

Научная статья

УДК 634.1.076:664.87:796

DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-71-85

Совершенствование технологии ферментативной переработки фруктов с дефектами внешнего вида

Вадим Александрович Карлов¹✉, Ольга Яковлевна Мезенова²

^{1,2} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ vaden1410@gmail.com✉, <https://orcid.org/0009-0006-1547-5772>

² mezenova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Аннотация. Высокое содержание свободной влаги и активных ферментов в свежей плодоовощной продукции обуславливает ее скоропортящийся характер и значительные потери при хранении и транспортировке, достигающие в Калининградской области 56 тыс. т ежегодно. Особые потери составляют фрукты с дефектами внешнего вида, которые, сохраняя свою высокую биологическую ценность, подвергаются утилизации. Это определяет актуальность разработки эффективных технологий их переработки. В работе представлены исследования по совершенствованию технологии получения функциональной пищевой добавки «ВИТУ-МИН» из фруктов пониженного качества путем интенсификации процесса биоконверсии сырья на основе двухэтапного ферментолитиза. Обоснован состав ферментного комплекса карбогидраз с учетом полисахаридного состава исходных фруктов (яблок, бананов, апельсинов): первый этап включает обработку целлюлазой и пектиназой для деструкции клеточных стенок и высвобождения БАВ, второй – использование β -глюконазы, глюкаваморина, альфа-лактазы БТ для гидролиза высвободившихся полисахаридов. Методом математического моделирования определены оптимальные значения факторов первого этапа: температура 49 °С, pH 3,8, продолжительность 2 ч. Экспериментально подтверждена эффективность разработанной схемы: выход жидкой фракции увеличился на 62,3 %, содержание сухих веществ – на 15,7 %, выход целевой добавки возрос на 7,9 % по сравнению с одностадийной обработкой. Данные ИК-спектроскопии подтвердили глубокую деградацию целлюлозно-пектинового комплекса. Полученная добавка характеризуется высоким содержанием витаминов С (66,5 мг/100 г) и Р (122,5 мг/100 г), соответствует требованиям микробиологической безопасности ТР ТС 021/2011 и рекомендуется к использованию для обогащения традиционных, функциональных и специализированных пищевых продуктов.

Ключевые слова: фрукты пониженного качества, ферментолитиз, карбогидразы, функциональная пищевая добавка, пищевая ценность.

Благодарности: авторы выражают благодарность доценту кафедры химии Калининградского государственного технического университета, кандидату химических наук Булычеву Александру Григорьевичу за помощь в проведении аналитических исследований.

Для цитирования: Карлов В. А., Мезенова О. Я. Совершенствование технологии ферментативной переработки фруктов с дефектами внешнего вида // Известия КГТУ. 2026. № 81. С. 71–85. DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-71-85.

Original article

Improvement of the technology for enzymatic processing of fruits with visual defects

Vadim A. Karlov^{1✉}, Ol'ga Ya. Mezenova²

^{1,2} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ vaden1410@gmail.com[✉], <https://orcid.org/0009-0006-1547-5772>

² mezenova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Abstract. High content of free moisture and active enzymes in fresh fruits and vegetables determines their perishable nature and leads to significant losses during storage and transportation, reaching 56 thousand tons annually in the Kaliningrad region. Fruits with visual defects constitute a particular portion of these losses, as they are discarded despite retaining high biological value. This underscores the relevance of developing efficient technologies for their processing. This paper presents research on improving the technology for producing the functional food additive "VITUMIN" from low-grade fruits by intensifying the bioconversion of raw materials through two-stage enzymolysis. The composition of the carbohydrase enzyme complex has been substantiated based on the polysaccharide profile of the source fruits (apples, bananas, oranges). The first stage involves treatment with cellulase and pectinase to disrupt cell walls and release biologically active substances (BAS); the second stage utilizes β -glucanase, Glucavamorin, and Alphasyl BT to hydrolyze the released polysaccharides. Using mathematical modeling, we determined the optimal values for the first-stage factors: temperature 49°C, pH 3.8, and duration of 2 hours. The effectiveness of the developed scheme has been experimentally confirmed: the liquid fraction yield increased by 62.3%, the dry matter content by 15.7%, and the yield of the target additive increased by 7.9% compared to single-stage processing. IR spectroscopy data confirmed the profound degradation of the cellulose-pectin complex. The resulting additive is characterized by a high content of vitamins C (66.5 mg/100 g) and P (122.5 mg/100 g), meets the microbiological safety requirements of TR CU 021/2011, and is recommended for use in enriching traditional, functional, and specialized food products.

Keywords: low-grade fruits, enzymatic hydrolysis, carbohydrase enzymes, functional food ingredient, biological value.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to Alexander G. Bulychev, PhD in Chemistry, Associate Professor at the Department of Chemistry (Kaliningrad State Technical University), for his assistance with the analytical research.

For citation: Karlov V. A., Mezenova O. Ya. Improvement of the technology for enzymatic processing of fruits with visual defects. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2026;(81):71–85. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-71-85.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших компонентов сбалансированного и здорового питания являются продукты растительного происхождения, такие как фрукты и овощи, травы и ягоды. По данным Всемирной организации здравоохранения и Министерства здравоохранения РФ рекомендуется систематически потреблять не менее 400 г/день фруктов и овощей, равномерно разделенных на 5–6 порций. Подобное распределение способствует поддержанию стабильного уровня сахара в крови, обеспечивает равномерное поступление в организм пищевых волокон, витаминов, антиоксидантов и минеральных веществ, а также позволяет оптимизировать работу пищеварительной системы и синтез необходимых метаболитов [1, 2].

Следует отметить, что нутриентный состав свежих фруктов и овощей определяет также их хранимоспособность. Они отличаются высоким содержанием влаги, простых сахаров, активными ферментными системами, что делает их уязвимыми и скоропортящимися при хранении [3]. Процессы ухудшения качества за счет ферментации начинаются практически сразу после сбора урожая. На первых этапах хранения сырье безопасно и сохраняет все биологически активные вещества (БАВ), однако при этом теряются внешние потребительские свойства, появляются трещины, вмятины, что затрудняет его дальнейшую реализацию. В большинстве случаев это приводит к последующей утилизации фруктов и овощей [4]. Так, в 2024 г. на территории Калининградской области количество растительных утилизированных отходов составило около 56 тыс. т без учета потерь на производстве и в торговых сетях.

Наибольшую долю среди растительных отходов занимают фрукты, что объясняется повышенным содержанием в их составе углеводов (в особенности простых моно- и дисахаридов) и активных ферментов (полифенолоксидаза, аскорбатоксидаза, различные гидролазы). Все это обуславливает быстрое протекание нежелательных физико-химических процессов, особенно при нарушениях условий хранения и транспортировки.

Фрукты с внешними дефектами, или фрукты пониженного качества (ФПК), обладают значительным биопотенциалом благодаря высокому содержанию многих БАВ (углеводов, витаминов, минеральных веществ, органических кислот) и широкому спектру минорных компонентов (флавоноидов, антоцианов, катехинов, гликозидов, аминов, органических кислот и т. д.). Однако современные промышленные методы переработки не позволяют полностью реализовать этот потенциал из-за технологических ограничений, а также отсутствия рациональных способов переработки. Основная масса ФПК утилизируется, что ведет к экономическим потерям и создает экологические проблемы для окружающей среды.

Приведенные факторы обосновывают актуальность совершенствования технологии переработки фруктового сырья с внешними дефектами качества с учетом его высокой биологической ценности.

Перспективным решением проблемы является получение из ФПК функциональных пищевых добавок серии «ВИТУМИН» с применением методов биотехнологии [5]. Целевые добавки, полученные по разработанному методу, представляют собой сухие концентраты натуральных БАВ, характеризующиеся высокой биологической ценностью, повышенной биодоступностью и усвояемостью. Однако разработанная ранее технология отличается длительностью ферментации, невысоким

уровнем биоконверсии полисахаридов сырья, вследствие чего снижается выход БАВ.

Цель настоящей работы – совершенствование переработки фруктов пониженного качества при получении фруктовой функциональной пищевой добавки «ВИТУМИН» с применением двухэтапного ферментолиза.

Соответствующими задачами работы являлись: обоснование состава ферментного комплекса при двухэтапном ферментолизе ФПК в технологии получения пищевой функциональной добавки; анализ эффективности усовершенствованной технологии; оценка качества итогового продукта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные исследования проводили на лабораторной базе кафедр пищевой биотехнологии и химии Калининградского государственного технического университета.

В экспериментах использовали фрукты с признаками внешней некондиционности, полученные в торговых сетях Калининградской области и г. Калининграда – ООО «SPAR» и ООО «Виктория». Данные ФПК имели только внешние дефекты (вмятины, трещины, морщинистость), при этом признаков ферментативной и микробиальной порчи не было.

Для осуществления двухэтапного ферментативного гидролиза применяли ферментные препараты (ФП), характеристика которых представлена в табл. 2.

Таблица 1. Характеристика использованных ферментных препаратов

Table 1. Characteristics of the enzyme preparations used

Название ФП	Производитель	Активность	Температурный оптимум, °C	Оптимум pH
Альфалад БТ	ОАО «Биопрепарат»	800 ед./мл	90 – 95	6,5 – 7,5
Пектиназа		35 ед./г	35 – 50	3,7 – 4,3
Глюкавоморин		6000 ед./см ³	55 – 60	4,0 – 5,0
β-глюконаза		10000 ед./мл ¹ 20000 ед./мл ² 30000 ед./мл ³	65 – 70	4,0 – 5,0
Целлюлаза		4000 ед./мл	50 – 60	3,5 – 4,5

Примечания: ¹ – бета-глюканазная активность; ² – ксиланазная активность; ³ – целлюлазная активность.

Для оптимизации процесса двухэтапного ферментолиза (первого этапа) при установлении оптимальных значений основных факторов проводили его математическое моделирование методом ортогонального центрального композиционного планирования (ОЦКП) 2-го порядка для трех факторов: X₁ – температура 1-го этапа ферментолиза (45–55 °C); X₂ – значение pH ферментализуемой смеси (3,4–4,2); X₃ – время 1-го этапа ферментолиза (1–2 ч). В качестве параметра оптимизации использовали обобщенный показатель (Y), объединяющий частные отклики, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Частные отклики процесса ферментализации ФПК и их «идеальные» значения

Table 2. Partial responses of the low-grade fruit enzymolysis process and their "ideal" values

Наименование частного отклика		«Идеальное» значение
Y ₁	Активность фермента пектиназы ¹ , %	100
Y ₂	Активность фермента целлюлазы ¹ , %	100
Y ₃	Накопление растворимых сахаров, °Brix	8
Y ₄	Содержание сухих веществ, %	7

Примечание: ¹ – согласно паспорту ферментного препарата.

Первоначально целые фрукты подвергали мойке, измельчали на стационарной мясорубке с получением биомассы, включающей кожуру, семена, мякоть и косточки, после чего добавляли теплую воду температурой 50 °С (гидромодуль 1:1). Предварительно взвешенные ферменты, предназначенные для первичной ферментации, разводили в небольшом количестве теплой воды и вводили при перемешивании в смесь, состав которой представлен в табл. 3.

Таблица 3. Состав ферментируемой смеси из фруктов пониженного качества

Table 3. Composition of the fermented mixture from low-grade fruits

Компонент	Содержание
Яблоки, г	125
Апельсины, г	62,5
Бананы, г	62,5
Вода, г	125
Ферменты 1-го этапа	
Пектиназа, %	0,15
Целлюлаза, %	0,1
Ферменты 2-го этапа	
β-глюконаза, %	1,1
Глюкавомарин, %	0,5
Альфалад БТ, %	0,8

Контроль активной кислотности фруктовой смеси (рН) проводили с использованием рН-метра МТ Measurement PH100В. Для регулирования и стабилизации показателей применяли растворы 40 %-й лимонной кислоты и насыщенный раствор карбоната натрия. Начальный показатель рН смеси составлял 4,1, а после добавления нескольких капель лимонной кислоты снизился до рН 3,9.

Двухступенчатый ферментализм проводили при постоянном перемешивании смеси с применением шейкера с возможностью контроля температуры и скорости вращения платформы: на первом этапе 49±2 °С, на втором – 61±2 °С.

По завершении процесса образцы нагревали на водяной бане до 80 °С в течение 15 мин для пастеризации смесей и инактивации ферментов. Далее смеси подвергали фракционированию путем центрифугирования (3900 об./мин, 10 мин), что обеспечивало эффективное разделение на жидкую и осадочную фракции. В жидкой фазе после очистки определяли содержание сухих веществ с использованием анализатора влажности ОНАУС MB23, после чего она направлялась на обезвоживание. Перед обезвоживанием к ней добавляли карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) в

количестве 1,5 % к массе после предварительного нагрева на водяной бане до температуры 50 °С. Применение КМЦ обусловлено необходимостью повышения адгезионно-когезионных свойств жидкой фракции и улучшения процесса сушки при последующей сублимации, осуществляемой на установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus при температуре минус 55 °С.

В полученных добавках определяли содержание влаги – по ГОСТ 28561-90; аскорбиновой кислоты – йодометрическим методом, по ГОСТ 4815-76; веществ с Р-витаминной активностью – пермарганатометрическим методом. Качественный углеводный состав анализировали методом инфракрасной спектроскопии на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 с обработкой спектров в программе ZaiR 3.5. Эксперименты проводили в двукратной повторности. Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследовали химический состав наиболее распространенных в розничной торговле Калининградской области ФПК с внешними дефектами – яблок, бананов и апельсинов, включая среднеевропейские и азиатские сорта:

– яблоки: Belfort, Antonovka, Red, Golden, Ing.– Mar., Akerо, Wealthy;

– бананы: Palayankodan, Rasakadali, Robusta, Poovan, Nendran, Kadali, Red banana, Padatti;

– апельсины: Aiyuan, Buzhihuo, Chunjian, Daya, Mingrijian, Ponkan, Qicheng, Shatangju, Wogan, Yuanhong.

Основное внимание при анализе уделяли изучению их полисахаридного состава, который играет ключевую роль в ферментализации фруктов. Полисахариды представляют собой высокомолекулярные углеводные полимеры, которые в растительном сырье выполняют главным образом структурную функцию, являясь ключевыми элементами клеточных стенок. Результаты анализа содержания основных полисахаридов в изучаемых фруктах приведены в табл. 4 [6–10].

Таблица 4. Полисахаридный состав ферментированной смеси из фруктов пониженного качества

Table 4. Composition of the fermented mixture from low-grade fruits

Фрукт		Содержание от общего содержания углеводов, %			
		Целлюлоза	Гемицеллюлоза	Пектин	Крахмал
Яблоки		20,14 ± 2,34	42,70 ± 7,74	35,5 ± 6,64	1,66 ± 0,53
Бананы	Мякоть	64,34 ± 18,25	11,40 ± 3,25	9,49 ± 3,91	14,77 ± 4,20
	Кожура	22,95 ± 5,20	19,64 ± 4,92	32,48 ± 3,25	24,93 ± 5,12
Апельсины	Мякоть	39,93 ± 7,26	17,39 ± 4,31	36,01 ± 7,18	6,66 ± 1,55
	Кожура	21,59 ± 6,62	14,79 ± 1,63	58,31 ± 3,84	5,32 ± 0,57
Среднее значение		33,79 ± 21,49	21,18 ± 10,76	34,35 ± 11,67	10,66 ± 6,85

Из данных табл. 4 следует, что основную массовую долю полисахаридов во фруктовой композиции составляют целлюлоза и пектин – от 60 % общей массы всех полисахаридов сырья. Их разрушение является ключевым этапом в обеспечении доступа ферментов к содержимому клеток и высвобождению БАВ.

Для деградации целлюлозы и пектина были использованы специфические по активности ферменты – целлюлаза и пектиназа. Их применение обеспечивает растворение стенок растительных клеток и высвобождение крахмала и других растворимых сахаров, локализованных в хлоропластах клеток [11]. Для эффективного расщепления подобных соединений рационально было задействовать ферменты бета-глюканаза, амилаза, глюкаваморин, способствующие трансформации высвобожденных макромолекул в моно-, ди- и олигосахариды.

Для повышения глубины ферментализации ФПК процесс проводили в два этапа. Первый этап заключался в обработке сырья ферментами целлюлазно-пекти-назного комплекса. В результате их воздействия происходило разрушение ригидных клеточных структур фруктовой массы, что сопровождалось высвобождением водорастворимых полисахаридов и БАВ, которые переходили в водную фазу системы, формируя ферментолитат. Второй этап заключался в ферментативной обработке смеси комплексом карбоксигидраз (бета-глюканаза, амилаза и глюкаваморин), который обеспечивал дальнейшее расщепление сложных углеводов до простых сахаров, преимущественно глюкозы и фруктозы, что существенно повышало выход, биологическую ценность и усвояемость конечного продукта.

В результате проведения экспериментов по плану ОЦКП были получены следующие зависимости обобщенного параметра оптимизации от температуры, pH и времени ферментализации в кодированной модели (соответствующие факторы X_1 , X_2 и X_3) и в натуральной модели (соответствующие обозначения T , K и B), представленные в уравнениях (1) и (2):

$$Y = 0.15867 + 0.03982x_1 + 0.00695x_2 + 1.1015x_3 + 0.02348x_1^2 + 0.033605x_2^2 - 0.00045x_3^2 + 0.008832x_1x_2 \quad (1)$$

$$Y = 0.0054B - 0.0018B^2 + 0.21003K^2 + 0.004416KT - 1.7996625 + 0.00094T^2 - 0.1027368T + 5.91028 \quad (2)$$

На основе полученных зависимостей были найдены оптимальные значения искомых факторов: температура ферментализации $T = 49^\circ\text{C}$; pH или активная кислотность $K = 3,8$; продолжительность $B = 2$ ч. С учетом этих данных была предложена усовершенствованная технологическая схема получения функциональной фруктовой добавки серии «ВИТУМИН», представленная на рис. 1.

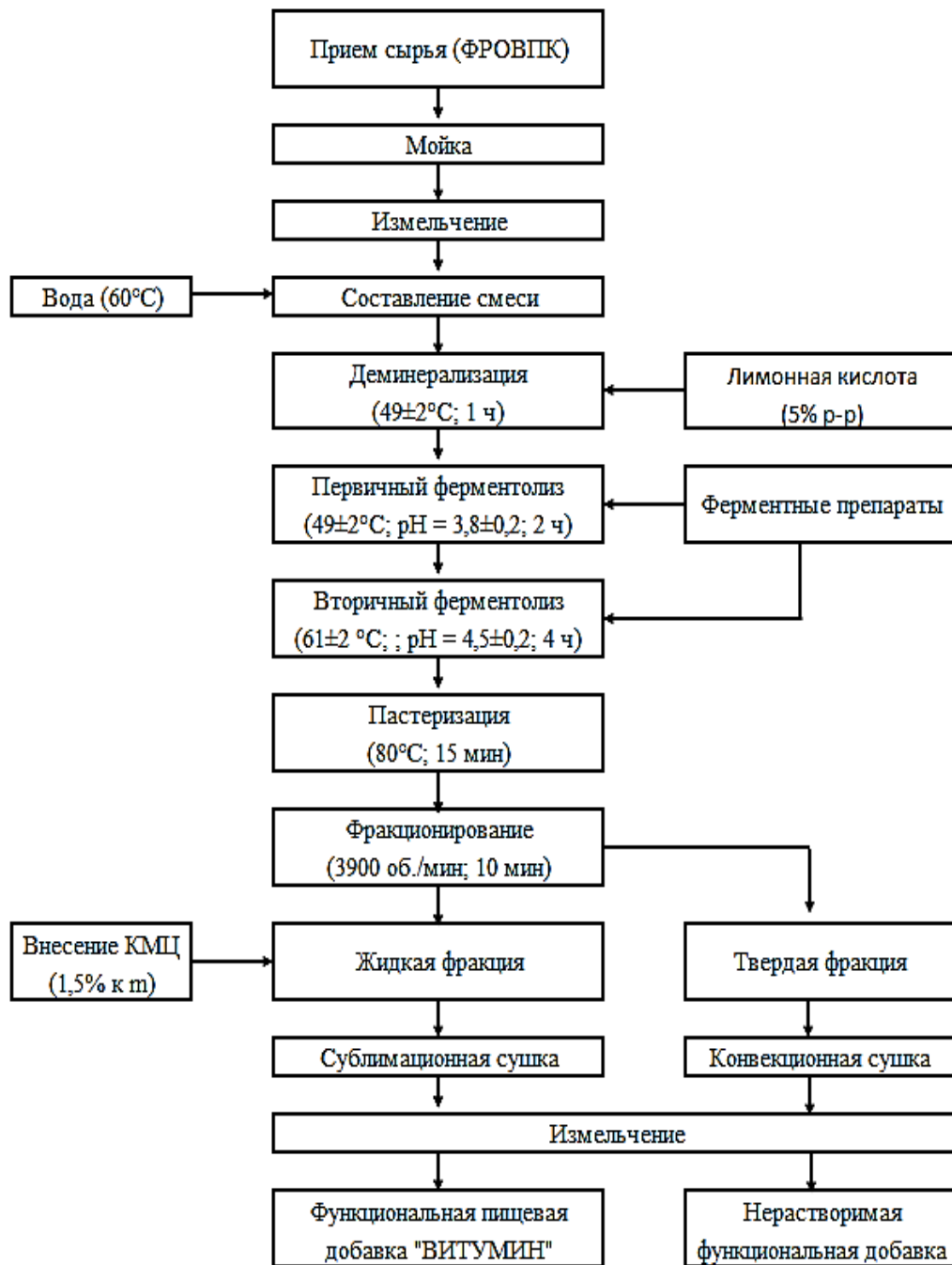


Рис. 1. Усовершенствованная технологическая схема получения функциональной пищевой добавки «ВИТУМИН» при комплексной переработке ФПК

Fig. 1. Improved technological scheme for obtaining the functional food additive "VITUMIN" during complex processing of low-grade fruits (LGF)

Отличительной особенностью предложенной технологии является двухстадийная последовательная обработка ФПК специфическими ферментами, что позволило увеличить степень биоконверсии сырья и повысить выход целевых продуктов ферментолитов (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика массовых показателей ферментализатов
Table 5. Characteristics of the mass indicators of enzymolysates

Показатель	Контроль ¹	Опыт № 1		Опыт № 2		Сравнение	
		Повторность № 1	Повторность № 2	Повторность № 1	Повторность № 2	Среднее значение	Изменение выхода, %
Масса жидкой фракции ферментализата, г (до внесения КМЦ)	190,5	309,0	308,5	312,0	307,5	309,2	+62,3
Масса твердой фракции ферментализата, г	226,4	191	191,5	188,0	192,5	190,7	–15,7
Содержание сухих веществ, %	6,0	7,2	6,6	6,8	7,0	6,9	+15,0
Масса продукта после сушки, г	35,5	40,3	35,4	39,2	38,5	38,3	+7,9
Содержание воды в порошке, %	6,5	6,5	6,4	6,5	6,6	6,5	–
Выход продукта (добавки «ВИТУ-МИН»), % к массе сырья	14,2	16,1	14,1	15,6	15,4	15,3	+7,9

Примечание: ¹ – контрольные данные основаны на ранее опубликованных результатах [5].

Из приведенных данных следует вывод о значительном приросте ключевых целевых показателей, достигнутом за счет применения двухэтапной ферментации: масса жидкой фракции увеличилась на 62,3 %, содержание сухих веществ возросло на 15,7 %, а выход целевого продукта повысился на 7,9 %. Одновременно существенно сократилась масса побочной твердой фракции (на 15,7 %), что является прямым следствием более глубокой деградации клеточной структуры биомассы, обусловленной синергизмом поэтапного воздействия ферментным комплексом.

Для оценки эффективности биodeградации целлюлозы и пектина по накоплению простых сахаров на первом этапе ферментализации применяли методику ИК-Фурье спектроскопии в диапазоне волновых чисел от 500 до 4000 см⁻¹. Результаты исследования представлены на рис. 2.



Рис. 2. ИК-спектры ферментированного образца ФПК
Fig. 2. IR spectra of the fermented low-grade fruit (LGF) sample

Анализ полученных ИК-спектров показал, что после первого этапа ферментативной обработки в составе жидкой фракции преобладают продукты гидролиза структурных полисахаридов (главным образом целлюлозы и пектина). Установлено, что фракция преимущественно содержит компоненты, характерные для крахмала, а также простые сахара – глюкозу, фруктозу, сахарозу и короткие олигосахариды. Данное положение подтверждается наличием интенсивных пиков в диапазоне 2919 см^{-1} (C–H растяжения, характерные для алифатических углеводородов углеводной природы), 1712 см^{-1} (валентные колебания карбонильных групп C=O, связанные с присутствием моносахаридов), а также выраженным комплексом полос в области $1023\text{--}1251\text{ см}^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям связей C–O в спиртовых и эфирных функциональных группах, что типично для углеводов, включая крахмал и простые сахара.

Одновременно спектральная картина демонстрирует значительное снижение интенсивности сигналов, ассоциированных с нативными целлюлозой и пектином. Остаточное присутствие данных полимеров фиксируется лишь слабыми сигналами – в области около 1598 см^{-1} (возможные колебания карбоксильных анионных групп COO^- , связанные с остатками пектиновых кислот) и при 1344 см^{-1} (деформационные колебания C–O–H связей, характерные для целлюлозного остова). Существенное ослабление данных пиков по сравнению с контрольным образцом указывает на эффективную частичную деградацию целлюлозно-пектинового комплекса под действием ферментных препаратов на первом этапе обработки [12].

Содержание витамина С и соединений с Р-витаминной активностью в целевом продукте – добавке «ВИТУМИН» – представлено в табл. 6.

Таблица 6. Содержание витаминов С и Р в функциональной добавке из ФПК «ВИТУМИН»

Table 6. Vitamin C and P content in the functional food additive "VITUMIN" derived from low-grade fruits

Показатель	Контроль ¹	Опыт № 1		Опыт № 2		Среднее значение	Удовлетворение суточной потребности, % ²
		Повторность № 1	Повторность № 2	Повторность № 1	Повторность № 2		
Содержание витамина С, мг/100 г	72,0	65,2	61,7	69,3	70,1	66,5	66,5
Содержание витамина Р, мг/100 г	122,4	117,3	112,5	131,7	128,6	122,5	61,2

Примечание: ¹ – контрольные данные основаны на опубликованных результатах [5];
² – МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о функциональных свойствах добавки «ВИТУМИН», изготавливаемой по усовершенствованной технологии. Употребление 100 г добавки обеспечивает удовлетворение суточной потребности в витамине С на 66,5 % от физиологической нормы, а витамина Р – на 61,2 %. С учетом потенциального присутствия других БАВ ароматической природы (флавоноидов, катехинов, антоцианов) и антиоксидантных свойств витаминов С и Р полученную добавку можно характеризовать как биологически активную добавку – источник природных антиоксидантов. Учитывая природный потенциал сырья и щадящие условия ферментализации в составе добавки можно ожидать также наличие значительного количества других БАВ – простых сахаров (глюкоза, фруктоза, сахароза), органических кислот (яблочная, лимонная), растворимых олигосахаридов различной молекулярной массы, а также витаминов (группы В, РР, К и др.), минеральных веществ (натрий, калий, магний, кальций, железо), характерных для исходной фруктовой смеси.

Показатели микробиологической безопасности разработанной добавки свидетельствуют о ее соответствии требованиям, установленным Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (табл. 7).

Микробиологический анализ подтвердил соответствие разработанной фруктовой функциональной добавки серии «ВИТУМИН» требованиям ТР ТС 021/2011 по основным показателям безопасности. Зафиксировано незначительное превышение содержания дрожжей, что в целом характерно для натурального фруктового сырья и не влияет на безопасность продукта.

Таблица 7. Микробиологические показатели безопасности функциональной пищевой фруктовой добавки «ВИТУМИН»

Table 7. Microbiological safety indicators of the functional fruit food additive "VITUMIN"

Показатель	Функциональная пищевая фруктовая добавка «ВИТУМИН»	Требования ТР ТС 021/2011
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	$3,3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
БГКП, не допускаются в массе, г	не обнаружено в 0,1 г	0,1
<i>E.coli</i> , не допускается в массе, г	не обнаружено в 1,0 г	1,0
Плесени, КОЕ/г, не более	$0,3 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$
Дрожжи, КОЕ/г, не более	$0,5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^1$

Добавка «ВИТУМИН», полученная методом двухступенчатого ферментализации фруктов с внешними дефектами, представляет собой концентрат натуральных биологически активных соединений. Ее достоинством также являются безопасность, приятная органолептическая оценка с фруктовыми оттенками вкуса и аромата. Добавку рекомендуется употреблять для обогащения многих пищевых продуктов (хлебобулочных, молочных, мясных, кондитерских изделий) с целью повышения их органолептической привлекательности и пищевой ценности. Целесообразно ее введение в состав специализированной пищевой продукции спортивного, диетического и лечебно-профилактического назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований усовершенствована технология переработки фруктов пониженного качества в функциональную пищевую добавку «ВИТУМИН» путем введения двухэтапного ферментализации специализированными ферментами.

На основании анализа полисахаридного состава ФПК (яблоки, бананы, апельсины) обоснованы этапность и состав ферментного комплекса: на первом этапе – целлюлаза и пектиназа для деструкции клеточных стенок; на втором – β -глюконаза, глюкаваморин и альфа-галактаридаза БТ для гидролиза полисахаридов до простых сахаров.

Методом математического моделирования установлены оптимальные значения факторов первого этапа ферментализации: температура – 49 °С, pH – 3,8, продолжительность – 2 ч. Показано, что двухэтапная обработка позволяет увеличить выход жидкой фракции на 62,3 %, содержание сухих веществ – на 15,7 %, а выход целевой добавки – на 7,9 % по сравнению с одностадийной технологией. Методом ИК-спектроскопии подтверждена эффективность деградации целлюлозно-пектинового комплекса ФПК.

Установлено высокое содержание в добавке витаминов-антиоксидантов (С – 66,5 мг/100 г, Р – 122,5 мг/100 г), обеспечивающих 66,5 и 61,2 % от рекомендуемой физиологической суточной нормы соответственно. По микробиологической безопасности добавка соответствует требованиям ТР ТС 021/2011.

Полученная добавка «ВИТУМИН» обладает функциональными свойствами и рекомендуется в качестве обогащающего компонента в составе традиционных и при проектировании специализированных продуктов питания.

Список источников

1. Healthy diet. – Текст: электронный // World Health Organization (WHO): сайт. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (дата обращения: 18.11.2025).
2. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов. – Текст: электронный // Министерство здравоохранения Российской Федерации: сайт. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual> (дата обращения: 18.11.2025).
3. Influence of moisture content and temperature interaction on mechanical properties of DESMA (Novella pentadesma) SEED / O. A. Fabunmi, Z. D. Osunde, B. A. Alabadan, A. A. Jigam // Journal of Advances in Food Science & Technology. – 2015. – № 2. – P. 81–85.
4. Санкин, С. А. Основные направления в организации сбора, транспортировки, обезвреживания и использования твердых бытовых отходов (ТБО) / С. А. Санкин // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 12. – С. 91–98.
5. Мезенова, О. Я. Получение функциональных пищевых добавок при комплексной переработке фруктов и овощей пониженного качества с применением методов биотехнологии / О. Я. Мезенова, В. А. Карлов, А. А. Гольбрайх // Вестник МГТУ. – 2024. – Т. 27, № 3. – С. 302–315.
6. Salo, M. L. Carbohydrate and acid composition of some apple varieties / M. L. Salo, I. Korhonen // Agricultural and Food Science. – 1972. – Vol. 44 (2). – P. 63–67.
7. Nanocellulose and microcrystalline cellulose from citrus processing waste: a review / R. Ciriminna, G. Li Petri, G. Angellotti [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.135865 // International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Vol. 281. – P. 135865.
8. Yoshida, Y. Citrus Juice Waste as a Potential Source of Dietary Fiber / Y. Yoshida, M. Ueda. – DOI: 10.2503/jjshs.53.354 // Journal of The Japanese Society for Horticultural Science. – 1984. – Vol. 53, № 3. – P. 354–361.
9. Physiochemical analysis of Five Varieties of Banana Commonly Consumed in Nigeria / I. Ogunlade, O. S. Adediran, M. A. Azeez [et al.] // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – 2019. – Vol. 7, № 5. – P. 567–570.
10. Soltani, M. Some Physical Properties of Full-Ripe Banana Fruit (Cavendish variety) / M. Soltani, R. Alimardani, M. Omid // International Journal of Agricultural Science, Research and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 1–5.
11. Enzyme activities and gene expression of starch metabolism provide insights into grape berry development / X. Zhu, C. Zhang, W. Wu [et al.]. – DOI: 10.1038/hortres.2017.18 // Horticulture Research. – 2017. – Vol. 4. – P. 17018.
12. Тарасевич, Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений: справочные материалы / Б. Н. Тарасевич. – Москва: Хим. фак. МГУ, 2012. – 55 с.

References

1. Healthy diet. – Text: electronic // World Health Organization (WHO): site. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> (date of treatment: 18.11.2025).
2. Rational norms of food product consumption. – Text: electronic // Ministry of Health of the Russian Federation: site. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual> (date of treatment: 18.11.2025).
3. Influence of moisture content and temperature interaction on mechanical properties of DESMA (Novella pentadesma) SEED / O. A. Fabunmi, Z. D. Osunde, B. A. Alabadan, A. A. Jigam // Journal of Advances in Food Science & Technology. – 2015. – № 2. – P. 81–85.
4. Sankin, S. A. Main directions in the organization of collection, transportation, neutralization and use of solid household waste (MSW) / S. A. Sankin // Technical Sciences – from Theory to Practice. – 2012. – № 12. – P. 91–98.
5. Mezenova, O. Ya. Obtaining functional food additives in the complex processing of fruits and vegetables of reduced quality using biotechnology methods / O. Ya. Mezenova, V. A. Karlov, A. A. Gol'braykh // Vestnik of MSTU. – 2024. – Vol. 27, № 3. – P. 302–315.
6. Salo, M. L. Carbohydrate and acid composition of some apple varieties / M. L. Salo, I. Korhonen // Agricultural and Food Science. – 1972. – Vol. 44 (2). – P. 63–67.
7. Nanocellulose and microcrystalline cellulose from citrus processing waste: a review / R. Ciriminna, G. Li Petri, G. Angellotti [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.135865 // International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Vol. 281. – P. 135865.
8. Yoshida, Y. Citrus Juice Waste as a Potential Source of Dietary Fiber / Y. Yoshida, M. Ueda. – DOI: 10.2503/jjshs.53.354 // Journal of The Japanese Society for Horticultural Science. – 1984. – Vol. 53, № 3. – P. 354–361.
9. Physiochemical analysis of Five Varieties of Banana Commonly Consumed in Nigeria / I. Ogunlade, O. S. Adediran, M. A. Azeez [et al.] // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – 2019. – Vol. 7, № 5. – P. 567–570.
10. Soltani, M. Some Physical Properties of Full-Ripe Banana Fruit (Cavendish variety) / M. Soltani, R. Alimardani, M. Omid // International Journal of Agricultural Science, Research and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 1–5.
11. Enzyme activities and gene expression of starch metabolism provide insights into grape berry development / X. Zhu, C. Zhang, W. Wu [et al.]. – DOI: 10.1038/hortres.2017.18 // Horticulture Research. – 2017. – Vol. 4. – P. 17018.
12. Tarasevich, B. N. IR spectra of the main classes of organic compounds: reference materials / B. N. Tarasevich. – Moscow: Faculty of chemistry MSU, 2012. – 55 p.

Информация об авторах

В. А. Карлов – магистрант 1-го курса кафедры пищевой биотехнологии
О. Я. Мезенова – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

Information about the authors

V. A. Karlov – 1st year Master degree student of the Department of Food Biotechnology
O. Ya. Mezenova – DSc in Engineering, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology

Вклад авторов

В. А. Карлов – анализ литературы, проведение экспериментов по оценке эффективности предложенного метода, анализ экспериментальных данных, подготовка статьи
О. Я. Мезенова – постановка задачи, статистическая обработка и интерпретация экспериментальных данных, подготовка статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

V. A. Karlov – literature review, conducting experiments to evaluate the effectiveness of the proposed method, analysis of experimental data, manuscript preparation
O. Ya. Mezenova – formulation of the research problem, statistical processing and interpretation of experimental data, manuscript preparation

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.03.2026; одобрена после рецензирования 11.03.2026; принята к публикации 13.03.2026.

The article was submitted 02.03.2026; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 13.03.2026.