

УДК 641.56 : 664.12

DOI 10.30679/2219-5335-2022-4-76-272-284

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ
ВОЛОКОН ИЗ ЖОМА
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Тамова Майя Юрьевна
д-р техн. наук
профессор кафедры
общественного питания и сервиса
e-mail: tamova_maya@mail.ru

Барашкина Елена Владимировна
канд. техн. наук
доцент кафедры
общественного питания и сервиса
e-mail: evb11@yandex.ru

Журавлёв Ростислав Андреевич
канд. техн. наук
доцент кафедры
общественного питания и сервиса
e-mail: irostx@gmail.com

Усатиков Сергей Васильевич
д-р физ.-мат. наук
профессор кафедры
общей математики
e-mail: sv@usatikov.com

Нехай Бэла Аслановна
студент кафедры
общественного питания и сервиса
e-mail: bela.nekhay.98@mail.ru

*Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кубанский государственный
технологический университет»,
Краснодар, Россия*

Ухудшение экологической обстановки обуславливает необходимость использования в рационе питания человека ингредиентов, обладающих повышенной детоксикационной активностью к токсикантам различной природы, в том числе и к свинцу – одному из наиболее токсичных и опасных тяжелых металлов, чрезвычайно распространенному

UDC 641.56 :664.12

DOI 10.30679/2219-5335-2022-4-76-272-284

**IMPROVEMENT
OF TECHNOLOGICAL REGIMES
OF THE PRODUCTION
OF DIETARY FIBER
FROM SUGAR BEET PULP**

Tamova Maya Yurievna
Dr. Sci. Tech.
Professor of the Department
of Public Catering and Service
e-mail: tamova_maya@mail.ru

Barashkina Elena Vladimirovna
Cand. Tech. Sci.
Associate Professor of the Department
of Public Catering and Service
e-mail: evb11@yandex.ru

Zhuravlev Rostislav Andreevich
Cand. Tech. Sci.
Associate Professor of the Department
of Public Catering and Service
e-mail: irostx@gmail.com

Usatikov Sergey Vasilievich
Dr. Sci. Phys.-Math.
professor of the Department
of General Mathematics
e-mail: sv@usatikov.com

Nekhay Bela Aslanovna
Student of the Department
of Public Catering and Service
e-mail: bela.nekhay.98@mail.ru

*Federal State Budgetary
Educational Institution
of Higher Education
«Kuban State
Technological University»,
Krasnodar, Russia*

The deterioration of the environmental situation necessitates the use in the human diet of ingredients that have increased detoxification activity against toxicants of various nature, including lead, one of the most toxic and dangerous heavy metals, extremely common in the environment.

во внешней среде. Для реализации поставленной задачи актуальным представляется использование сырья растительного происхождения, в том числе и жома сахарной свеклы – вторичного продукта производства сахара, содержащего в своем составе достаточно большое количество пищевых волокон. Цель настоящей работы – совершенствование технологических режимов производства пищевых волокон из жома сахарной свеклы с высокой сорбционной способностью по отношению к ионам свинца. Комбинированные сорбенты из жома сахарной свеклы получали по модифицированной авторами технологии. Исследовали процесс экстракции пищевых волокон из жома сахарной свеклы с использованием предварительной обработки сырья электромагнитным полем крайне низкой частоты. Экспериментально установлены технологические режимы производства комбинированных сорбентов растительного происхождения с высокой детоксикационной активностью по отношению к ионам свинца. Оценку связывающей способности растворов комбинированных сорбентов проводили трилонометрическим способом, модифицированным авторами. Проведена оптимизация технологических режимов с помощью методов математического программирования. Полученные оптимальные технологические режимы позволяют сократить затраты на энергоресурсы, расходуемые на технологический процесс, за счет снижения продолжительности теплового гидролиза-экстрагирования. В сравнении с традиционным способом, разработанный технологический режим позволяет увеличить показатель связывающей способности конечного продукта по отношению к ионам свинца более чем на 20 %.

Ключевые слова: ПИЩЕВЫЕ ВОЛОКНА, ПЕКТИН, ГИДРОЛИЗ, ЭКСТРАГИРОВАНИЕ, СВЯЗЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, СВИНЕЦ, ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

It seems relevant to use raw materials of plant origin to implement the task, including sugar beet pulp, a secondary product of sugar production, which contains a fairly large amount of dietary fiber. The purpose of this work is to improve the technological regimes for the production of dietary fiber from sugar beet pulp with a high sorption capacity for lead ions. Combined sorbents from sugar beet pulp were obtained according to the technology modified by the authors. The process of extracting dietary fiber from sugar beet pulp was studied using pre-treatment of raw materials with an extremely low frequency electromagnetic field. Technological regimes for the production of combined sorbents of plant origin with high detoxification activity with respect to lead ions have been experimentally established. The binding capacity of solutions of combined sorbents was assessed by the trilonometric method modified by the authors. Optimization of technological regimes with the help of mathematical programming methods has been carried out. The obtained optimal technological regimes make it possible to reduce the cost of energy resources spent on the technological process by reducing the duration of thermal hydrolysis-extraction. In comparison with the traditional method, the developed technological mode allows increasing the binding capacity of the final product with respect to lead ions by more than 20 %.

Key words: FOOD FIBERS, PECTIN, HYDROLYSIS, EXTRACTION, BINDING ABILITY, LEAD, SECONDARY RAW MATERIAL

Введение. Проблема защиты здоровья человека от техногенного загрязнения окружающей среды становится все более актуальной.

Целесообразно использование в рационе человека ингредиентов, обладающих повышенной детоксикационной активностью. В качестве перспективного источника производства сорбентов актуальным представляется использование сырья растительного происхождения, в том числе и из вторичных источников [1].

Сахарная свекла – экономически важная культура для производства сахара во всем мире [2]. После экстракции сахара остается огромное количество остатков свекловичного жома (СЖ), который используются преимущественно для кормления животных. СЖ состоит в основном из смесей полисахаридов, примерно на одну треть целлюлозы, на одну треть пектиновых полисахаридов и на одну треть гемицеллюлоз; СЖ также содержит остатки белка, небольшое количество лигнина (до 3,5 %) и фенольных соединений (~ 1 %) [3].

Пектиновые вещества представляют собой природные полисахариды, присутствующие в структуре клеточной стенки. Пектин, экстрагируемый из клеточных стенок большинства растений, является анионным полисахаридом, который состоит из полимеров, богатых D-галактуроновой кислотой, и часто содержит значительные количества L-рамнозы, D-арабинозы и D-галактозы и 13 других моносахаридов [4]. В промышленных условиях пектин производят из яблочных выжимок и кожуры цитрусовых химическим путем экстракции сильными кислотами (серная и соляная кислоты). Обычно это приводит к деградации боковых цепей арабинана и, следовательно, к потере ферулоильных групп, которые являются ключевыми факторами сшивания пектинов [5].

Пектин, важный природный полимер, обладает многочисленными карбоксильными и гидроксильными функциональными группами, которые способны взаимодействовать с ионами тяжелых и радиоактивных металлов. Удаление ионов тяжелых металлов происходит в основном за счет

поверхностной координации, а удаление органических катионов – за счет электростатических взаимодействий функциональных групп [6].

Помимо пектиновых полисахаридов клеточная стенка СЖ содержит также полимеры целлюлозы и гемицеллюлозы. Детальные исследования состава гемицеллюлоз в СЖ показали, что он содержит как ксилановые, так и ксилоглюкановые фракции [7].

Методы экстракции значительно влияют на состав, характеристики и экстрагируемость целевого соединения, поэтому постоянно предпринимаются попытки понять процесс экстракции с использованием теоретических подходов и практического опыта [8]. Традиционно пектин извлекают из сырья горячей подкисленной водой (при температуре 70-90 °С и рН 1-3) в течение 1-6 ч. Растет интерес к использованию экологически безопасных технологий получения пищевых волокон из СЖ: ферментативная обработка [9], ультразвуковые и микроволновые технологии [10].

Abou-Elseoud W. S., Hassan E.A., Hassan M.L. [11] предложили способ получения пектиновых веществ с использованием ферментативной обработки СЖ ксиланазой, целлюлазой и их смесью. Результаты исследований показали, что использование смешанных смесей ферментов приводит к значительно более высокому выходу пектиновых веществ, чем в случае использования ферментов по отдельности. Ультразвуковая предварительная обработка значительно увеличила выход пектиновых веществ при более коротком времени ферментативной обработки.

Chen H., Fu X., Luo Z. исследовали влияние ферментативной обработки на эмульгирующие свойства пектина из СЖ. Пектин из СЖ структурно модифицировали с помощью протеазы (комбинация пепсина и пищевой кислой протеазы), эндо- α -1,4-полигалактуроназы, эндо- β -1,5-арабинаназы, эндо- β -1,4-галактаназы, ферулоилэстераза, пектинметилэстеразы и пектинацетилэстеразы для деградации белковой части, единицы галактаназы, арабинозы, галактозы, феруловой кислоты. Результаты показали, что белок,

комплексы феруловая кислота-арабан/галактан-белок и феруловая кислота играют важную роль в улучшении поверхностной активности, эмульгирующей способности и стабильности эмульгирования пектина из СЖ [12].

Этими же исследователями (Chen H., Fu X., Luo Z.) разработана технология экстракции пектиновых веществ путем использования субкритической воды – эффективного растворителя как полярных, так и неполярных соединений. Сложность данного способа заключается в высокой температуре процесса, за счет которой возможна реакция Майяра между пектиновыми веществами и белками сырья [13].

Huang X., Li D., Wang L. установили, что при кислотной экстракции СЖ, изменение степени измельчения частиц исходного экстракционного материала с 406,33 до 24,93 мкм позволяет увеличить выход пектиновых веществ с 15,81 % до 20,50 % [14]. Также наблюдается значительное увеличение содержания галактуроновой кислоты в образце с 38,51 % до 59,97 %. По мере увеличения размера частиц СЖ динамическая вязкость пектина СЖ значительно увеличивались.

Исследованиями Huang X., Li D., Wang L. показано, что различные условия сушки экстракционного материала (сушка горячим воздухом, вакуумная сушка, сублимационная сушка, распылительная сушка) влияют на показатели качества пектина: динамическую вязкость и энергию активации всех образцов СЖ [15].

В последнее время технология импульсного электрического поля привлекает значительное внимание со стороны пищевой промышленности к неактивным ферментам и патогенным микроорганизмам для улучшения качества и стабильности при хранении молока, фруктовых соков или вина. Huang X., Li D., Wang L. предложили модификацию пектина, полученного из СЖ, путем обработки его импульсным электрическим полем с помощью ангидрид арахина без растворителя. Установлено, что

термическая стабильность модифицированного пектина несколько выше, чем у чистого пектина [16]. Структура пектина изменялась при увеличении напряженности электрического поля.

В результате анализа исследований в области разработки способов получения пищевых волокон из СЖ установлена необходимость совершенствования технологических режимов производства пищевых волокон из СЖ с высокой связывающей способностью по отношению к ионам свинца.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследований использовали сухой жом сахарной свеклы, образцы полученных пектиновых веществ, комбинированных детоксикантов, кислоту лимонную по ГОСТ 908-2004, кислоту янтарную по ГОСТ 6341-75.

Комбинированные сорбенты из жома сахарной свеклы получали по модифицированной авторами технологии [17].

Содержание пектиновых веществ определяли кальций-пектатным методом.

Связывающую способность (СС) исследуемых пищевых волокон определяли трилонометрическим способом, модифицированным авторами [18, 19].

Обсуждение результатов. С учетом полученных ранее результатов [17-20] варьировали факторы, наибольшим образом влияющие при реализации процесса гидролиза-экстрагирования пектиновых веществ в контрольном образце на содержание пектина в детоксиканте (Y_1 , %) и его СС по отношению к ионам свинца Pb^{2+} (Y_2 , %). Целевыми функциями являлись $Y_1(t, pH, \tau, T, m, M) \rightarrow \max(1)$ и $Y_2(t, pH, \tau, T, m, M) \rightarrow \max(2)$, при действующих ограничениях:

- pH среды гидролизуемой смеси: $2 \leq pH \leq 3$;
- продолжительность обработки экстракционного материала ЭМП КНЧ, минут: $0 \leq \tau \leq 60$;

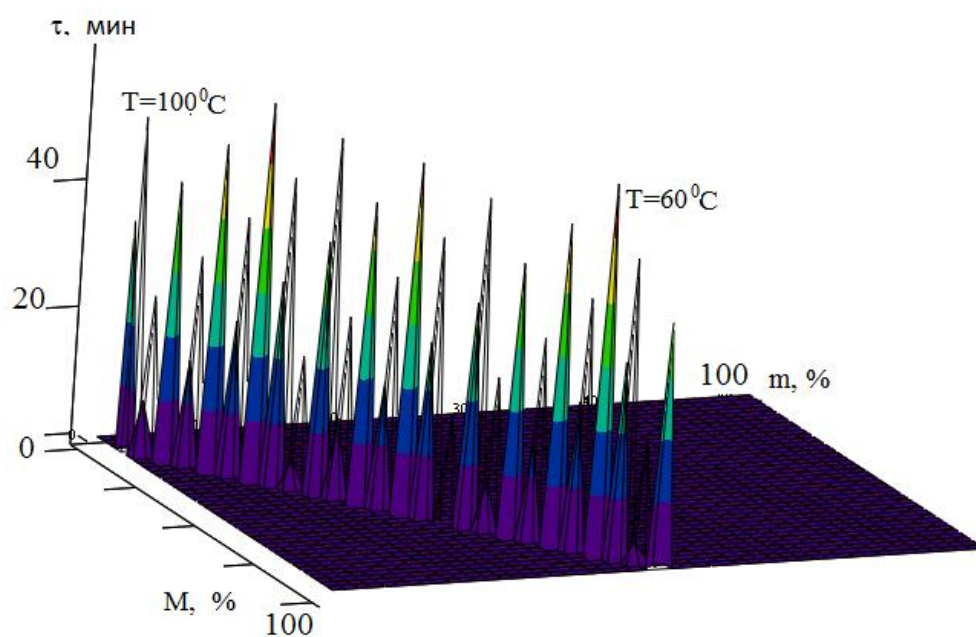
- температура гидролиза-экстрагирования, °C: $60 \leq T \leq 100$;
- массовая доля пектинового экстракта в комбинированном детоксиканте, %: $0 \leq m \leq 100$;
- массовая доля лимонной кислоты в растворе гидролизующего агента, %: $0 \leq M \leq 100$;
- продолжительность гидролиза-экстрагирования, минут: $0 \leq t \leq 120$.

Реализация плана эксперимента и обработка данных в Statistica v.12 позволила получить регрессионные модели содержания пектиновых веществ в комбинированных пищевых волокнах (Y_1 , %) и их СС (Y_2 , %) в зависимости от продолжительности гидролиза-экстрагирования, при факторах $X_1 \div X_8$ с индексом корреляции $R=0,97$ и относительной погрешностью расчётов по {1} модели $\delta < 20$ %, с вероятностью $p=86$ %. Индекс корреляции $R=0,82$ и относительная погрешность расчётов по {2} модели $\delta < 10$ %, с вероятностью $p=77$ %.

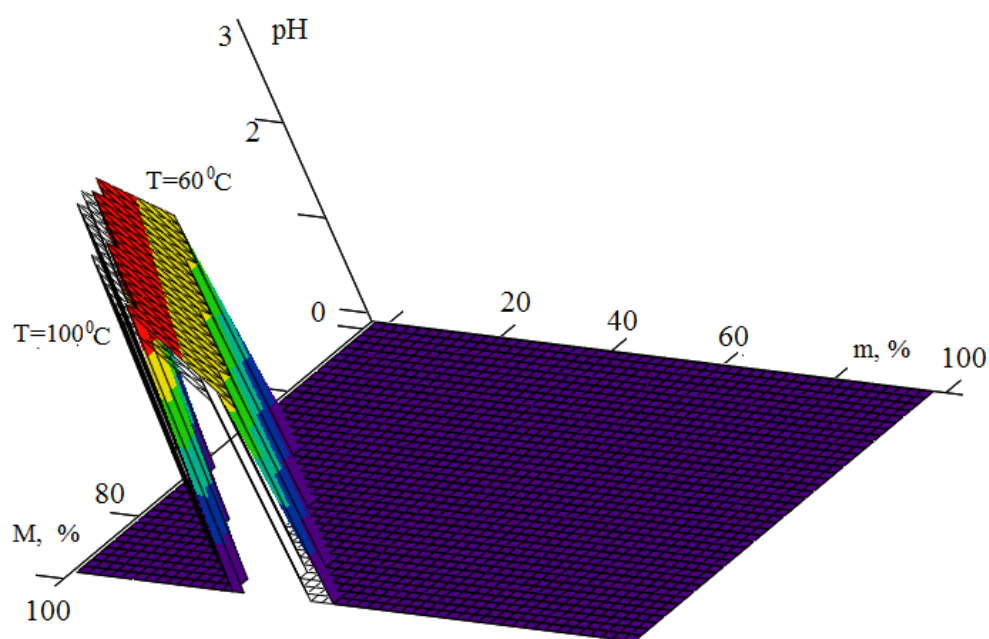
$$Y_1(t, pH, \tau, T, m, M) = \frac{4.10861586}{1 + \left(\frac{-8.94875686 - 0.72815716 \frac{t}{120} + 18.5032878 \frac{pH}{2,6} - 6.18113666 \frac{\tau}{60} - 7.18211472 \frac{T}{100} - 33.0590108 \frac{m}{100} + 37.0874418 \frac{M}{100}} \right)^2} \quad \{1\}$$

$$Y_2(t, pH, \tau, T, m, M) = \frac{100}{1 + \left(A_0 + A_1 \frac{t}{120} + D_1 \frac{pH}{2,6} + C_1 \frac{\tau}{60} + B_1 \frac{T}{100} + R_1 \frac{m}{100} + Q_1 \frac{M}{100} \right)^2} \quad \{2\}$$

Для нахождения оптимальных величин режима, проведён расчёт достижимого множества и Парето-множества на плоскости критериев Y_1 и Y_2 , средствами пакета MathCAD v.15.0. Расчётное решение по регрессионным моделям {1} для Y_1 и {2} для Y_2 – множество оптимальных решений шире экспериментального и содержит большой набор возможных оптимальных режимов (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Соотношение между оптимальными величинами τ , T , m , M , pH технологического режима при $t=0$: а - τ от T , m , M ; б - pH от T , m , M

Например, max значение $Y_2=100\%$ и $Y_1=4,1\%$ достигается при снижении продолжительности гидролиза-экстрагирования t до 0 мин. Также, max значение $Y_2=100\%$ и $Y_1=4,1\%$ достигается при следующих возможных величинах t, pH, τ, T, m, M режимов:

$$\begin{pmatrix} t \\ pH \\ \tau \\ T \\ m \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 120 \\ 2,853 \\ 60 \\ 61,925 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ и } \begin{pmatrix} t \\ pH \\ \tau \\ T \\ m \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2,467 \\ 40,466 \\ 72,65 \\ 30,617 \\ 29,381 \end{pmatrix} \quad \{3\}$$

Это даёт возможность поставить и решить задачу поиска таких оптимальных по Y_1 и Y_2 режимов, которые позволяют экономить ресурсы, затрачиваемые на технологический процесс.

Таким образом, полученные оптимальные технологические режимы позволяют сократить затраты на энергоресурсы, затрачиваемые на технологический процесс за счет снижения продолжительности теплового гидролиза-экстрагирования t до 0 мин. При этом выход пектина составляет 4,1 %, а СС детоксиканта – 99,8 %.

Проведена верификация найденных расчётным путём оптимальных величин t, pH, τ, T, m, M технологического режима.

Экспериментальные показатели связывающей способности по отношению к ионам свинца Pb^{2+} режимов {3} составляют $Y_2=98\%$ и $99,3\%$ соответственно; содержание пектиновых веществ в детоксиканте соответственно $Y_1=3,95\%$ и $4,03\%$. Относительная погрешность для содержания Y_1 пектина в детоксиканте соответственно 3,8 % и 1,7 %. Относительная погрешность для СС Y_2 детоксиканта по отношению к ионам Pb^{2+} соответственно 2 % и 0,7 %. Регрессионные модели Y_1 и Y_2 имеют соответственно погрешности расчётов $<20\%$ с вероятностью $p=86\%$ и $<10\%$,

с вероятностью $p=77\%$. Таким образом, отличия расчётных значений от экспериментальных ниже погрешности применённых регрессионных моделей.

Результаты экспериментов стали основанием для разработки технологии получения комбинированных пищевых волокон из жома сахарной свеклы (табл.).

Технологические режимы производства
комбинированных детоксикантов из свекловичного жома

Наименование технологической стадии и технологического режима	Значение технологического режима
Гидролиз-экстрагирование пульпы:	
рН среды, ед.	2,5-2,8
температура, °С	60-80
продолжительность гидролиза-экстрагирования при обработке ЭМП КНЧ, мин	40-65
массовая доля янтарной кислоты в растворе гидролизующего агента, %	70-100
массовая доля лимонной кислоты в растворе гидролизующего агента, %	0-30
Механическое смешивание клетчатки с пектином: соотношение компонентов	1:0,4 - 1:0,5

Разработанный технологический режим позволяет увеличить показатель СС по отношению к ионам свинца более чем на 20 %.

Выводы. Определены оптимальные технологические режимы производства комбинированных сорбентов из жома сахарной свеклы, обладающих высокой СС по отношению к ионам свинца, с использованием методов математического программирования.

Экспериментально установлено оптимальное соотношение клетчатки и пектиновых веществ в разработанном сорбенте – от 1:0,4 до 1:0,5, обеспечивающее высокую СС комбинированного детоксиканта – 601 мг Pb²⁺/г.

Разработанные комбинированные сорбенты растительного происхождения актуально использовать в составе продуктов функционального назначения.

Литература

1. Тамова М.Ю., Барашкина Е.В., Журавлев Р.А., Третьякова Н.Р., Франченко Е.С. Современные технологии получения пищевых волокон из вторичных продуктов переработки растительного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5-6(365-366). С. 9-13.
2. Rana A.K., Gupta V.K., Newbold J., Roberts D., Rees R.M., Krishnamurthy S., Thakur V. K. Sugar beet pulp: Resurgence and trailblazing journey towards a circular bioeconomy // Fuel. 2022. Vol. 312.
3. Almowallad S.A., Aljobair M.O., Alkuraieef A. N., Aljahani A.H., Alsuhaibani A.M., Alsayadi M.M. Utilization of agro-industrial orange peel and sugar beet pulp wastes for fungal endo- polygalacturonase production // Saudi Journal of Biological Sciences. 2022. P. 963-969.
4. Тутельян В. А., Байгарин Е. К., Погожева А. В. Пищевые волокна: гигиеническая характеристика и оценка эффективности. М.: СВР-АРГУС, 2012. 243 с.
5. Maxwell E.G., Colquhoun I., Chau H.K., Hotchkiss A.T., Waldron K.W., Morris V.J., Belshaw N.J. Modified sugar beet pectin induces apoptosis of colon cancer cells via an interaction with the neutral sugar side-chains // Carbohydrate Polymers. 2016. Vol. 136. P. 923-929.
6. Lia J., Yang Z., Ding T., Song Y., Li H.-C., Li D., Chen S., Xu F. The role of surface functional groups of pectin and pectin-based materials on the adsorption of heavy metal ions and dyes // Carbohydrate Polymers. 2022. Vol. 276.
7. Lv C., Wang Y., Wang L., Li D., Adhikari B. Optimization of production yield and functional properties of pectin extracted from sugar beet pulp // Carbohydrate Polymers. 2013. Vol. 95. P. 233-240.
8. Das I., Arora A. Kinetics and mechanistic models of solid-liquid extraction of pectin using advance green techniques- a review // Food Hydrocolloids. 2021. Vol. 120.
9. Yu C., Ahmadi S., Shen S., Wu D., Xiao H., Ding T., Liu D., Ye X., Chen S. Structure and fermentation characteristics of five polysaccharides sequentially extracted from sugar beet pulp by different methods // Food Hydrocolloids. 2022. Vol. 126.
10. Almohammed F., Koubaa M., Khelfa A., Nakaya M., Mhemdi H., Vorobiev E. Pectin recovery from sugar beet pulp enhanced by high-voltage electrical discharges // Food and Bioproducts Processing. 2017. Vol. 103. P. 95-103.
11. Abou-Elseoud W. S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. Vol. 2.

12. Chen H., Fu X., Luo Z. Effect of molecular structure on emulsifying properties of sugar beet pulp pectin // *Food Hydrocolloids*. 2016. Vol. 54. P. 99-106.
13. Chen H., Fu X., Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 168. P. 302-310.
14. Huang X., Li D., Wang L. Effect of particle size of sugar beet pulp on the extraction and property of pectin // *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 218. P. 44-49.
15. Huang X., Li D., Wang L. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions // *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 211. P. 1-6.
16. Ma S., Wang Z. Pulsed electric field-assisted modification of pectin from sugar beet pulp // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 92. P. 1700-1704.
17. Tamova M., Barashkina E., Tret'yakova N., Zhuravlev R., Penov N. Beet pulp dietary fiber exposed to an extremely low-frequency electromagnetic field: detoxification properties // *Foods and Raw Materials*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 2-9.
18. Тамова М.Ю., Барашкина Е.В., Журавлев Р.А., Третьякова Н.Р., Шантыз А.Х., Коба И.С. Детоксикационные свойства комбинированных пищевых волокон, полученных из вторичного сырья свеклосахарного производства // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019. № 5-6(371-372). С. 107-110.
19. Tamova M., Barashkina E., Zhuravlev R., Usatkov S., Dzhaboeva A. Optimization of production technology for encapsulated functional detoxicants // 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems» (ITEEA 2021). vol. 262.
20. Тамова М. Ю., Барашкина Е. В., Журавлев Р. А., Третьякова Н.Р., Усатиков С.В., Тодорова А.З. Оптимизация технологических режимов получения комбинированных детоксикантов растительного происхождения // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019. № 5-6(371-372). С. 71-74.

References

1. Tamova M.Yu., Barashkina E.V., Zhuravlev R.A., Tret'yakova N.R., Franchenko E.S. Sovremennye tekhnologii polucheniya pishchevyyh volokon iz vtorichnyh produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya // *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*. 2018. № 5-6(365-366). S. 9-13.
2. Rana A.K., Gupta V.K., Newbold J., Roberts D., Rees R.M., Krishnamurthy S., Thakur V. K. Sugar beet pulp: Resurgence and trailblazing journey towards a circular bioeconomy // *Fuel*. 2022. Vol. 312.
3. Almowallad S.A., Aljobair M.O., Alkuraieef A. N., Aljahani A.H., Alsuhaibani A.M., Alsayadi M.M. Utilization of agro-industrial orange peel and sugar beet pulp wastes for fungal endo- polygalacturonase production // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022. P. 963-969.
4. Tutel'yan V. A., Bajgarin E. K., Pogozheva A. V. Pishchevye volokna: gigienicheskaya harakteristika i ochenka effektivnosti. M.: SvR-ARGUS, 2012. 243 s.
5. Maxwell E.G., Colquhoun I., Chau H.K., Hotchkiss A.T., Waldron K.W., Morris V.J., Belshaw N.J. Modified sugar beet pectin induces apoptosis of colon cancer cells via an interaction with the neutral sugar side-chains // *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 136. R. 923-929.
6. Lia J., Yang Z, Ding T., Song Y., Li H.-C., Li D., Chen S., Xu F. The role of surface functional groups of pectin and pectin-based materials on the adsorption of heavy metal ions and dyes // *Carbohydrate Polymers*. 2022. Vol. 276.

7. Lv C., Wang Y., Wang L., Li D., Adhikari B. Optimization of production yield and functional properties of pectin extracted from sugar beet pulp // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 95. R. 233-240.
8. Das I., Arora A. Kinetics and mechanistic models of solid-liquid extraction of pectin using advance green techniques- a review // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 120.
9. Yu C., Ahmadi S., Shen S., Wu D., Xiao H., Ding T., Liu D., Ye X., Chen S. Structure and fermentation characteristics of five polysaccharides sequentially extracted from sugar beet pulp by different methods // *Food Hydrocolloids*. 2022. Vol. 126.
10. Almohammed F., Koubaa M., Khelfa A., Nakaya M., Mhemdi H., Vorobiev E. Pectin recovery from sugar beet pulp enhanced by high-voltage electrical discharges // *Food and Bioproducts Processing*. 2017. Vol. 103. R. 95-103.
11. Abou-Elseoud W. S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments // *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2021. Vol. 2.
12. Chen H., Fu X., Luo Z. Effect of molecular structure on emulsifying properties of sugar beet pulp pectin // *Food Hydrocolloids*. 2016. Vol. 54. R. 99-106.
13. Chen H., Fu X., Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 168. R. 302-310.
14. Huang X., Li D., Wang L. Effect of particle size of sugar beet pulp on the extraction and property of pectin // *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 218. R. 44-49.
15. Huang X., Li D., Wang L. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions // *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 211. R. 1-6.
16. Ma S., Wang Z. Pulsed electric field-assisted modification of pectin from sugar beet pulp // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 92. R. 1700-1704.
17. Tamova M., Barashkina E., Tretyakova N., Zhuravlev R., Penov N. Beet pulp dietary fiber exposed to an extremely low-frequency electromagnetic field: detoxification properties // *Foods and Raw Materials*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 2-9.
18. Tamova M.Yu., Barashkina E.V., Zhuravlev R.A., Tret'yakova N.R., Shantyz A.H, Koba I.S. Detoksikacionnye svoystva kombinirovannyh pishchevyh volokon, poluchennyh iz vtorichnogo syr'ya sveklosaharnogo proizvodstva // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*. 2019. № 5-6(371-372). S. 107-110.
19. Tamova M., Barashkina E., Zhuravlev R., Usatkov S., Dzhaboeva A. Optimization of production technology for encapsulated functional detoxicants // 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems» (ITEEA 2021). vol. 262.
20. Tamova M. Yu., Barashkina E. V., Zhuravlev R. A., Tret'yakova N.R., Usatkov S.V., Todorova A.Z. Optimizaciya tekhnologicheskikh rezhimov polucheniya kombinirovannyh detoksikantov rastitel'nogo proiskhozhdeniya // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*. 2019. № 5-6(371-372). S. 71-74.