

Научная статья
УДК 547.9:663.1
EDN: OWECVD
DOI: 10.21285/achb.929



Технологические аспекты переработки бересты в компонент пищевых систем для населения Арктики и Крайнего Севера

М.Н. Школьников***, И.Н. Павлов***, Е.В. Аверьянова*✉,
Е.Д. Рожнов***, О.В. Чугунова**

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Барнаул, Российская Федерация

**Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация

***Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Российская Федерация

Аннотация. Бетулинсодержащие микронутриенты улучшают качество, увеличивают физиологическую активность и срок хранения пищевых систем, что позволяет разрабатывать физиологически функциональные продукты питания для населения, проживающего в регионах Арктики и Крайнего Севера. Целью данного исследования являлась оптимизация процесса извлечения бетулина из *Betula pendula* Roth. для использования в пищевых системах нутрициологической поддержки населения, проживающего в регионах с экстремальными климатическими условиями, методом математического моделирования. Береста заготовлена в летние месяцы 2015–2021 гг. в предгорной зоне Алтайского края. Математическая оптимизация процесса экстракции бетулина из бересты белоствольных берез (*Betula pendula* Roth.), содержащей более 20% масс. основного вещества, в условиях автоклавирования осуществлена с использованием программного пакета Statistica 10. На основании анализа поверхностей отклика, построенных по уравнению регрессии, определены оптимальные параметры экстракции бетулина этиловым спиртом: размер частиц бересты 3×3 мм; гидромодуль 1:5; продолжительность процесса 150 мин, при которых выход бетулина составил более 97%, его подлинность и безопасность подтверждены экспериментально. Физиологическая активность бетулина и примеры его использования в составе различных пищевых систем для пролонгирования срока хранения доказывают возможность его использования в качестве природного консерванта и функционального компонента – антиоксиданта для обогащения продуктов питания, в частности предназначенных для населения, проживающего в экстремальных климатических условиях Арктики и Крайнего Севера.

Ключевые слова: бетулин, экстракция, береста, оптимизация условий, пищевая добавка, климатические условия Арктики и Крайнего Севера

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки Российской Федерации (государственное задание № 075-00042-24-00, номер темы FZMM-2024-0003).

Для цитирования: Школьников М.Н., Павлов И.Н., Аверьянова Е.В., Рожнов Е.Д., Чугунова О.В. Технологические аспекты переработки бересты в компонент пищевых систем для населения Арктики и Крайнего Севера // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 3. С. 371–382. DOI: 10.21285/achb.929. EDN: OWECVD.

Technological aspects of birch bark processing into a component of food systems for the population of the Arctic and the Far North

Marina N. Shkolnikova***, Igor N. Pavlov***, Elena V. Averyanova*✉,
Evgeny D. Rozhnov***, Olga V. Chugunova**

*Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

**Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russian Federation

***Biysk Technological Institute (Branch) of the Altai State Technical University, Biysk, Russian Federation

Abstract. Betulin-containing micronutrients increase the quality, physiological activity, and shelf life of food systems. Such micronutrients are relevant for developing physiologically functional food products for the population residing in the regions of the Arctic and the Far North. In this research, we aim to optimize the process of extracting betulin from *Betula pendula* Roth. for use in food systems for nutritional support of the population residing in regions with extreme climatic conditions by the method of mathematical modeling. Birch bark was harvested in the summer months of 2015–2021 in the foothill zone of the Altai Krai. Mathematical optimization of the process of betulin extraction from birch bark of white-trunked birches (*Betula pendula* Roth.), containing more than 20 wt% of the main substance, under autoclaving conditions was carried out using the Statistica 10 software package. Based on an analysis of response surfaces constructed using a regression equation, optimal parameters for betulin extraction with ethyl alcohol were determined. Thus, the birch bark particle size equals 3×3 mm; hydromodulus is 1:5; process duration is 150 min. Under these parameters, the betulin yield achieved more than 97%, with its authenticity and safety being confirmed experimentally. The physiological activity of betulin, as well as its usage examples in various food systems to prolong shelf life, prove its feasibility as a natural preserving agent. In addition, betulin can be used as a functional component, i.e., as an antioxidant for enriching food products, in particular, those intended for the population residing in extreme climatic conditions of the Arctic and the Far North.

Keywords: betulin, extraction, birch bark, optimization of conditions, food additive, climatic conditions of the Arctic and the Far North

Funding. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation supported this work (project 075-00042-24-00, FZMM-2024-0003).

For citation: Shkolnikova M.N., Pavlov I.N., Averyanova E.V., Rozhnov E.D., Chugunova O.V. Technological aspects of birch bark processing into a component of food systems for the population of the Arctic and the Far North. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(3):371-382. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.929. EDN: OWECVD.

ВВЕДЕНИЕ

Высокая биологическая активность бетулина (рис. 1), разнообразие производных, представляющих интерес для пищевой, фармацевтической, парфюмерной и химической промышленности, доступная сырьевая база, высокие коэффициенты извлечения наряду с простотой технологических решений обуславливают интерес к этому тритерпеноиду лупанового ряда на протяжении последних трех десятилетий [1].

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что введение бетулина в свободном состоянии, в виде бетулинсодержащего экстракта или в составе комплексных пищевых добавок в продукты питания не только улучшает качество и увеличивает биологическую ценность, но и продлевает срок хранения продуктов, а разнообразная физиологическая активность бетулина позволяет разрабатывать специализированные и профилактические продукты питания и напитки, способствующие поддержанию здоровья

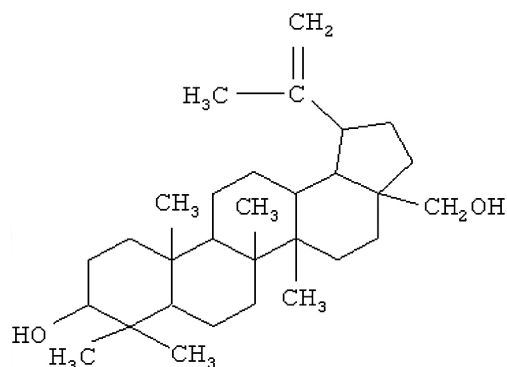


Рис. 1. Структурная формула бетулина

Fig. 1. Structural formula of betulin

населения, проживающего в регионах с экстремальными климатическими условиями – Арктики и Крайнего Севера [2–6]. Так, в АО «Якутский хлебокомбинат» (г. Якутск) выпускается в промышленных масштабах хлеб с бетулином [7], Институтом биологических проблем криолитозоны СО РАН (г. Якутск) на основе бетулина и ягеля разработана и реализуется в аптеках Якутии биологически активная добавка к пище «Бетукладин» [8], что свидетельствует о востребованности бетулина на отечественном рынке микронутриентов. Тем не менее, несмотря на то, что около 80% насаждений березы расположено на территории России, показатели производства бетулина в нашей стране составляют менее 5% от общемировых¹ [9]. Производство продуктов переработки бересты экстракционным способом налажено в ООО «Берёзовый мир» (г. Москва), ООО «БетулаФарм» (г. Пермь), ООО «Кортекс» (г. Тюмень), НПО «Экодика» (г. Киров), ООО «БЕТУВИТА» (г. Омск), АО «Аметис» (г. Благовещенск) и др. При этом их стоимость в пересчете на бетулин составляет в среднем 4,5 тыс. руб. за 100 г (данные российских маркетплейсов, 2024 г.), с учетом рекомендуемой дозировки (0,01%) увеличение стоимости 1 кг пищевого продукта в сравнении с традиционными консервантами – сорбиновой кислотой (Е200), низином (Е234), беносорбон – составит не более 4 руб.

Бетулин ($C_{30}H_{50}O_2$) представляет собой белый кристаллический порошок без запаха с $T_{пл.} = 261\text{--}262\text{ }^{\circ}\text{C}$, содержание которого в бересте может достигать 40% от массы экстрагируемых веществ [10]. Бетулин растворим в толуоле, этилацетате, низших спиртах, не растворим в воде, не гигроскопичен, способен возгоняться, окисляется до бетулиновой и бетулоновой кислот [11, 12]. На этих свойствах основаны известные в настоящее время способы получения бетулина, ключевой стадией которых является экстракция из растительной биомассы [13]. Диффузионные процессы описываются законом Фика, согласно которому градиент концентрации растворенного вещества зависит от степени измельчения сырья, типа экстрагента, продолжительности, давления, температуры процесса и гидродинамических условий, создаваемых в экстракторе. Перечисленные факторы в полном объеме можно реализовать только при условии интенсификации процесса экстракции.

Для увеличения эффективности массообменных процессов используют следующие способы интенсификации: микроволновая обработка в сверхвысокочастотном поле [14, 15], в условиях низкочастотного пневмопульсационного режима [16] и ультразвукового воздействия [17], тонкопленочная парофазная экстракция [18], механохимическая твердофазная экстракция [19], использование в качестве экстрагента (субкритической) воды и этанола [20], вакуумная сублимация и вакуумный пиролиз [21], суперкритическая флюидная экстракция диоксидом углерода [22, 23]. Немаловажную роль при этом играет и предварительная обработка растительного сырья, направленная на обеспечение последующего ускоренного доступа экстрагента к экстрагируемой клетке, которая осуществляется следующими способами: кратковременное воздействие перегретым паром [24],

активация в условиях «взрывного» автогидролиза бересты в присутствии щелочи [25], в условиях ультразвукового воздействия [26], а также путем комбинации различных методов [19, 27].

Несмотря на многообразие перечисленных современных методов экстракции для реализации в производственных масштабах наиболее востребованы методы, отличающиеся простотой технологических решений и минимальными затратами на производство, например экстракция в условиях автоклавирования. Интенсификация процесса обусловлена воздействием избыточного давления при непрерывном перемешивании растительной биомассы, которое ускоряет диффузию экстрагента по порам и капиллярам частиц бересты, заполняя клетки и другие пустоты в сырье за счет сжатия находящегося в них газа в соответствии с законом Ле Шателье – Брауна. Как правило, при экстракции в условиях избыточного давления необходимо учитывать продолжительность экспозиции, температуру, гидромодуль, природу и концентрацию растворителя, степень измельчения сырья, создаваемое давление и другие факторы [28]. В результате серии экспериментов показано, что увеличение выхода бетулина наблюдается при уменьшении размера частиц бересты, увеличении продолжительности и гидромодуля при постоянстве температуры экстракции и давления. Однако для уточнения условий автоклавирования необходимо провести оптимизацию процесса.

В связи с этим целью проведенного исследования являлась оптимизация процесса извлечения бетулина из *Betula pendula* Roth. для использования в пищевых системах нутрициологической поддержки населения, проживающего в регионах с экстремальными климатическими условиями, методом математического моделирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходного сырья использовали внешнюю часть коры (бересту) березы (*Betula pendula* Roth.), заготовленную в летние месяцы 2015–2021 гг. в предгорной зоне Алтайского края. Доброкачественность и усредненные данные по химическому составу бересты, % масс., были следующими: вода – 2,45, экстрактивные вещества – 33,22, бетулин – 21,92, дубильные вещества в пересчете на танин – 3,00, гидроксикоричные кислоты в пересчете на кофейную кислоту – 0,80, зола (общая) – 0,77 [29].

Для экстракции предварительно подготовленного растительного сырья методом периодической экстракции бетулина в динамических условиях бересту заливали экстрагентом (этиловый спирт), перемешивали и загружали в металлическую гильзу качающегося автоклава (не более 2/3 объема). На панели управления выставляли температуру экстракции 70 $^{\circ}\text{C}$. Технические характеристики автоклава качающегося представляли собой: рабочий объем – 3 л, рабочее давление – 60 ат, температурный диапазон – до 300 $^{\circ}\text{C}$ [30]. По окончании процесса массу сливали на фильтр и далее обрабатывали традиционным способом [11].

¹ Производство бетулина и бетулиносодержащих биодобавок (БАД) для людей и животных // Бизнес платформа. Режим доступа: <https://old.business-platform.ru/projects/p28760/> (дата обращения: 27.03.2024).

Регистрацию ИК-спектра поглощения бетулина осуществляли в таблетках KBr на Фурье-спектрометре ФТ-18 (Bruker, Германия) в области длин волн 4000–400 см⁻¹; Элементный анализ выполняли методом сжигания на элементном анализаторе Flash EA (Thermo Quest, Италия).

Для определения оптимальных условий выделения бетулина из бересты березы в условиях автоклавирования была проведена математическая оптимизация процесса экстракции с использованием программного пакета для статистического анализа Statistica 10 (StatSoft, США).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для систематизации полученных экспериментальных данных, а также возможности прогнозирования технологического процесса экстракции было осуществлено математическое моделирование выхода бетулина (основной контролируемый параметр – выход бетулина Y).

Изменение выхода бетулина Y , %, рассмотрено в зависимости от размера частиц бересты X_1 , мм, гидро модуля X_2 и продолжительности экстракции X_3 , мин. Для этих факторов были выбраны основные уровни и интервалы варьирования (табл. 1).

Проверку однородности дисперсий осуществляли по рассчитанному G -критерию Кохрена согласно формуле (1):

$$G_m = \frac{(S_i^2)_{\max}}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (1)$$

где S_i^2 – выборочная дисперсия i -го образца в каждой серии экспериментов; N – количество серий, $N = 3$.

Результаты эксперимента по проверке его воспроизводимости представлены в табл. 2.

Рассчитанное по формуле (1) значение G -критерия Кохрена составило 0,54, табличное значение $G_{\text{табл.}} = 0,975$. Так как $G_m < G_{\text{табл.}}$, измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми.

Исходными данными для регрессионного анализа является выход бетулина, который меняется в зависимости от указанных ранее значимых параметров: размера частиц бересты (X_1 , мм), гидро модуля (X_2) и продолжительности экстракции (X_3 , мин). Уравнение

регрессии (2) имеет следующий вид:

$$Y = 19,35 - 0,8X_1 + 2,8X_2 + 3X_3 - 0,5X_1X_2 - 0,1X_1X_3 + 1,9X_2X_3 - 0,15X_1X_2X_3. \quad (2)$$

После проверки статистической значимости коэффициентов уравнение регрессии (3) имеет вид:

$$Y = 19,35 - 0,8X_1 + 2,8X_2 + 3X_3 + 1,9X_2X_3. \quad (3)$$

Проверка гипотезы об адекватности модели основана на расчетах дисперсии адекватности $S_{\text{ад}}^2$ (4) и критерия Фишера (6):

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\varphi_{\text{ад}}}, \quad (4)$$

где $\hat{y}_i$ – значение параметра оптимизации, рассчитанное по модели для условий i -го опыта; $\varphi_{\text{ад}}$ – число степеней свободы, связанное с дисперсией адекватности (5):

$$\varphi_{\text{ад}} = N - (k + 1) = 8 - (4 + 1) = 3, \quad (5)$$

где k – число значимых коэффициентов.

Результаты расчета параметров оптимизации представлены в табл. 3.

Определяем критерий Фишера:

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2} = \frac{0,753}{0,348} = 2,16. \quad (6)$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ для трехфакторного эксперимента ($\varphi_y = 3$) табличное значение критерия Фишера составляет 6,59. Расчетное значение меньше табличного: $2,16 < 6,59$, гипотеза об адекватности модели принимается, модель считается адекватной.

Таким образом, зависимость содержания бетулина (Y) от размера частиц (X_1), гидро модуля (X_2) и продолжительности автоклавирования (X_3) описывается следующим уравнением регрессии:

$$Y = 19,35 - 0,8X_1 + 2,8X_2 + 3X_3 + 1,9X_2X_3. \quad (7)$$

Таблица 1. Значение уровней факторов и интервалов варьирования экстракции бетулина

Table 1. Significance of factor levels and variation intervals for betulin extraction

Показатель	Фактор X_1		Фактор X_2		Фактор X_3	
	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение
Основной уровень	16,5×16,5	0	1:13	0	90	0
Нижний уровень	3,0×3,0	-1	1:20	-1	30	-1
Верхний уровень	30,0×30,0	+1	1:5	+1	150	+1

Таблица 2. Результаты проверки воспроизводимости опытов

Table 2. Results of testing the repeatability of experiments

Серия	Номер опыта	Фактор X_1	Фактор X_2	Фактор X_3	Значение Y_i	$\hat{y}$, г	S_i^2
1	1	1	1	1	27,5	27,63	0,37
	2	1	1	1	27,1		
	3	1	1	1	28,3		
2	1	-1	-1	-1	16,8	16,63	0,32
	2	-1	-1	-1	16,0		
	3	-1	-1	-1	17,1		

Таблица 3. Результаты расчета параметра оптимизации

Table 3. Optimization parameter calculation results

Номер опыта	Y_2 эксп., г	$\hat{Y}_i$	$ y - \hat{y} $	$ y - \hat{y} ^2$
1	25,5	26,25	0,75	0,5625
2	16,2	16,45	0,25	0,0625
3	17,4	16,85	0,55	0,3025
4	15,1	14,65	0,45	0,2025
5	28,6	27,85	0,75	0,5625
6	18,3	18,05	0,25	0,0625
7	17,9	18,45	0,55	0,3025
8	15,8	16,25	0,45	0,2025
$S_{ад}^2$				0,753

Максимальный выход бетулина наблюдается при следующих параметрах: размер частиц 3×3 мм; гидромодуль 1:5; продолжительность 150 мин.

Анализ полученного уравнения позволяет сделать вывод, что на выход бетулина оказывают влияние все изучаемые факторы. По данному уравнению были построены поверхности отклика, которые изображены

на рис. 2–4. Линии уровня соответствуют определенным значениям результирующего критерия.

Таким образом, по результатам оптимизации процесса экстракции в условиях автоклавирования определены следующие параметры: гидромодуль 1:5; размер частиц 3×3 мм; продолжительность процесса 150 мин.

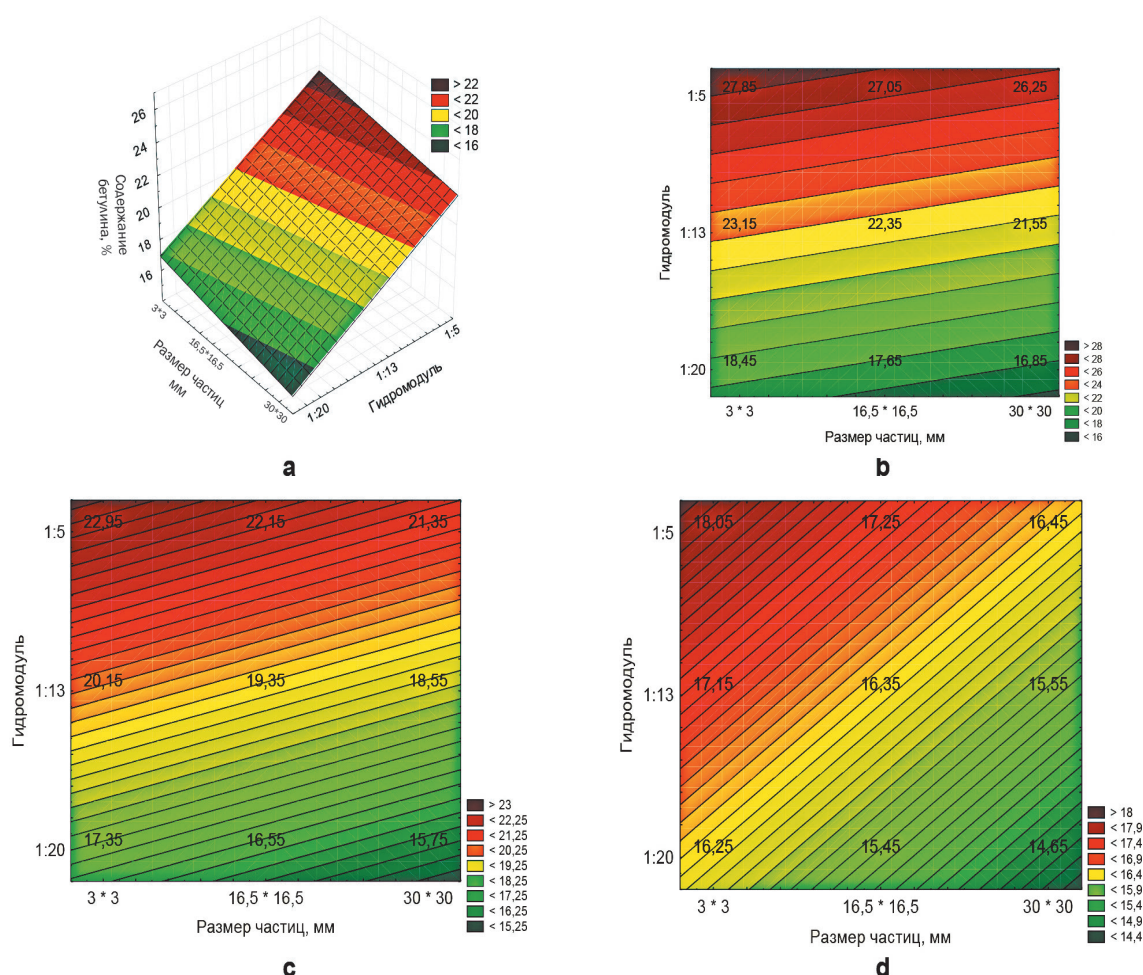


Рис. 2. Зависимость содержания бетулина (Y) от условий экстракции: а – от размера частиц (X_1) и гидромодуля (X_2); б – от размера частиц (X_1) и гидромодуля (X_2) при продолжительности экстракции 150 мин; с – от размера частиц (X_1) и гидромодуля (X_2) при продолжительности экстракции 90 мин; d – от размера частиц (X_1) и гидромодуля (X_2) при продолжительности экстракции 30 мин

Fig. 2. Dependence of betulin content (Y) on extraction conditions: a – on particle size (X_1) and hydromodulus (X_2); b – on particle size (X_1) and hydromodulus (X_2) with an extraction duration of 150 min; c – on particle size (X_1) and hydromodulus (X_2) with an extraction duration of 90 min; d – on particle size (X_1) and hydromodulus (X_2) with an extraction duration of 30 min

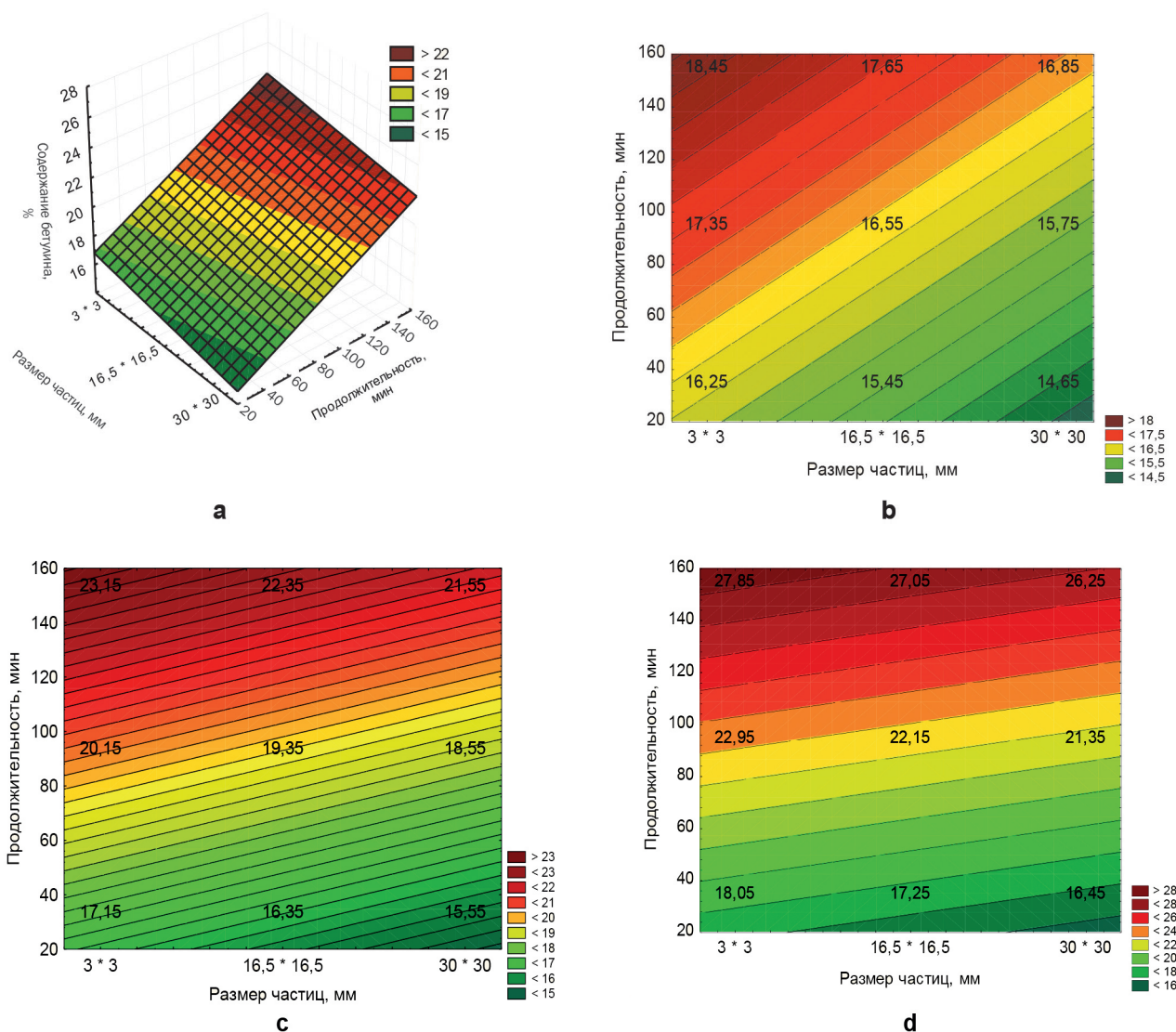


Рис. 3. Зависимость содержания бетулина (Y) от условий экстракции: а – от размера частиц (X₁) и продолжительности экстракции (X₃); б – от размера частиц (X₁) и продолжительности экстракции (X₃) при гидромодуле 1:20; с – от размера частиц (X₁) и продолжительности экстракции (X₃) при гидромодуле 1:13; д – от размера частиц (X₁) и продолжительности экстракции (X₃) при гидромодуле 1:5

Fig. 3. Dependence of betulin content (Y) on extraction conditions: а – on particle size (X₁) and extraction duration (X₃); б – on particle size (X₁) and extraction duration (X₃) at a hydromodulus of 1:20; с – on particle size (X₁) and extraction duration (X₃) at a hydromodulus of 1:13; д – on particle size (X₁) and extraction duration (X₃) at a hydromodulus of 1:5

Выход бетулина при реализации экстракции с оптимальными параметрами в качающемся автоклаве составил 97,5±0,5%; температура плавления 259–260 °С (из этанола); данные ИК-спектроскопии, см⁻¹: 3374,42 (O-H), 2939,92 (C-H)_s и 1029,57 (C-O), что соответствует литературным данным [3]. По результатам элементного анализа найдено, %: С – 81,2, Н – 11,5, О – 7,2; вычислено для C₃₀H₅₀O₂, %: С – 81,4, Н – 11,3, О – 7,2. Указанные результаты свидетельствуют о подлинности полученного бетулина.

Так как содержание бетулина в бересте берез белостовольных пород, произрастающих на всей территории Российской Федерации от Архангельска до Дальнего

Востока, отличается незначительно, то предложенный подход к его извлечению применим для бетулинсодержащего сырья, заготовленного в любом регионе.

Бетулин относится к веществам с низкой токсичностью [8], безопасность применения которого в качестве микронутриента подтверждена экспериментально. Результаты исследования гигиенических требований безопасности бетулина представлены в табл. 4 и не превышают значений, регламентированных ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (приложение 3, п. 10)².

В ряде исследований доказано антиоксидантное, адаптогенное и консервирующее действие бетулина в

² ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=m0ni44y3e4464350568> (дата обращения: 27.03.2024).

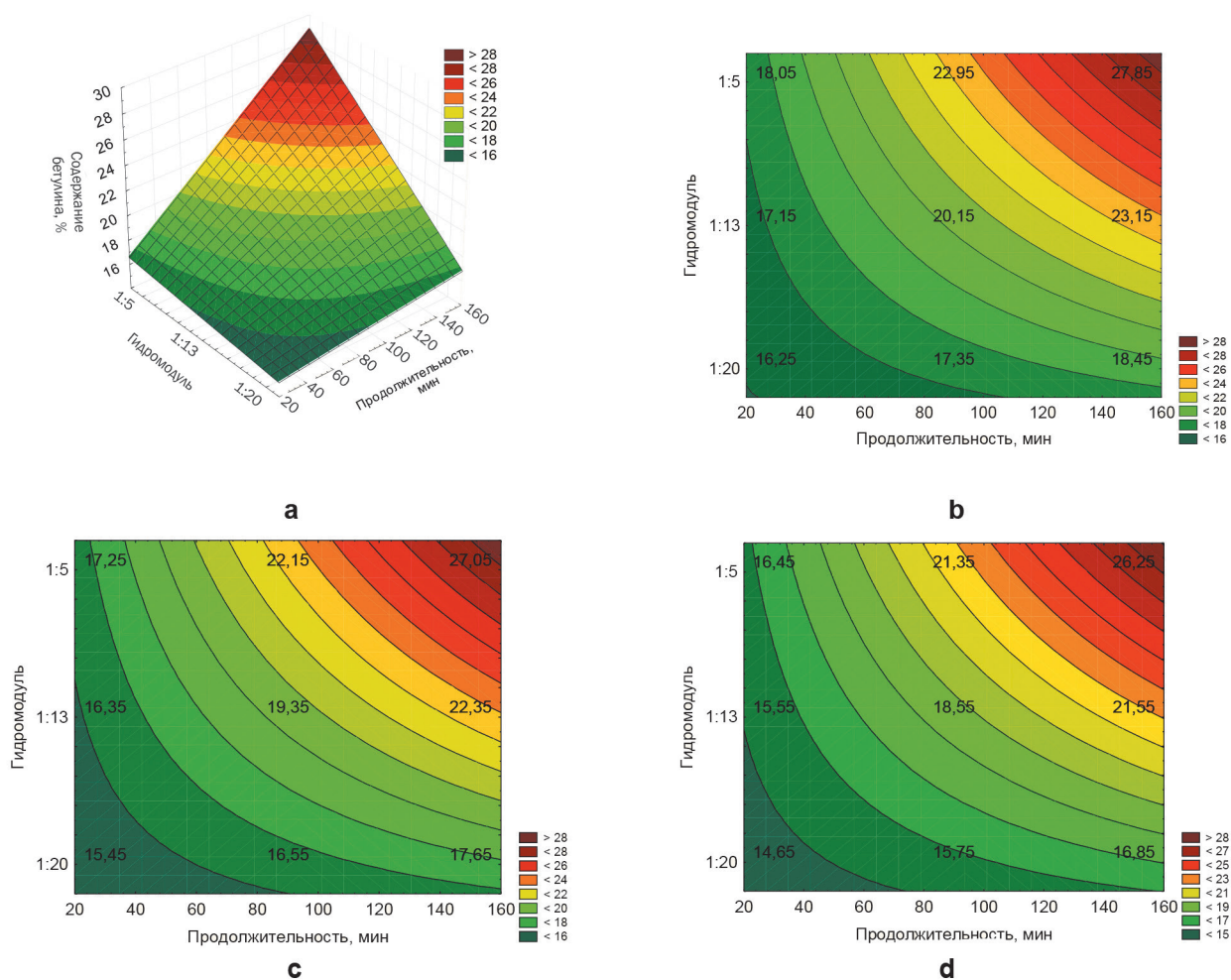


Рис. 4. Зависимость содержания бетулина (Y) от условий экстракции: а – от гидромодуля (X_2) и продолжительности экстракции (X_3); б – от гидромодуля (X_2) и продолжительности экстракции (X_3) при размере частиц 3×3 мм; с – от гидромодуля (X_2) и продолжительности экстракции (X_3) при размере частиц 16,5×16,5 мм; d – от гидромодуля (X_2) и продолжительности экстракции (X_3) при размере частиц 30×30 мм

Fig. 4. Dependence of betulin content (Y) on extraction conditions: a – on hydromodulus (X_2) and extraction duration (X_3); b – on the hydromodulus (X_2) and the duration of extraction (X_3) with a particle size of 3×3 mm; c – on the hydromodulus (X_2) and extraction duration (X_3) with a particle size of 16.5×16.5 mm; d – on the hydraulic module (X_2) and extraction duration (X_3) with a particle size of 30×30 mm

Таблица 4. Показатели безопасности бетулина

Table 4. Safety indicators of betulin

Показатель	Норма по ТР ТС 021/2011, мг/кг, не более	Фактические данные, мг/кг
Свинец	5,0	Менее 0,020
Мышьяк	3,0	Менее 0,001
Кадмий	1,0	Менее 0,001
Ртуть	1,0	Менее 0,001
Дихлордифенил-трихлорэтан и его метаболиты	0,1	Не обнаружено
Гексахлоран (α , β , γ -изомеры)	0,1	Не обнаружено
Гептахлор	Не допускается	Не обнаружено
Алдрин	Не допускается	Не обнаружено

составе пищевых продуктов: молока и молочных продуктов [31], мясных изделий [32], жиросодержащих продуктов (растительного масла, майонеза, сливочного крема) [33], рыбных продуктов [34], хлебобулочных изделий [35] и т.п., что однозначно свидетельствует о значительном потенциале бетулина как компонента пищевых систем, в том числе для потребителей климатических зон Арктики и Крайнего Севера, территория которых является неблагополучной по заболеваемости гемоконтактными гепатитами [8] и инфекционно-простудными заболеваниями в результате ослабления иммунной системы [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного исследования оптимизирован процесс экстракции бетулина из бересты березы этанолом в условиях автоклавирования. Методом математического моделирования процесса определены следующие параметры: гидромодуль 1:5; размер

частиц бересты 3×3 мм; продолжительность процесса 150 мин. Выход бетулина при реализации экстракции с оптимальными параметрами в качающемся автоклаве составил 97,5±0,5%, подлинность и безопасность образцов подтверждены экспериментально. Доказанная многочисленными исследованиями физиологическая активность бетулина и примеры его использования в составе

различных пищевых систем для пролонгирования срока хранения свидетельствуют о возможности применения бетулина в качестве природного консерванта и функционального компонента – антиоксиданта для обогащения продуктов питания, в частности предназначенных для населения Арктики и Крайнего Севера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Adepoju F.O. Duru K.C., Li E., Kovaleva E.G., Tsurkan M.V. Pharmacological potential of betulin as a multitarget compound // *Biomolecules*. 2023. Vol. 13, no. 7. P. 1105. DOI: 10.3390/biom13071105.
2. Преснова Г.А., Тюрина Н.А. Бетулинсодержащий экстракт бересты – натуральный ингредиент для создания специализированных продуктов питания // *Хлебопродукты*. 2016. N 3. С. 32–33. EDN: VMNNHD.
3. Буракова Л.Н., Плотикинов Д.А. Анализ работ в области разработки продуктов функционального назначения, обладающих иммуномодулирующими свойствами // *Ползуновский вестник*. 2021. N 3. С. 117–122. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.016. EDN: GLWQVS.
4. Zavorokhina N.V., Pankratieva N.A., Goncharova N.A. Betulin nanosuspension as a promising raw material for the production of long-term storage bread // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 548. P. 082017. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082017.
5. Azman N.A.M., Skowrya M., Muhammad K., Gallego M.G., Almajano M.P. Evaluation of the antioxidant activity of *Betula pendula* leaves extract and its effects on model foods // *Pharmaceutical Biology*. 2017. Vol. 55, no. 1. P. 912–919. DOI: 10.1080/13880209.2017.1282528.
6. Zhang W., Jiang H., Yang J., Jin M., Du Y., Sun Q., et al. Safety assessment and antioxidant evaluation of betulin by LC-MS combined with free radical assays // *Analytical Biochemistry*. 2019. Vol. 587. P. 113460. DOI: 10.1016/j.ab.2019.113460.
7. Жуков М.А., Кершенгольц Б.М., Куваев А.В. Традиционное природопользование на Севере – технологическая культура Арктической субцивилизации: от прошлого к будущему // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023. Т. 28. N 4. С. 574–583. DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-4-574-583. EDN: HGLJGB.
8. Кершенгольц Б.М., Шашурин М.М., Слепцова С.С., Винокурова М.К., Колосова О.Н. Биопрепарат из природного северного биосырья и возможности его использования при профилактике, лечении и на этапе ремиссии после перенесенных бактериальных и вирусных инфекций, включая COVID-19 // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021. Т. 26. N 3. С. 120–135. DOI: 10.31242/2618-9712-2021-26-3-120-135. EDN: JHYCCF.
9. Салыхов С.А., Фомина О.А. Перспективы производства в Тюменской области бетулина с использованием луба березы бородавчатой (*Betula verrucosa*) // *Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сб. материалов LVI науч.-практ. конф. (г. Тюмень, 14–18 марта 2022 г.)*. Тюмень: Изд-во ГАУ Северного Зауралья, 2022. С. 491–497. EDN: TGVZTU.
10. Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Валеев К.В. Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы // *Лесной вестник*. 2021. Т. 25. N 4. С. 99–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106. EDN: EZYQCM.
11. Кузнецова С.А., Скворцова Г.П., Маяр Ю.Н., Скурыдина Е.С., Веселова О.Ф. Выделение бетулина из бересты березы и изучение его физико-химических и фармакологических свойств // *Химия растительного сырья*. 2013. N 2. С. 93–100. EDN: RCYKPV.
12. Król S.K., Kiełbus M., Rivero-Müller A., Stepulak A. Comprehensive review on betulin as a potent anticancer agent // *Biomed Research International*. 2015. P. 1–11. DOI: 10.1155/2015/584189.
13. Enkh-Amgalan L., Munkhgerel L., Bayarmaa B. Chemical and technological investigation on the isolation of betulin from birch bark // *Bulletin of the Institute of Chemistry and Chemical Technology*. 2020. Vol. 8. P. 38–41. DOI: 10.5564/bicct.v0i8.1476.
14. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И., Фалева А.В. Кинетические закономерности процесса водно-щелочного гидролиза березовой коры в СВЧ-поле // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. N 3. С. 179–190. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-179-190. EDN: KCBNZN.
15. Takibaeva A.T., Kasenov R.Z., Demets O.V., Zhumadilov S.S., Bakibaev A.A. Derive betulin from Kyrgyz birch bark (*Betula kirghisorum*) through alkaline hydrolysis and microwave radiation methods // *Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан*. 2021. N 4. С. 87–92. DOI: 10.32014/2021.2518-1483.63.
16. Пат. № 2524778, Российская Федерация, МПК C07J 53/00, C07J 63/00. Способ получения бетулина / Е.Л. Мальчиков, А.Н. Кислицын, 2014. Заявл. 28.03.2013; опубл. 10.08.2014. Бюл. № 22.
17. Chen H., Xiao H., Pang J. Parameter optimization and potential bioactivity evaluation of a betulin extract from white birch bark // *Plants*. 2020. Vol. 9, no. 3. P. 392. DOI: 10.3390/plants9030392.
18. Жук В.В., Яновский В.А., Самбуева О.Б., Бакибаев А.А. Технология получения бетулина методом тонкоплочной парофазной экстракции // *Химия растительного сырья*. 2014. N 3. С. 247–253. DOI: 10.14258/jcprm.1403247. EDN: TGUFHH.
19. Панкрушина Н.А., Ломовский О.И., Шахтштейндер Т.П. Физическая активация процессов экстракции и органического синтеза // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27. N 6. С. 704–715. DOI: 10.15372/KhUR2019194. EDN: TYNADY.
20. Co M., Koskela P., Eklund-Åkergren P., Srinivas K., King J.W., Sjöberg P.J., et al. Pressurized liquid extraction of betulin and antioxidants from birch bark // *Green Chemistry*. 2009. Vol. 11, no. 5. P. 668–674. DOI: 10.1039/B819965E.
21. Demets O.V. Takibayeva A.T., Kassenov R.Z., Aliyeva M.R. Methods of betulin extraction from birch bark // *Molecules*. 2022. Vol. 27, no. 11. P. 3621. DOI: 10.3390/molecules27113621.

- 22.** Patent no. 6634575, USA. Birch bark processing and isolation of natural products from birch bark / P.A. Kratsutsky, R.M. Carlson, V.V. Nesterenko, I.M. Kolomitsyn, C.F. Edwardson. 2003.
- 23.** Zhang Y., Yu T., Wang Y. Extraction of betulin from bark of *Betula platyphylla* by supercritical carbon dioxide extraction // Journal of Forestry Research. 2003. Vol. 14, no. 3. P. 202–204. DOI: 10.1007/BF02856830.
- 24.** Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Левданский В.А., Судакова И.Г., Веселова О.Ф. Совершенствование методов выделения, изучение состава и свойств экстрактов березовой коры // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. N 3. С. 391–400. EDN: HRVEVT.
- 25.** Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Полежаева Н.И. Экстракция бетулина низшими алифатическими спиртами из внешней коры березы *Betula Pendula Roth.*, активированной перегретым паром в присутствии щелочи // Химия растительного сырья. 2004. N 2. С. 21–24. EDN: НУРQX.
- 26.** Пат. № 2640587, Российская Федерация. Способ получения бетулина / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников, С.Н. Цыганок, В.Н. Хмелев, В.А. Шакура. Заявл. 09.02.2017; опубл. 10.01.2018. Бюл. № 1.
- 27.** Akhmetova D.A., Fakhrutdinov R.R., Prokofieva A.A. Overview of betulin extraction technologies from birch bark and birch bark // Наука и технологии в лесопромышленном комплексе: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Брянск, 20–21 июля 2023 г.). Брянск: Изд-во БГИТУ, 2023. С. 9–12. EDN: НЮКFI.
- 28.** Дубашинская Н.В., Хишова О.М., Шимко О.М. Некоторые особенности экстрагирования лекарственного растительного сырья (часть I) // Вестник фармации. 2006. N 4. С. 62–72. EDN: KZJJZB.
- 29.** Аверьянова Е.В., Школьников М.Н. Повышение эффективности бетулинсодержащих пищевых ингредиентов из бересты березы повислой (*Betula Pendula Roth.*) в составе пищевых систем // Химия растительного сырья. 2022. N 4. С. 333–341. DOI: 10.14258/jcrpm.20220411171. EDN: GGNJYT.
- 30.** Полезная модель № 2518, РФ. Качающийся автоклав с электрообогревом для проведения гетерогенных процессов / В.А. Куничан, Г.И. Севодина, В.П. Севодин, Ю.Н. Денисов, В.М. Буров. Заявл. 06.07.1994; опубл. 16.08.1996.
- 31.** Юферова А.А., Сударева М.А., Дубняк Я.В. Применение природных антиоксидантов в технологии молочных продуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. N 2. С. 98–107. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-2-98-107. EDN: HZPPIF.
- 32.** Гаптар С.Л., Сороколетов О.Н., Тарабанова Е.В., Кошелева Е.А., Лисиченок О.В., Головкин А.Н. Расширение ассортиментной линейки пищевых продуктов специализированного назначения и функциональной направленности // Инновации и продовольственная безопасность. 2021. N 4. С. 55–67. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-56-67. EDN: MVJEGJ.
- 33.** Базарнова Ю.Г. Биотехнологический потенциал сухого экстракта бересты и возможности его использования в технологии продуктов здорового питания // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. N 2. С. 59–65. EDN: TXJCSD.
- 34.** Альраджаб М., Шульгина Л.В., Приходько Ю.В., Касьянов С.П. Технология и характеристика диетического продукта на основе икры горбуши и жира сардины иваси // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2021. N 3. С. 100–107. DOI: 10.24866/2311-2271/2021-3/99-106. EDN: BUIPEQ.
- 35.** Шевелева Т.А. Нетрадиционное растительное сырье в рецептурах хлебобулочных изделий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. Т. 167. N 2. С. 143–150. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-143-150. EDN: BPHMKF.

REFERENCES

- 1.** Adepoju F.O., Duru K.C., Li E., Kovaleva E.G., Tsurkan M.V. Pharmacological potential of betulin as a multitarget compound. *Biomolecules*. 2023;13(7):1105. DOI: 10.3390/biom13071105.
- 2.** Presnova G.A., Tyurina N.A. Betulin-containing birch bark extract is a natural ingredient for creating specialized food products. *Khleboпродукты*. 2016;3:32–33. (In Russian). EDN: VMNNHD.
- 3.** Burakova L.N., Plotnikov D.A. Analysis of studies on development of functional products with immunomodulatory properties. *Polzunovskiy vestnik*. 2021;3:117–122. (In Russian). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.016. EDN: GLWQVS.
- 4.** Zavorokhina N.V., Pankratieva N.A., Goncharova N.A. Betulin nanosuspension as a promising raw material for the production of long-term storage bread. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;548:082017. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082017.
- 5.** Azman N.A.M., Skowrya M., Muhammad K., Gallego M.G., Almajano M.P. Evaluation of the antioxidant activity of *Betula pendula* leaves extract and its effects on model foods. *Pharmaceutical Biology*. 2017;55(1):912–919. DOI: 10.1080/13880209.2017.1282528.
- 6.** Zhang W., Jiang H., Yang J., Jin M., Du Y., Sun Q., et al. Safety assessment and antioxidant evaluation of betulin by LC-MS combined with free radical assays. *Analytical Biochemistry*. 2019;587:113460. DOI: 10.1016/j.ab.2019.113460.
- 7.** Zhukov M.A., Kershengolts B.M., Kuvaev A.V. Traditional nature management in the North as a technological culture of the Arctic subcivilization: from past to future. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(4):574–583. (In Russian). DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-4-574-583. EDN: HGLJGB.
- 8.** Kershengolts B.M., Shashurin M.M., Sleptcova S.S., Vinokurova M.K., Kolosova O.N. Biological product from natural northern biological raw materials with possible use in the prevention, treatment and remission stages after bacterial and viral infections, including COVID-19. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2021;26(3):120–135. (In Russian). DOI: 10.31242/2618-9712-2021-26-3-120-135. EDN: JHYCCF.
- 9.** Salakhov S.A., Fomina O.A. Prospects for the production of betulin in the tyumen region using warty birch bast (*Betula verrucosa*). In: *Dostizheniya molodezhnoi nauki dlya agropromyshlennogo kompleksa: sb. materialov LVI nauch.-prakt. konf. = Achievements of youth science for the agro-industrial complex: Proc. 56th Sci. Pract. Conf.* 14–18 March 2022, Tyumen. Tyumen: Northern

Trans-Ural State Agricultural University; 2022, p. 491-497. (In Russian). EDN: TGVZTU.

10. Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V. Energy-saving technology for betulin extraction from birch bark waste. *Forestry Bulletin*. 2021;4(25):99-106. (In Russian). DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106. EDN: EZYCQM.

11. Kuznetsova S.A., Skvortsova G.P., Maliar Iu.N., Skurydina E.S., Veselova O.F. Extraction betulin from birch bark and study of its physicochemical and pharmacological properties. *Chemistry of plant raw material*. 2013;2:93-100. (In Russian). EDN: RCYKPV.

12. Król S.K., Kielbus M., Rivero-Müller A., Stepulak A. Comprehensive review on betulin as a potent anticancer agent. *Biomed Research International*. 2015:1-11. DOI: 10.1155/2015/584189.

13. Enkh-Amgalan L., Munkhgerel L., Bayarmaa B. Chemical and technological investigation on the isolation of betulin from birch bark. *Bulletin of the Institute of Chemistry and Chemical Technology*. 2020;8:38-41. DOI: 10.5564/bicct.v0i8.1476.

14. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I., Faleva A.V. Kinetics of water-alkaline hydrolysis of birch bark in a microwave field. *Russian Forestry Journal*. 2022;3:179-190. (In Russian). DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-179-190. EDN: KCBNZN.

15. Takibaeva A.T., Kasenov R.Z., Demets O.V., Zhumadilov S.S., Bakibaev A.A. Derive betulin from Kyrgyz birch bark (*Betula kirghisorum*) through alkaline hydrolysis and microwave radiation methods. *Reports of NAS RK*. 2021;4:87-92. DOI: 10.32014/2021.2518-1483.63.

16. Mal'chikov E.L., Kisilitsyn A.N. *Method of producing betulin*. Patent RF, no. 2524778; 2014. (In Russian).

17. Chen H., Xiao H., Pang J. Parameter optimization and potential bioactivity evaluation of a betulin extract from white birch bark. *Plants*. 2020;9(3):392. DOI: 10.3390/plants9030392.

18. Zhuk V.V., Ianovskii V.A., Sambueva O.B., Bakibaev A.A. Technology of thin-film method betulin vapor-phase extraction. *Chemistry of plant raw material*. 2014;3:247-253. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.1403247. EDN: TGUFHH.

19. Pankrushina N.A., Lomovsky O.I., Shakhtshneider T.P. Physical activation of extraction and organic synthesis processes. *Chemistry for Sustainable Development*. 2019;27(6):704-715. (In Russian). DOI: 10.15372/KhUR2019194. EDN: TYNADY.

20. Co M., Koskela P., Eklund-Åkergren P., Srinivas K., King J.W., Sjöberg P.J., et al. Pressurized liquid extraction of betulin and antioxidants from birch bark. *Green Chemistry*. 2009;11(5):668-674. DOI: 10.1039/B819965E.

21. Demets O.V., Takibayeva A.T., Kassenov R.Z., Aliyeva M.R. Methods of betulin extraction from birch bark. *Molecules*. 2022;27(11):3621. DOI: 10.3390/molecules27113621.

22. Krasutsky P.A., Carlson R.M., Nesterenko V.V., Kolomitsyn I.M., Edwardson C.F. *Birch bark processing and isolation of natural products from birch bark*. Patent USA, no. 6634575; 2003.

23. Zhang Y., Yu T., Wang Y. Extraction of betulin from bark of *Betula platyphylla* by supercritical carbon dioxide extraction. *Journal of Forestry Research*. 2003;14(3):202-204. DOI: 10.1007/BF02856830.

24. Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Levanskii V.A., Sudakova I.G., Veselova O.F. Improving isolation methods, studying the composition and properties of birch bark extracts. *Chemistry for Sustainable Development*. 2005;3(13):391-400. (In Russian). EDN: HRVEVT.

25. Kuznetsov B.N., Levanskii V.A., Polezhaeva N.I. Betulin extraction with lower aliphatic alcohols from the outer bark of the birch *Betula Pendula Roth.*, activated by superheated steam in the presence of alkali. *Chemistry of plant raw material*. 2004;2:21-24. (In Russian). EDN: HYPYQX.

26. Averyanova E.V., Shkolnikova M.N., Tsyganok S.N., Khmelev V.N., Shakura V.A. *Method for obtaining betulin*. Patent RF no. 2640587; 2018. (In Russian).

27. Akhmetova D.A., Fakhrutdinov R.R., Prokofieva A.A. Overview of betulin extraction technologies from birch bark and birch bark. *Nauka i tekhnologii v lesopromyshlennom komplekse: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Science and technology in the forest industry: Proc. Int. Sci. Pract. Conf.* 20–21 July 2023, Bryansk. Bryansk: Bryansk State Technological University Of Engineering; 2023, p. 9-12. (In Russian). EDN: HJYKFI.

28. Dubashinskaya N.V., Khishova O.M., Shimko O.M. Some features of the extraction of medicinal plant materials (part I). *Vestnik farmatsii*. 2006;4:62-72. (In Russian). EDN: KZJJZB.

29. Averyanova E.V., Shkolnikova M.N. Improving the efficiency of betulin-containing food ingredients from silver birch (*Betula Pendula Roth.*) in food systems. *Chemistry of plant raw material*. 2022;4:333-341. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.20220411171. EDN: GGNJYT.

30. Kunichan V.A., Sevodina G.I., Sevodin V.P., Denisov Ju.N., Burov V.M. *Oscillating autoclave with electrical heating for heterogeneous processes*. Utility model RF, no. 2518; 1996. (In Russian).

31. Yuferova A.A., Sudareva B.A., Dubnyak Y.V. The use of natural antioxidants in dairy technology. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*. 2021;2:98-107. (In Russian). DOI: 10.24412/2311-6447-2021-2-98-107. EDN: HZPPIF.

32. Gaptar S.L., Sorokoletov O.N., Tarabanova E.V., Kosheleva E.A., Lisichenok O.V., Golovko A.N. Expanding the range of food products for special purpose and functionality. *Innovations and Food Safety*. 2021;4:55-67. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-56-67. EDN: MVJEGJ.

33. Bazarnova U.G. Dry birchbark extractsbiotechnological potentialand possibilities of itsusing in the healthy foodtechnology. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2015;2:59-65. (In Russian). EDN: TXJCSD.

34. Al'rajab M., Shulgina L.V., Prikhodko Yu.V., Kas'janov S.P. Technology and characteristics of a diet product based on human bear caviar and fat of sardinops melanostictus. *The Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*. 2022;3:100-107. (In Russian). DOI: 10.24866/2311-2271/2021-3/99-106. EDN: BUIPEQ.

35. Sheveleva T.L. Nonconventional vegetable raw materials in bakery recipes. *Bulletin of KrasGAU*. 2021;2:143-150. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-143-150. EDN: BPHMKF.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Школьникова Марина Николаевна,

д.т.н., доцент,
ведущий научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
профессор,
Уральский государственный
экономический университет,
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта / Народной
Воли, 62/45, Российская Федерация,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Павлов Игорь Николаевич,

к.т.н., доцент, доцент,
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
659305, г. Бийск, ул. Имени Героя Советского Союза
Трофимова, 27, Российская Федерация,
pavlov.in@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4883-5325>

Аверьянова Елена Витальевна,

д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
✉ averianova.ev@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Рожнов Евгений Дмитриевич,

д.т.н.,
научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
профессор,
Уральский государственный
экономический университет,
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта / Народной
Воли, 62/45, Российская Федерация,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Чугунова Ольга Викторовна,

д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой,
Уральский государственный
экономический университет,
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта / Народной
Воли, 62/45, Российская Федерация,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina N. Shkolnikova,

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Leading Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
Professor,
Ural State University of Economics,
62/45, 8 Marta St. / Narodnaya Volya,
Yekaterinburg, 620144, Russian Federation,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Igor N. Pavlov,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor,
Biysk Technological Institute (Branch)
of the Altay State Technical University,
27, Hero of the Soviet Union Trofimov St., Biysk,
659305, Russian Federation,
pavlov.in@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4883-5325>

Elena V. Averyanova,

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Leading Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
✉ averianova.ev@bti.secna.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Evgeny D. Rozhnov,

Dr. Sci. (Engineering),
Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
Professor,
Ural State University of Economics,
62/45, 8 Marta St. / Narodnaya Volya,
Yekaterinburg, 620144, Russian Federation,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Olga V. Chugunova,

Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Head of Department,
Ural State University of Economics,
62/45, 8 Marta St. / Narodnaya Volya,
Yekaterinburg, 620144, Russian Federation,
tp@usue.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Вклад авторов

М.Н. Школьников – разработка концепции исследования, руководство исследованием, написание и редактирование рукописи.
И.Н. Павлов – обработка и анализ полученных данных.
Е.В. Аверьянова – проведение экспериментального исследования, написание рукописи.
Е.Д. Рожнов – информационный поиск, оформление статьи.
О.В. Чугунова – проведение аналитического исследования, написание статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 01.04.2024.
Одобрена после рецензирования 31.07.2024.
Принята к публикации 30.08.2024.

Contribution of the authors

Marina N. Shkolnikova – conceptualization and supervision of the study, writing and editing the manuscript.
Igor N. Pavlov – processing and analysis of the data obtained.
Elena V. Averyanova – conducting experiments and writing the manuscript.
Evgeny D. Rozhnov – information search, article design.
Olga V. Chugunova – conducting analytical research, writing the manuscript.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 01.04.2024.
Approved after reviewing 31.07.2024.
Accepted for publication 30.08.2024.