

Научная статья
УДК 663.4

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОЙ ФРАКЦИИ БЕЛКОВ ИЗ ПИВНОГО СУСЛА

Татьяна Михайловна Панова¹, Джамиля Тимуровна Зинурова²,
Александра Антоновна Черных³

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ panovatm@m.usfeu.ru

² dgameely@gmail.com

³ cherry_cherry_uk@mail.ru

Аннотация. Предоставлены результаты исследования сорбционных свойств древесных модифицированных углей с целью извлечения высокомолекулярных фракций белковых из пивного сусла. Исследованы возможности использования активного угля марки ОУ–А для стабилизации качества пива.

Ключевые слова: стойкость пива, сорбенты, адсорбция белков, уголь, кизельгур

Для цитирования: Панова Т. М., Зинурова Д. Т., Черных А. А. Изучение сорбционных характеристик модифицированных древесных углей для извлечения высокомолекулярной фракции белков из пивного сусла // 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 technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 467–474.

Original article

STUDY OF SORPTION CHARACTERISTICS OF MODIFIED WOOD COALS BY EXTRACTION OF HIGH MOLECULAR PROTEIN FRACTION FROM BEER WORT

Tatiana M. Panova¹, Jamila T. Zinurova², Alexandra A. Chernykh³

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

¹ panovatm@m.usfeu.ru

² dgameely@gmail.com

³ cherry_cherry_uk@mail.ru

Abstract. Results of the study of sorption properties of modified wood coals for the extraction of high molecular protein fractions from beer wort are provided. The possibilities of using OC-A brand active coal to stabilize beer quality were investigated.

Keywords: beer stability, sorbents, protein adsorption, coal, kieselguhr

For citation: Panova T. M., Zinurova J. T., Chernykh A. A. (2025) Izuchenie sorbtsionnykh harakteristik modifitsirovannykh drevesnykh uglej po izvlecheniyu vysokomolekulyarnoj fraktsii belkov [Study of sorption characteristics of modified wood coals by extraction of high molecular protein fraction from beer wort]. 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. 467–474. (In Russ).

Российские лесопромышленные предприятия, особенно в густонаселенных регионах, сталкиваются с проблемой эффективного использования мягколиственных пород древесины, таких как береза. Ограниченное применение этих пород создает сложности в условиях сокращения запасов хвойных лесов. Перспективным решением является глубокая переработка древесины, в том числе производство и модификация древесного угля. Полученные в результате модификации бифункциональные нанопористые сорбенты обладают выраженными сорбционными и ионообменными свойствами, что делает их перспективными для применения в пищевой промышленности, а в частности по производству пива и напитков. Разработка новых технологий позволит расширить спектр применения модифицированных углей и создать новые материалы с заданными свойствами [1].

Цель данной работы – изучение возможности применения модифицированных древесных углей для повышения коллоидной стойкости пива.

Под коллоидной стойкостью понимают продолжительность хранения пива до появления в нем помутнений физико-химической природы. Как показали исследования, основным компонентом таких помутнений являются белки. Поэтому использование технологий, позволяющих повысить коллоидную стойкость пива, являются актуальным.

В качестве сорбента использовали древесный активный уголь, полученный на кафедре ХТДБиН УГЛТУ. Для сравнительной оценки сорбционных свойств угля применяли кизельгур, который широко используется в качестве сорбента для извлечения белков в бродильных производствах. Показатели качества угля приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели углей

Наименование показателя	Норма для марки ОУ-А ОКП-21 6236 0100 (по ГОСТ 4453)	Опытный образец
1. Внешний вид	Тонкодисперсный порошок черного цвета, не содержащий посторонних включений	
2. Адсорбционная активность по метиленовому оранжевому, мг на 1 г продукта, не менее	210	216
3. Адсорбционная активность по мелассе, %, не менее	100	112
4. Массовая доля золы, %, не более	10	6,2
5. Массовая доля влаги, %, не более	10	–

Опытный образец соответствует ГОСТ 4453 по приведённым в таблице результатам.

Для исследования извлечения белков использовали пивное сусло и пиво производства ООО «Дикий Хмель» (п. Белоярский Свердловской области) с экстрактивностью начального сусла 10,5 % [2].

Для оценки степени сорбции белков применяли методы анализа, принятые в бродильной промышленности.

На первом этапе процесс сорбции проводили на пивном сусле. Для анализа воздействия параметров обработки пивного сусла углем был разработан планируемый эксперимент. В качестве варьируемых факторов рассматривали дозировку внесения сорбента (угля) и продолжительность обработки. Процессы адсорбции проводили при постоянной температуре 10 °С. Основной уровень и интервалы варьирования переменных факторов указаны в табл. 2.

Таблица 2

Интервалы варьирования факторов

Обозначение	Варьируемые факторы	Основной уровень	Интервал варьирования	Нижний уровень	Верхний уровень
		0	Δ	-1	+1
X ₁	Дозировка внесения сорбента, % по массе	0,15	0,05	0,1	0,2
X ₂	Продолжительность обработки, мин	20	15	5	35

Откликом при проведении планируемого эксперимента выбрана степень извлечения фракции высокомолекулярных белков.

По результатам эксперимента после проверки на адекватность по критерию Фишера получено следующее уравнение регрессии (в кодированной форме):

$$Y = 36,1 - 13,3 X_1 - 6,0 X_2 - 11,2 X_1 X_2.$$

На рис. 1 представлена зависимость поверхности отклика от варьируемых факторов.

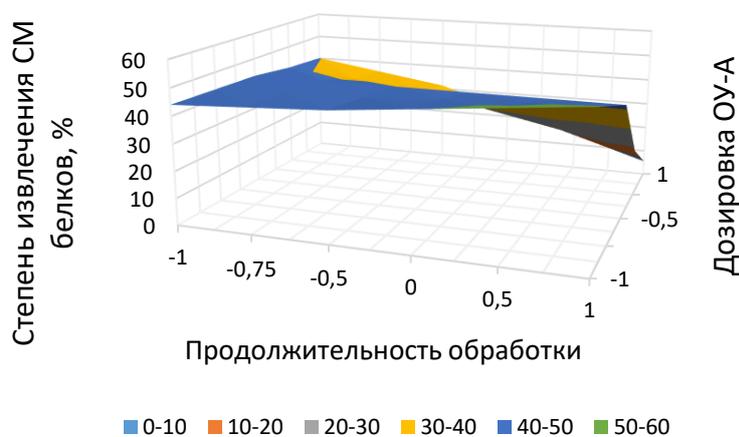


Рис. 1. Влияние дозировка внесения угля и продолжительность обработки на степень извлечения высокомолекулярной фракции белков из сусла

На основании представленных данных можно сделать вывод, что дозировка внесения угля и продолжительность обработки снижают степень извлечения фракции высокомолекулярных белков сусла. Данная зависимость прослеживается как по отдельности, так и при совместном действии факторов. При значениях факторов на минимальном уровне степень извлечения белков составляет 40...45 %, что свидетельствует о возможности модифицированного угля марки ОУ–А извлекать высокомолекулярные фракции белков. При значениях факторов на максимальном уровне степень сорбции белков несколько снижается. Это, возможно, объясняется тем, что под действием ионообменных свойств модифицированного угля происходит коагуляция средномолекулярных фракций. Таким образом, использовать повышенные значения дозировки внесения сорбента и продолжительности обработки не рекомендуется.

После проведения оптимизации рекомендован режим обработки пивного сусла модифицированным древесным углем, представленный в табл. 3

Таблица 3

Рекомендуемый режим обработки пивного сусла модифицированным активным углем

Параметр	Единица измерения	Значение
Дозировка внесения угля (от массы сусла)	%	0,1
продолжительность обработки	мин	10
Степень извлечения белков фракции А (по Лундину)	%	40...42

На втором этапе исследование сорбционных свойств угля проводили путем внесения сорбента в пиво. Для сравнения эффективности обработки параллельно использовали кизельгур, который традиционно применяется для повышения коллоидной стойкости пива в промышленных условиях. Дозировка кизельгура была выбрана в соответствии ТИ-18-6-47 и составила 0,2 % массы пива. Дозировка угля варьировалась от 0,1 % до 0,2 % от массы пива. Дозировка угля варьировалась от 0,1 до 0,2 % массы пива. Чтобы оценить возможные изменения состава пива, возникающие при перемешивании в процессе сорбции, одновременно с пробами с сорбентами использовали пробы пива без добавления последних.

Результаты влияния вида, дозировки внесения сорбента и продолжительности обработки пива на степень извлечения высокомолекулярных белков представлены на рис. 2.

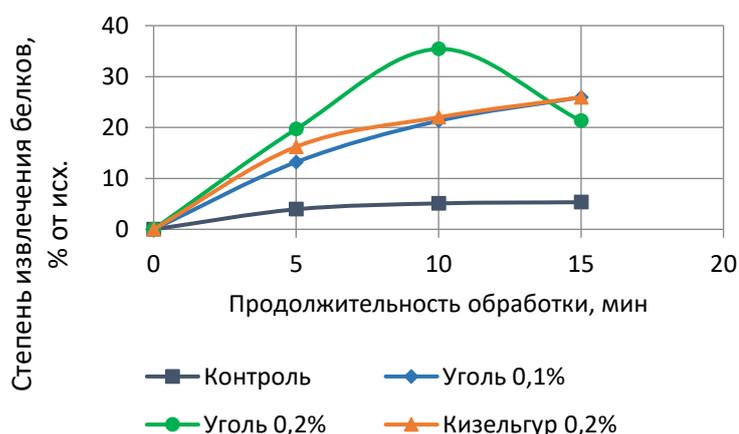


Рис. 2. Зависимость степени извлечения высокомолекулярных белков от продолжительности обработки, вида и дозировки сорбента

Как видно из графика, в течение первых десяти минут обработки наблюдается активное извлечение белков при использовании всех сорбентов. Снижение содержания высокомолекулярных белков в пробе без сорбентов (контроль) объясняется коагуляцией среднемолекулярных белков при

перемешивании. Эффективность сорбции при использовании угля в дозировке 0,1 % и кизельгура в дозировке 0,2 % при 15-минутной обработке отличается незначительно. Использование угля в дозировке 0,2 % вызывает активную сорбцию в первые 10 мин, но далее наблюдается резкое снижение степени извлечения, что подтверждает возможность коагуляции средномолекулярных белков под действием ионообменных свойств угля. На основании эксперимента рекомендовано использование угля для обработки пива в дозировке не более 0,1 %.

Учитывая высокие сорбционные свойства активного угля, можно предположить, что обработка пива данным сорбентом может привести к ухудшению некоторых его показателей (цветность, содержание алкоголя и изменение окислительно-восстановительные свойства). С этой целью изучали влияние продолжительности обработки, вида и дозировки сорбента на вышеуказанные показатели пива.

Результаты зависимости изменения цветности пива и содержания этанола в пиве в процессе сорбционной обработки показаны на рис. 3 и 4.

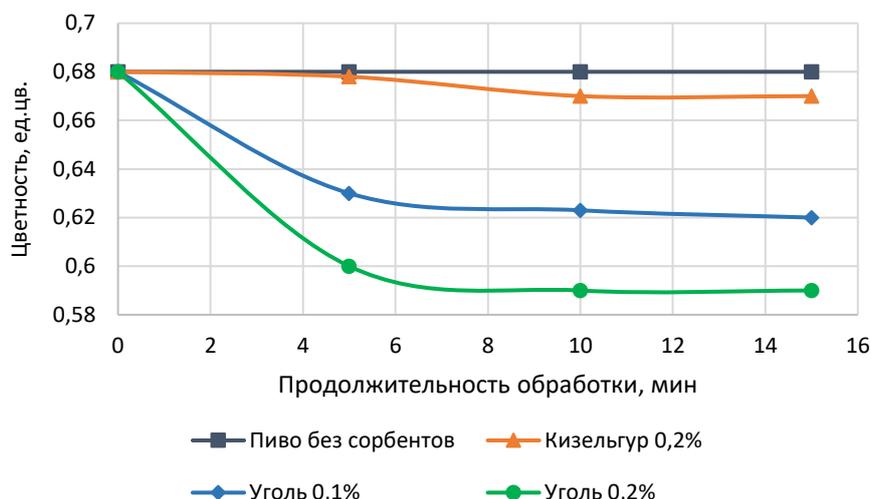


Рис. 3. Влияние продолжительности сорбционной обработки, вида и дозировки сорбента на цветность пива

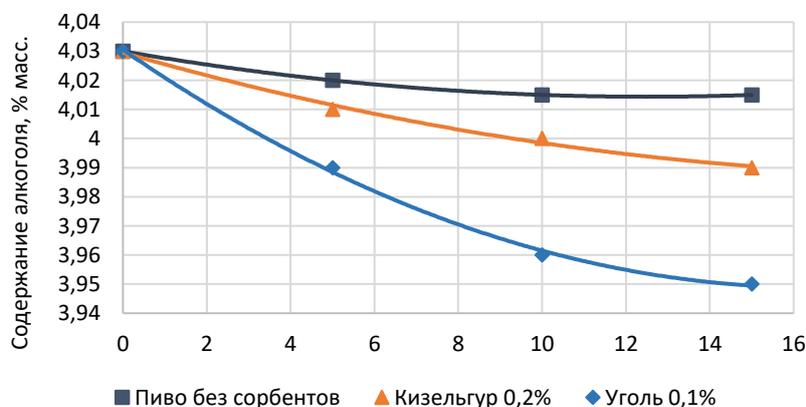


Рис. 4. Влияние продолжительности сорбционной обработки, вида и дозировки сорбента содержания этанола в пиве

Видно, что при отсутствии сорбентов и с использованием кизельгура цветность пива практически не изменяется. При использовании угля в дозировке 0,1 и 0,2 % наблюдается некоторое снижение цветности пива – 8,8 и 13 %, соответственно, что объясняется адсорбцией красящих веществ пива. Несмотря на это, по окончании процесса обработки итоговая цветность соответствует требованиям ГОСТ для светлого пива (0,2...2,5 цветовых единиц).

На представленном рисунке видно, что кизельгур не демонстрирует способности к сорбции этилового спирта. Данные рис. 4 свидетельствуют о незначительном снижении содержания этанола в пиве за счет сорбции углем, которое не превышает 0,07 % мас. при 10-минутной обработке по сравнению с исходной концентрацией и 0,04 % мас. в сравнении с кизельгуром. Тем не менее, содержание алкоголя после обработки углем соответствует требованиям ГОСТ 31711–2012.

Ключевым показателем, влияющим на коллоидную стабильность пива, является степень его окисленности (восстановленности), которая определяется уровнем редуцирующих веществ в напитке. Эти вещества играют важную роль, так как они быстро связывают доступный кислород, тем самым защищая компоненты пива от окисления, что в свою очередь предотвращает снижение его стойкости.

Оценку окислительно-восстановительных свойств пива проводили по скорости восстановления реактива Тильманса. Динамика восстановления индикатора показала, что для поддержания необходимого окислительно-восстановительного баланса не рекомендуется превышать продолжительность обработки пива углем более чем 10 мин. С увеличением длительности обработки возможно ускорение окислительных процессов, что приведет к снижению коллоидной стойкости.

Таким образом, на основании полученных результатов рекомендован режим сорбционной обработки пивом с использованием древесного модифицированного угля:

- дозировка внесения угля – 0,165 %;
- продолжительность обработки – 6...8 мин.

Применение данных условий позволит снизить содержание высокомолекулярных фракций белков до 13...13,5 мг/100 см³, что соответствует уровню высокой коллоидной стойкости пива.

Список источников

1. Евдокимова Е. В., Панова Т. М., Юрьев Ю. Л. Влияние активного угля на степень извлечения полифенолов из пивного сусла // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 6. С. 124–126.

2. Панова Т. М. Получение и применение модифицированных древесных углей в технологии пивоварения : дисс. ... канд. техн. наук / Панова Татьяна Михайловна ; Уральский Государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2020. 153 с.

References

1. Evdokimova E. V., Panova T. M., Yuryev Yu. L. Influence of activated carbon on the degree of extraction of polyphenols from beer wort // Bulletin of the Technological University. 2017. Vol. 20, № 6. P. 124–126

2. Panova T. M. Production and application of modified charcoal in brewing technology : dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Panova Tatyana Mikhailovna ; Ural State Forest Engineering University. Ekaterinburg, 2020. 153 p.