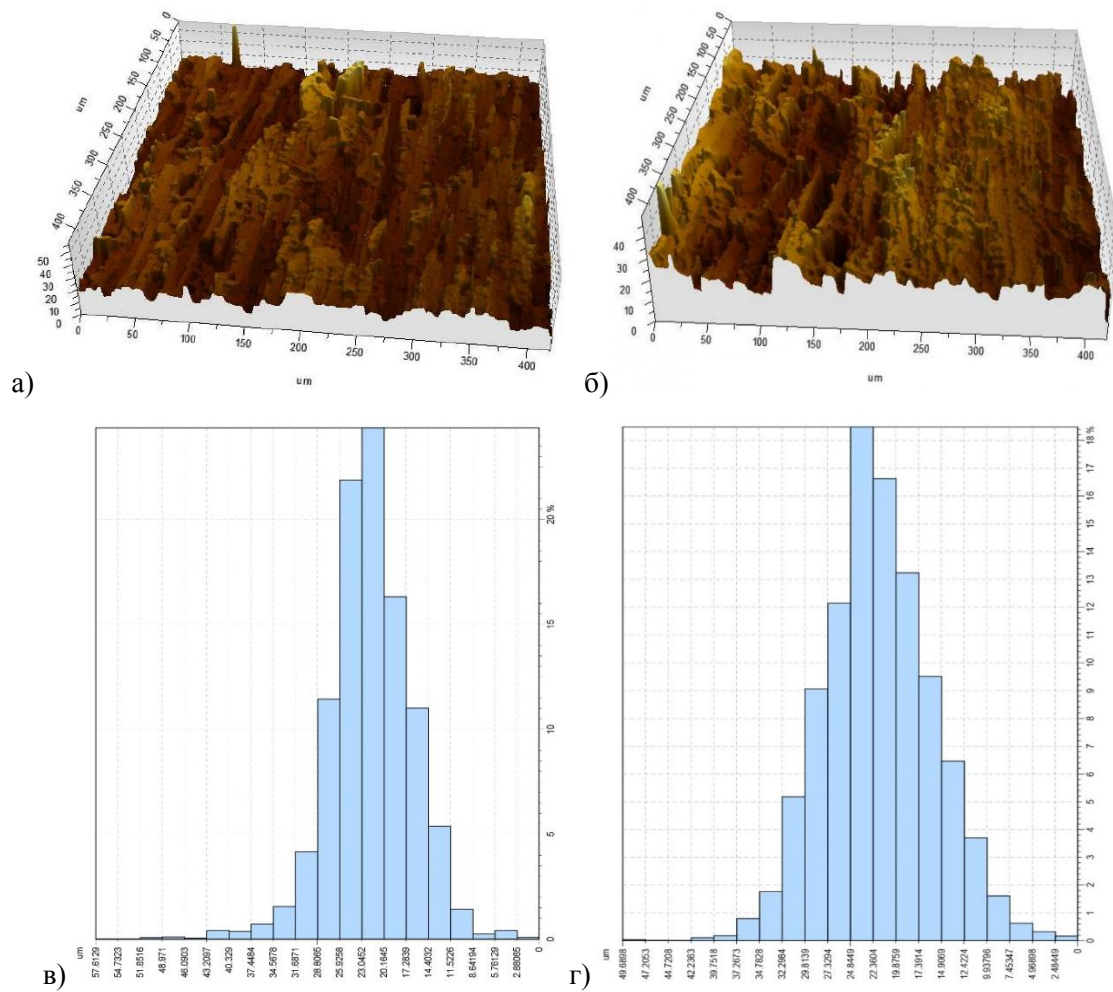


Рис. 2. Изображения поверхности опилок (а, б) и гистограммы распределения высоты выступов (в, г): а,в) исходного образца; б,г) обработанного серной кислотой

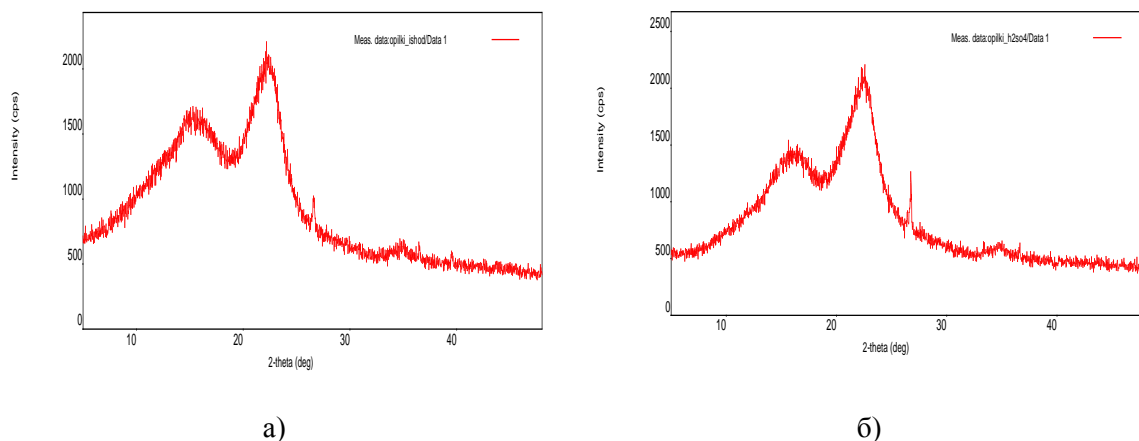


Рис. 3. Дифракционные спектры опилок акации ушковидной:

а) нативных; б) модифицированных 3%-ным раствором серной кислоты

Сорбционные свойства полученных модифицированных опилок акации по ионам меди (II) изучены на модельных растворах меди с начальными концентрациями последних от 5 до 1500 мг/дм<sup>3</sup> при температуре 20°C и времени сорбции 5 часов. По полученным значениям концентраций ионов меди в растворах до и после процессов сорбции определялись сорбционные ёмкости материалов

(A) по формуле 1 и строились изотермы адсорбции ионов Cu<sup>2+</sup> модифицированными опилками акации ушковидной (рис. 1).

$$A = ((C_s - C_e) \cdot 100) / (1 \cdot 1000) \quad (1)$$

где  $C_s$  – исходная концентрация ионов металла, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_e$  – конечная концентрация ионов металла, мг/дм<sup>3</sup>; 100 – объем раствора, см<sup>3</sup>; 1 – вес СМ, г; 1000 – переход от см<sup>3</sup> к дм<sup>3</sup>.

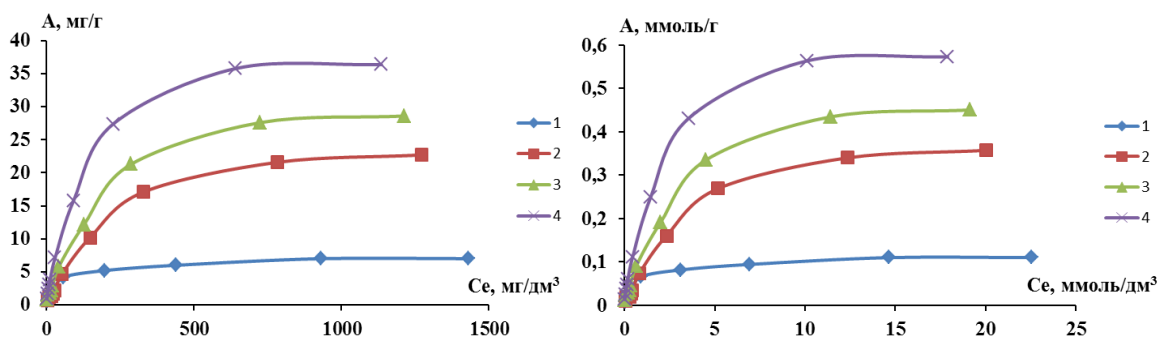


Рис. 4. Изотермы адсорбции ионов Cu<sup>2+</sup> опилками акации: 1 – нативными и модифицированными с помощью растворов серной кислоты концентрацией: 2-1%, 3-2%, 4-3% (масс)

Изотермы адсорбции, представленные на рисунке 1, относятся к изотермам I типа по классификации ИЮПАК или L-типу, по классификации Гильса и описывают мономолекулярную адсорбцию ионов Cu<sup>2+</sup> на опилках акации ушковидной. Очевидно, что с увеличением концентрации серной кислоты, сорбционная ёмкость по ионам Cu<sup>2+</sup> повышается. Наибольшее значение сорбционной

ёмкости  $A = 36,4$  мг/г (0,57 ммоль/г) достигается в случае использования в качестве сорбционного материала опилок *Acacia auriculiformis*, обработанных 3 %-ным водным раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Для определения механизма процесса адсорбции, полученные изотермы обрабатывались с помощью мономолекулярных моделей адсорбции

Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радужкевича, Темкина [19].

Результаты обработки изотерм адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  нативными и модифицированными опилками

ками акации ушковидной в рамках вышеуказанных моделей представлены на рис. 5.

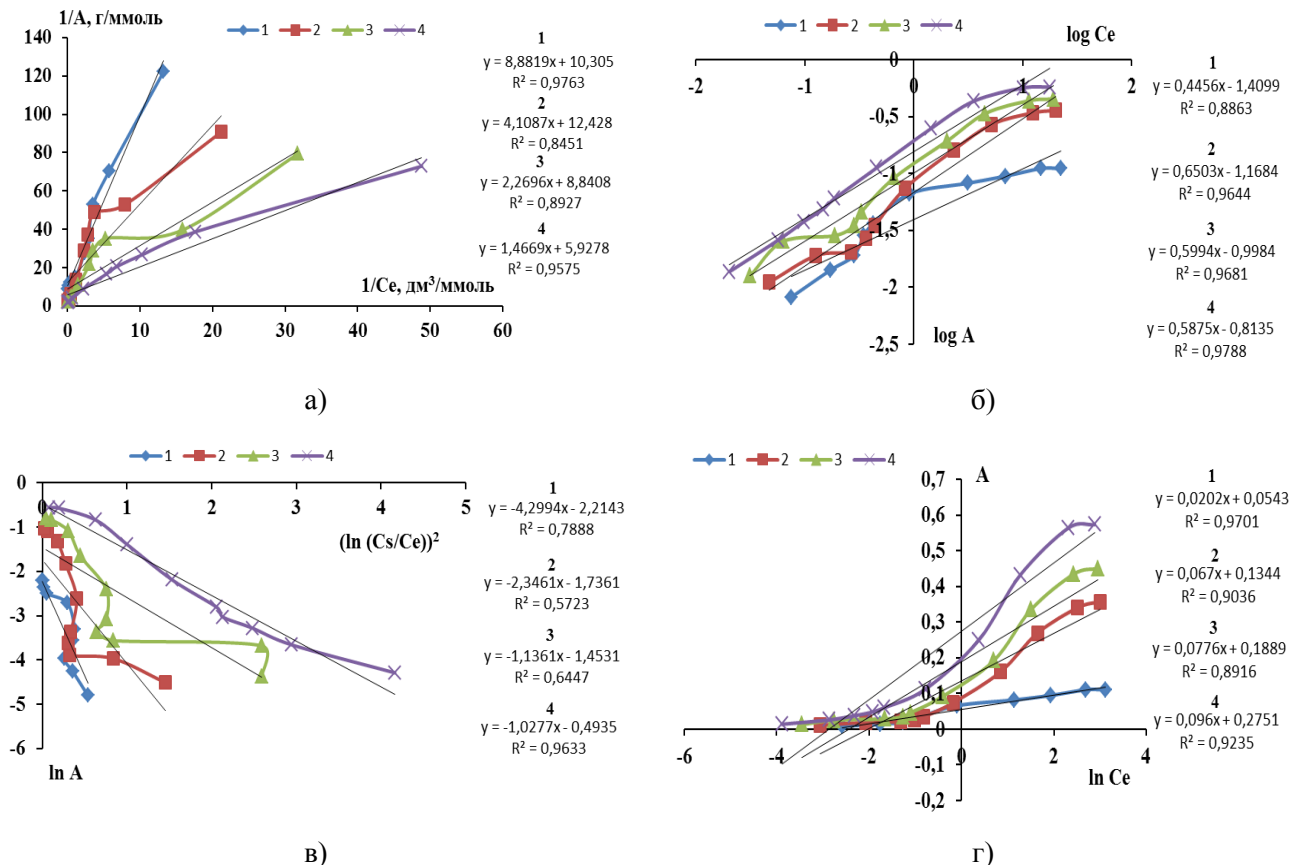


Рис. 5. Линейаризация изотерм в рамках моделей: а – Ленгмюра, б – Фрейндлиха, в – Дубинина-Радужкевича, г – Темкина для процессов адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками *Acacia auriculiformis*: 1 – немодифицированными и модифицированными с помощью растворов серной кислоты концентрацией: 2 – 1%, 3 – 2%, 4 – 3% (масс)

Таблица 1

Уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации ( $R^2$ ) моделей адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками *Acacia auriculiformis*, обработанных 1, 2 и 3%-ными растворами серной кислоты

Модель	До модификации	1 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	2 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	3 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$
Ленгмюра	$y = 8,88x + 10,30$	$y = 4,11x + 12,43$	$y = 2,27x + 8,84$	$y = 1,47x + 5,93$
	$R^2 = 0,9763$	$R^2 = 0,8451$	$R^2 = 0,8927$	$R^2 = 0,9575$
Фрейндлиха	$y = 0,45x - 1,41$	$y = 0,65x - 1,17$	$y = 0,60x - 1,00$	$y = 0,59x - 0,83$
	$R^2 = 0,8863$	$R^2 = 0,9644$	$R^2 = 0,9681$	$R^2 = 0,9788$
Дубинина-Радужкевича	$y = -4,30x - 2,21$	$y = -2,35x - 1,74$	$y = -1,14x - 1,45$	$y = -1,03x - 0,49$
	$R^2 = 0,7888$	$R^2 = 0,5723$	$R^2 = 0,6447$	$R^2 = 0,9633$

Продолжение таблицы 1

Темкина	$y = 0,02x + 0,05$	$y = 0,07x + 0,13$	$y = 0,08x + 0,19$	$y = 0,10x + 0,27$
	$R^2 = 0,9701$	$R^2 = 0,9036$	$R^2 = 0,8916$	$R^2 = 0,9235$

По представленным в табл. 1 данным очевидно, что процесс адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  нативными опилками наиболее точно описываются моделью Ленгмюра ( $R^2 = 0,9763$ ), а изотермы адсорбции ионов меди модифицированными опилками акации ушковидной, лучше всего описываются моделью Фрейндлиха, что свидетельствует о том, что исследуемые процессы протекают на гомогенной и гетерогенной поверхностях СМ, соответственно.

На основании полученных констант уравнений Ленгмюра ( $K_L$ ) по формуле 2 определены энергия Гиббса для исследуемых процессов и другие термодинамические величины, представленные в табл. 2.

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln K_L \quad (2)$$

где  $\Delta G^\circ$  – энергия Гиббса (Дж/моль),  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $K_L$  – константа Ленгмюра.

Таблица 2

**Термодинамические константы процессов адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками *Acacia auriculiformis*, обработанных 1, 2 и 3%-ными растворами серной кислоты**

Адсорбент	Константы уравнения Ленгмюра		Константы уравнения Фрейндлиха		E, кДж/моль	$\Delta G$ , кДж/моль
	$A_{\infty}$ , ммоль/г	$K_L$	$K_F$	n		
До модификации	0,097	1,160	0,039	0,446	1,175	-0,362
1 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	0,080	3,025	0,068	0,650	1,590	-2,696
2 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	0,113	3,895	0,100	0,599	2,285	-3,312
3 % p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	0,169	4,041	0,154	0,587	2,403	-3,402

Значения энергий сорбции (E) меньше 8 кДж/моль свидетельствуют о протекании физической адсорбции. А отрицательные значения  $\Delta G$  в пределах от -4 до 0 кДж/моль означают протекание самопроизвольной физической адсорбции во всех случаях [23].

Физическая адсорбция протекает в две стадии: диффузии вещества с раствора на поверхность сорбционного материала (внешняя диффузия) и

диффузия вещества в порах адсорбента (внутренняя диффузия) [24]. С целью определения лимитирующей стадии процесса адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками акации и модифицированными опилками получены кинетические зависимости процессов (рис. 6).

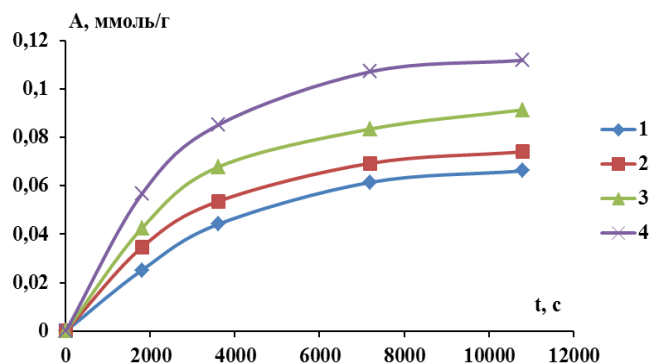


Рис. 6. Кинетическая зависимость процессов сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками *Acacia auriculiformis*: 1 – нативными и модифицированными с помощью растворов  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрацией: 2 – 1%, 3 – 2%, 4 – 3% (масс)

Кинетические зависимости процессов адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  нативными и модифицированными опилками *Acacia auriculiformis* обработаны в рам-

ках диффузионной модели [25] и определены коэффициенты Био ( $B_i$ ) для исследуемых процессов (табл. 3).

Таблица 3

**Значения коэффициентов Био для процессов адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  опилками *Acacia auriculiformis*, обработанных 1, 2 и 3%-ными растворами серной кислоты**

Адсорбент	До модификации	1% p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	2% p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$	3% p-p $\text{H}_2\text{SO}_4$
$B_i$	3,286	2,191	3,286	2,191

Значения коэффициентов  $B_i$  для всех четырех случаев в интервале от 1 до 20 свидетельствуют о протекании смешанной диффузии [26].

Таким образом, определено, что обработка опилок акации ушковидной слабоконцентрированными растворами серной кислотой способствует увеличению адсорбционных характеристик по

ионам  $\text{Cu}^{2+}$ . Рассчитанные значения энергий сорбции ( $E$ ) меньше 8 кДж/моль свидетельствуют о протекании физической адсорбции. А отрицательные значения  $\Delta G$  в пределах от -4 до 0 кДж/моль означают протекание самопроизвольной физической адсорбции. Выявлено, что лимитирующей стадией процесса является смешанная диффузия.

### Литература

1. Юсупова А.И. и др. Сорбционная очистка модельных растворов от ионов железа (III) опилками коры и лиственной дуба черешчатого (*Quercus robur*) // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. №6. С. 77 – 82.
2. Investigation of nickel ions adsorption by *Acacia auriculiformis* components / K.T.T. Nguyen, R.Z. Galimova, I.G. Shaikhiev, T.R. Denisova et al. // International Journal of Green Pharmacy. 2018. Т. 12. №4. P. 895 – 899.
3. Denisova T.R. and etc. Material performance of nickel ions adsorption by *larix sibirica* needles // International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018. Т. 7. №4.7. P. 219 – 222.



4. Использование отходов от переработки биомассы овса в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, А.С. Гречина, К.И. Шайхиева // Экономика строительства и природопользования. 2018. №2 (67). С. 51 – 60.
5. Степанова С.В., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Очистка модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, шелухой пшеницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №6. С. 183 – 186.
6. Латыпова А.Ш., Степанова С.В., Алексеева А.А. Лигноцеллюлозосодержащие сорбенты для ликвидации аварийных разливов нефти с поверхности воды // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и специалистов по итогам IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира», 22-23 ноября 2018 г. Санкт-Петербург. НИЦЭБ РАН, 2018. С. 100 – 104.
7. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г. Адсорбция фенола на плодовых оболочках овса // В сборнике: Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. 2019. С. 160 – 166.
8. Алексеева А.А., Степанова С.В. Исследование влияния плазменной модификации поверхности смешанного листового опада на механизм удаления пленки нефти с водных объектов // Экологическая химия. 2019. Т. 28. №2. С. 88 – 96.
9. Шайхиев И.Г., Нгуен Тхи Ким Тхоа, Шайхиева К.И. Использование компонентов деревьев рода *Acacia* для удаления поллютантов из природных и сточных вод. 1. Ионы тяжелых металлов // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. №3. С. 171 – 179.
10. Nguyen T.K.T. and ets. Investigation of nickel ions adsorption by *Acacia auriculiformis* components // International Journal of Green Pharmacy. 2018. Т. 12. №4. P. 895 – 899.
11. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Алмазова Г.А. Изучение термодинамики сорбции фенола на осиновых опилках // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. №1. С. 60 – 63.
12. Study of phenol adsorption by modified birch leaves: preparation and adsorption characteristics / T.R. Denisova, M.P. Sokolov, R.Z. Galimova, I.G. Shaikhiiev // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Т. 11. №4. P. 872 – 876.
13. Исследование сорбции фенола на листьях берёзы / Р.З. Тухватуллина, И.Г. Шайхиев, А.А. Багауетдинова, Г.А. Алмазова // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. №13. С. 249 – 251.
14. Адсорбция веретенного масла нативным и термомодифицированным листовым опадом каштанов / С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, А.В. Святченко, О. Том // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. №1. С. 4 – 11.
15. Ким Тхоа Н.Т. и др. Исследование сорбции ионов меди компонентами *Acacia auriculiformis* // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. №18. С. 159 – 162.
16. Denisova T.R. and ets. Study of phenol adsorption by modified birch leaves: preparation and adsorption characteristics // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Т. 11. №4. P. 872 – 876.

17. Мифтахова Ф.Р. и др. Влияние концентрации ортофосфорной кислоты при обработке опилок акации ушковидной (*асасіаauriculiformis*) на сорбционные характеристики по ионам цинка // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. №2. С. 37 – 43.
18. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г. Получение и исследование сорбционных свойств модифицированных целлюлозосодержащих сорбционных материалов по отношению к фенолу // Вода: химия и экология. 2017. №2 (104). С. 60 – 66.
19. Галимова Р.З. и др. Исследование процессов сорбции фенола нативными и модифицированными отходами валяльно-войлочного производства // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. №12. С. 147 – 151.
20. Denisova T.R. and ets. Study of kinetic – thermodynamic aspects of phenol adsorption on natural sorption materials // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. №5. С. 1765 – 1771.
21. Галимова Р.З. и др. Исследование кинетики процессов адсорбции фенола отходами валяльно-войлочного производства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова . 2016. №10. С. 179 – 184.
22. Галимова Р.З. Очистка фенолсодержащих сточных вод нативными и модифицированными адсорбционными материалами на основе отходов сельскохозяйственного и промышленного производства: дис. ... на соиск. учён. степ. канд. технич. Наук / Казанский национальный исследовательский технологический университет. Казань, 2018.
23. Denisova T.R. and ets. Investigation of phenol adsorption on barley husk modified by low-concentrated sulfuric acid solutions // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. 9 (1S). P. 1480 – 1490.

### References

1. YUsupova A.I. i dr. Sorbcionnaya ochistka model'nyh rastvorov ot ionov zheleza (III) opilkami kory i listvoj duba chereshchatogo (*Quercus robur*) // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2018. Т. 21. №6. S. 77 – 82.
2. Investigation of nickel ions adsorption by *Asacia auriculiformis* components / K.T.T. Nguyen, R.Z. Galimova, I.G. Shaikhiev, T.R. Denisova at al. // International Journal of Green Pharmacy. 2018. Т. 12. №4. P. 895 – 899.
3. Denisova T.R. and ets. Material performance of nickel ions adsorption by *larix sibirica* needles // International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018. Т. 7. №4.7. P. 219 – 222.
4. Ispol'zovanie othodov ot pererabotki biomassy ovsa v kachestve sorbcionnyh materialov dlya udaleniya pol'yutantov iz vodnyh sred (obzor literatury) / S.V. Sverguzova, I.G. SHajhiev, A.S. Grechina, K.I. SHajhieva // Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya. 2018. №2 (67). S. 51 – 60.
5. Stepanova S.V., SHajhiev I.G., Sverguzova S.V. Ochistka model'nyh stokov, sodержashchih iony tyazhelyh metallov, sheluhoj pshenicy // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova. 2014. №6. S. 183 – 186.

6. Latypova A.SH., Stepanova S.V., Alekseeva A.A. Lignocellyulozosoderzhashchie sorbenty dlya likvidacii avariynih razlivov nefi s poverhnosti vody // Sbornik nauchnyh trudov molodyh uchenyh, aspirantov, studentov i specialistov po itogam IX Molodezhnoj ekologicheskoy konferencii «Severnaya Pal'mira», 22-23 noyabrya 2018 g. Sankt-Peterburg. NICEB RAN, 2018. S. 100 – 104.
7. Galimova R.Z., SHajhiev I.G. Adsorbciya fenola na plodovyh obolochkah ovsa // V sbornike: Innovacionnye podhody v reshenii sovremennyh problem racional'nogo ispol'zovaniya prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. 2019. S. 160 – 166.
8. Alekseeva A.A., Stepanova S.V. Issledovanie vliyaniya plazmennoj modifikacii poverhnosti smeshannogo listovogo opada na mekhanizm udaleniya plenki nefi s vodnyh ob"ektov // Ekologicheskaya himiya. 2019. T. 28. №2. S. 88 – 96.
9. SHajhiev I.G., Nguen Thi Kim Thoa, SHajhieva K.I. Ispol'zovanie komponentov derev'ev roda Acacia dlya udaleniya pollyutantov iz prirodnyh i stochnykh vod. 1. Iony tyazhelyh metallov // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. №3. S. 171 – 179.
10. Nguyen T.K.T. and ets. Investigation of nickel ions adsorption by Acacia auriculiformis components // International Journal of Green Pharmacy. 2018. T. 12. №4. P. 895 – 899.
11. Galimova R.Z., SHajhiev I.G., Almazova G.A. Izuchenie termodinamiki sorbcii fenola na osinovyh opilkah // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. №1. S. 60 – 63.
12. Study of phenol adsorption by modified birch leaves: preparation and adsorption characteristics / T.R. Denisova, M.P. Sokolov, R.Z. Galimova, I.G. Shaikhiev // International Journal of Green Pharmacy. 2017. T. 11. №4. P. 872 – 876.
13. Issledovanie sorbcii fenola na list'yah beryozy / R.Z. Tuhvatullina, I.G. SHajhiev, A.A. Bagauetdinova, G.A. Almazova // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18. №13. S. 249 – 251.
14. Adsorbciya veretennogo masla nativnym i termomodificirovannym listovym opadom kashtanov / S.V. Sverguzova, ZH.A. Sapronova, A.V. Svyatchenko, O. Tom // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2018. T. 1. №1. S. 4 – 11.
15. Kim Thoa N.T. i dr. Issledovanie sorbcii ionov medi komponentami Acacia auriculiformis // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. №18. S. 159 – 162.
16. Denisova T.R. and ets. Study of phenol adsorption by modified birch leaves: preparation and adsorption characteristics // International Journal of Green Pharmacy. 2017. T. 11. №4. P. 872 – 876.
17. Miftahova F.R. i dr. Vliyanie koncentracii ortofosfornoj kisloty pri obrabotke opilok akacii ushkovidnoj (acaciaauriculiformis) na sorbcionnye harakteristiki po ionam cinka // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2019. T. 22. №2. S. 37 – 43.
18. Galimova R.Z., SHajhiev I.G. Poluchenie i issledovanie sorbcionnyh svojstv modificirovannyh cellyulozosoderzhashchih sorbcionnyh materialov po otnosheniyu k fenolu // Voda: himiya i ekologiya. 2017. №2 (104). S. 60 – 66.
19. Galimova R.Z. i dr. Issledovanie processov sorbcii fenola nativnymi i modificirovannymi othodami val'no-vojlchnogo proizvodstva // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. №12. S. 147 – 151.

20. Denisova T.R. and ets. Study of kinetic – thermodynamic aspects of phenol adsorption on natural sorption materials // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. T. 7. №5. S. 1765 – 1771.
21. Galimova R.Z. i dr. Issledovanie kinetiki processov adsorbicii fenola othodami valyal'no-vojlchnogo proizvodstva // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova . 2016. №10. S. 179 – 184.
22. Galimova R.Z. Ochistka fenolsoderzhashchih stochnyh vod nativnymi i modifitsirovannymi adsorbtsionnymi materialami na osnove othodov sel'skohozyajstvennogo i promyshlennogo proizvodstva: dis. ... na soisk. uchyon. step. kand. tekhnich. Nauk / Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tekhnologicheskij universitet. Kazan', 2018.
23. Denisova T.R. and ets. Investigation of phenol adsorption on barley husk modified by low-concentrated sulfuric acid solutions // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. 9 (1S). P. 1480 – 1490.