

УДК 547.587.26:544.723

Т.А. Краснова, Н.В. Гора, Н.С. Голубева

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ ГАЛЛОВОЙ КИСЛОТЫ  
НА АКТИВНЫХ УГЛЯХ**

Исследована адсорбция галловой кислоты на активных углях разных марок, отличающихся пористой структурой и химическим состоянием поверхности. Установлены закономерности процесса адсорбции. Предложен механизм адсорбции галловой кислоты на активных углях. Показана возможность использования активных углей на основе полукоксов для улучшения качества пива.

Галловая кислота, углеродные сорбенты, адсорбция.

**Введение**

В настоящее время для успешной реализации российского пива на внутренних и внешних рынках существует необходимость обеспечения конкурентного преимущества этого популярного напитка. Расширение выпускаемого ассортимента и повышение качества пива в данных условиях является крайне актуальным [1].

Регулирование содержания полифенольных веществ в пиве позволяет изменить вкус и аромат напитка, а также добиться необходимой степени прозрачности. Одним из источников полифенолов является хмель. На стадии охмеления полифенолы переходят из хмеля в сусло. В дальнейшем полифенолы могут стать причиной снижения стойкости пива. Поэтому актуальной является задача снижения полифенолов в сусле. Одним из полифенолов, содержащимся в хмеле и влияющим на качество пива, является галловая кислота.

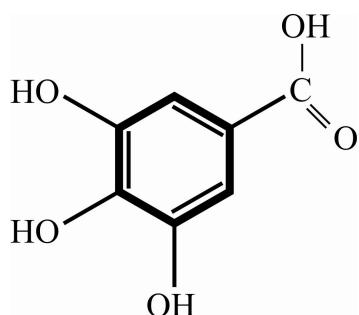


Рис. 1. Структурная формула галловой кислоты

В практике для обесцвечивания природной воды и технологических пищевых сред используют активные угли (АУ) марок БАУ-А, БАУ-МФ [2].

В настоящее время на рынке активных углей появились углеродные сорбенты, произведенные по новой технологии. Отличие применяемой технологии заключается в замене традиционного двухстадийного процесса карбонизации сырья в инертной среде с последующей активации на одностадийный процесс карбонизации/активации воздухом. Это позволяет снизить конечную цену сорбента в следст-

вие уменьшения энергозатрат на его получение [3]. Применение таких адсорбентов позволит снизить себестоимость процесса производства пивобезалкогольной продукции.

**Целью** работы являлось исследование адсорбции галловой кислоты активными углями, отличными по своей структуре и природе, для выявления возможности их применения в процессе улучшения качества пива.

**Объект и методы исследования**

Объектом исследования являлись водные растворы галловой кислоты, активные угли марок АГ-ОВ-1 – гранулированный АУ, а также полукоксы АБГ и «Пуролат-Стандарт» [3]. Все АУ перед исследованием промывались дистиллированной водой от частиц пыли и высушивались при комнатной температуре ( $23 \pm 2$ ) °С в течение суток.

Адсорбция из водного раствора галловой кислоты исследовалась при комнатной температуре ( $23 \pm 2$ ) °С из ограниченного объема при непрерывном перемешивании в течение 7–9 часов в статистических условиях в диапазоне концентраций от 20 до 800 мг/дм<sup>3</sup> при соотношении АУ: водный раствор галловой кислоты, равном 1:100.

Содержание галловой кислоты определялась на фотоколориметре КФК-2М (ПО «ЗОМС», г. Загорск) по стандартной методике с лимоннокислым железом-аммонием в щелочной среде [4].

**Результаты и их обсуждение**

Полученные экспериментальные изотермы адсорбции галловой кислоты из водного раствора представлены на рис. 2.

Изотерма адсорбции галловой кислоты из водного раствора активным углем марки АГ-ОВ-1 относится к изотермам L-типа по классификации Гильса, что свидетельствует о физической адсорбции. Изотермы адсорбции АУ марок АБГ и «Пуролат-Стандарт» относятся к изотермам S-типа. Изотермой типа S описывается адсорбция, при которой сила взаимодействия между растворенным веществом и адсорбентом меньше силы взаимодействия между адсорбируемыми молекулами, что может

объясняются образованием водородных связей [5]. Исходя из структуры и свойств галловой кислоты, водородные связи могут образовываться как между молекулами самой кислоты, так и с водой (рис. 3 а, б). Наличие плато с возрастающей адсорбцией (рис. 2, изотерма 2, 3) дает возможность предположить присутствие на АУ мономолекулярного слоя с последующей полимолекулярной сорбцией.

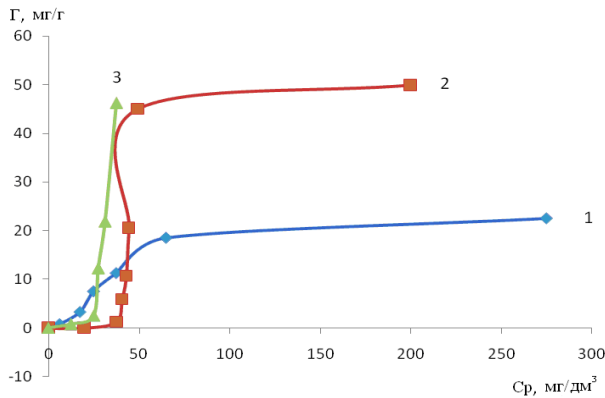


Рис. 2. Изотермы адсорбции галловой кислоты из водного раствора адсорбентами марок АГ-ОВ-1 (1), «Пуролат-Стандарт» (2) и АБГ (3)

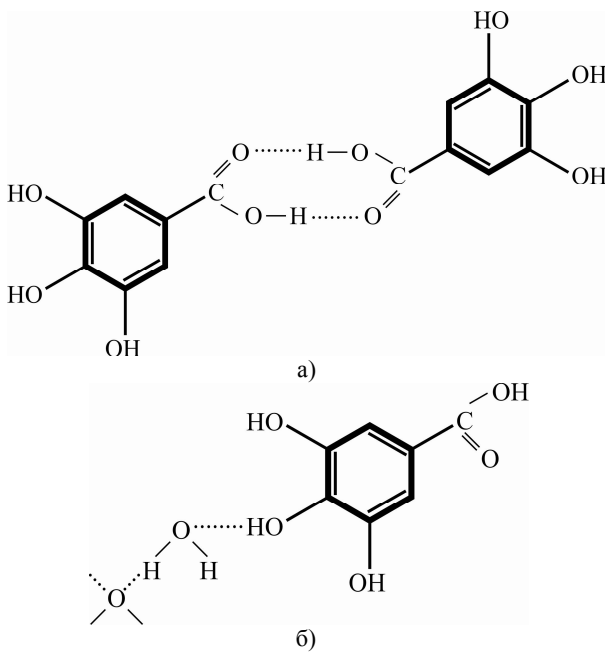


Рис. 3. Возможные схемы взаимодействия веществ в системе «галловая кислота – вода»: а) между молекулами галловой кислоты; б) между молекулами галловой кислоты и воды

Для более полной характеристики углеродных сорбентов и расчета адсорбционных параметров использованы теории мономолекулярной адсорбции (уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра), полимолекулярной адсорбции (модель БЭТ), теория объемного заполнения микропор (уравнение Дубинина – Радужкевича) [6]. Рассчитанные значения адсорбционных параметров для всех активных углей по мономолекулярной теории, обобщенной теории БЭТ и теории объемного заполнения микропор приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Параметры адсорбции галловой кислоты активными углями, рассчитанные по уравнениям Ленгмюра и Фрейндлиха

Марка угля	Ленгмюр		Фрейндлих	
	-G, кДж/моль	$\Gamma_{\text{max}}$ , моль/Г	1/n	b
АГ-ОВ-1	30,72	0,00015	1,41	$6,1 \cdot 10^{-5}$
«Пуролат-Стандарт»	30,19	0,00016	8,08	$6,6 \cdot 10^{-16}$
АБГ	29,41	0,00012	4,27	$8,8 \cdot 10^{-9}$

Используя полученные данные, рассчитаны изотермы адсорбции. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических изотерм адсорбции показал, что уравнения БЭТ, Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина – Радужкевича могут быть использованы для описания процесса адсорбции галловой кислоты из водного раствора активными углями (рис. 4–7).

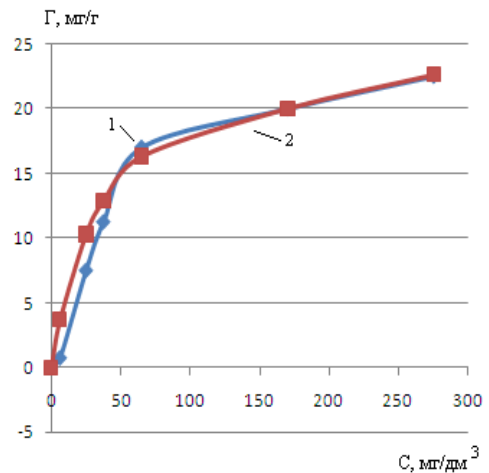


Рис. 4. Изотермы адсорбции галловой кислоты АУ АГ-ОВ-1 из водного раствора: 1 – экспериментальная; 2 – рассчитанная по уравнению Ленгмюра

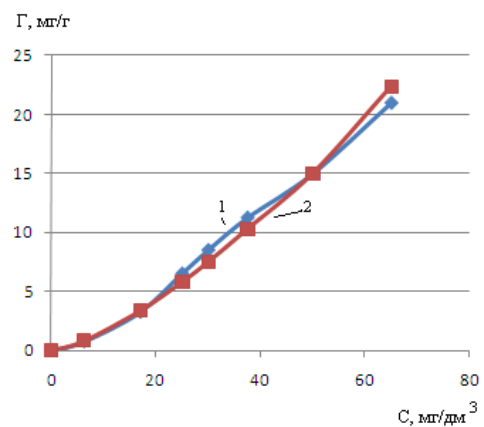


Рис. 5. Изотермы адсорбции галловой кислоты АУ АГ-ОВ-1 из водного раствора: 1 – экспериментальная; 2 – рассчитанная по уравнению Фрейндлиха

Таблица 2

Параметры адсорбции галловой кислоты активными углями, рассчитанные по уравнениям Дубинина – Радужкевича и БЭТ

Марка угля	Дубинин – Радужкевич		БЭТ	
	$\Gamma_0$ , г/г	$E_0$ , кДж/моль	$Q$ , кДж/моль	$\Gamma_{\max}$ , моль/г
АГ-ОВ-1	0,1225	8,54	13,00	$1,5 \cdot 10^{-4}$
«Пуролат-Стандарт»	0,0301	3,05	7,00	$9 \cdot 10^{-5}$
АБГ	0,0024	4,60	12,50	$1,2 \cdot 10^{-4}$

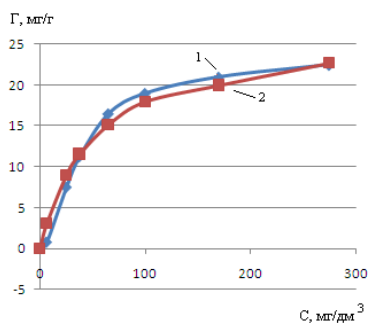


Рис. 6. Изотермы адсорбции галловой кислоты АУ АГ-ОВ-1 из водного раствора: 1 – экспериментальная; 2 – рассчитанная по теории БЭТ

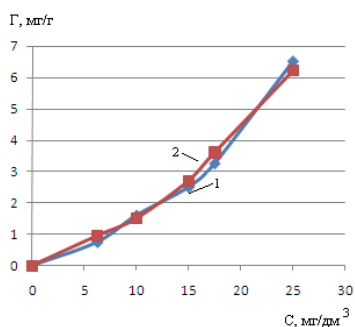


Рис. 7. Изотермы адсорбции галловой кислоты АУ АГ-ОВ-1 из водного раствора: 1 – экспериментальная; 2 – рассчитанная по уравнению Дубинина – Радужкевича

Значения величин теплоты адсорбции ( $Q$ , табл. 1) подтверждают физический характер адсорбции.

Величина характеристической энергии ( $E_0$ , табл. 1), равная 3,05–8,54 кДж/моль, свидетельствует о том, что адсорбция галловой кислоты идет в основном в мезо- и макропорах сорбента [6].

Полученные значения энергии Гиббса ( $-G$ , табл. 2) при адсорбции на всех углях соизмеримы с энергией водородной связи (8–40 кДж/моль), что позволяет предположить наличие специфического взаимодействия между адсорбентом и адсорбатом за счет образования водородных связей [7].

Различие в адсорбционном поведении исследуемых сорбентов связано, вероятно, с их структурными характеристиками. АУ марки АГ-ОВ-1 можно отнести к сорбенту с порами смешанного типа (объемы микро- и мезопор для него практически равны). АУ марки АБГ можно отнести к мезопористым, а «Пуролат-Стандарт» – к макропористым адсорбентам [3], что также подтверждается значением теплоты адсорбции 7–13 кДж/моль [7]. Кроме того, значительное влияние на адсорбцию оказывает и химическое состояние поверхности АУ – наличие кислородсодержащих функциональных групп, обеспечивающих специфическое взаимодействие поверхности АУ с карбоксильной и гидроксильными группами галловой кислоты.

## Выводы

Анализ экспериментальных изотерм адсорбции показал, что адсорбционная емкость АУ по отношению к галловой кислоте располагается в следующем ряду «Пуролат-Стандарт» > АБГ > АГ-ОВ-1.

Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности использования углеродных сорбентов марок АБГ и «Пуролат-Стандарт» для повышения качества пива. Для уточнения эффективности использования АУ для улучшения органолептических показателей сула необходимо изучить адсорбцию других приоритетных полифенолов, содержащихся в нем.

## Список литературы

1. Кругликов, Б.В. Применение ЭХА-растворов для экстракции горьких веществ хмеля / Б.В. Кругликов, М.В. Гернет // Пиво и напитки. – 2011. – № 2. – С. 36–38.
2. Меледина, Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении / Т.В. Меледина. – СПб.: Профессия, 2003. – 304 с.
3. Использование новых углеродных адсорбентов для очистки воды от фенола / О.В. Беляева, Н.С. Голубева, Е.С. Великанова, Н.В. Гора // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1. – С. 143–145.
4. Ермолаева, Г.А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия / Г.А. Ермолаева. – СПб.: Профессия, 2004. – 546 с.
5. Парфит, Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. – М.: Мир, 1986. – 488 с.
6. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко и др. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
7. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел/факс: (3842) 73-40-40,  
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

**T.A. Krasnova, N.V. Gora, N.S. Golubeva**

**INVESTIGATION ON ADSORPTION  
OF GALLIC ACID USING ACTIVATED CARBONS**

---

Adsorption of gallic acid with activated carbons have been investigated. Activated carbons differ in porous structure and chemical state of the surface. Regularities of adsorption process have been determined. The authors propose the mechanism of gallic acid adsorption. The use of activated carbons based on semi-coke to improve the quality of beer is proposed.

Gallic acid, carbon adsorbents, adsorption.

---

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.  
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40,  
e-mail: office@kemtipp.ru

*Дата поступления: 17.12.2013*

