

Научная статья/Research Article

УДК 664.061.3:635.621:547.979.8

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-259-273

Наталья Юрьевна Чеснокова^{1✉}, Алла Алексеевна Кузнецова²,
Татьяна Владимировна Танашкина³, Людмила Владимировна Кушнарченко⁴

^{1,2,3,4}Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹chesnokova.nyu@dvfu.ru

²kuznetsova.aa@dvfu.ru

³tanashkina.tv@dvfu.ru

⁴kushnarenko.lv@dvfu.ru

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРОТИНОИДНОГО ПИГМЕНТА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КРАСИТЕЛЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

Цель исследования – поиск эффективных способов выделения каротиноидов, позволяющих наиболее полно экстрагировать пигмент из растительного сырья, а также создание на его основе натурального красителя, обладающего способностью к окрашиванию различных групп пищевых продуктов. Применение полярных растворителей и их смесей способствовало более эффективному извлечению каротиноидного пигмента из мякоти тыквы. Наименьшую экстрагирующую способность продемонстрировал 95 % этанол, поскольку он обладает меньшей полярностью. Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин) в растворе при его использовании составило 17,34 мг%. Применение этилацетата и ацетона в качестве экстрагентов позволило повысить эффективность извлечения пигмента в 3 и 8 раз соответственно. При этом содержание каротиноидов в растворах достигало 24,85 мг% при использовании этилацетата и 39,53 мг% при экстрагировании ацетоном. Оптимальным вариантом среди смесей растворителей оказалась комбинация этилацетата и 95 % этанола в соотношении 1 : 1, при которой содержание каротиноидного пигмента достигло 37,58 мг%. Использование ультразвука оказало незначительное влияние на эффективность извлечения каротиноидов. С использованием наиболее эффективных экстрагентов и их смесей была разработана технология получения каротиноидного красителя. Данная технология включает этапы экстрагирования, концентрирования экстрактов и их последующую лиофильную сушку. Полученный каротиноидный краситель представляет собой порошок ярко-желтого цвета с содержанием каротиноидного пигмента 50,56 мг%. Приобретенные в процессе производства гидрофильные свойства красителя позволяют значительно расширить возможности использования ранее гидрофобных каротиноидов для окрашивания различных пищевых продуктов.

Ключевые слова; каротиноидный пигмент, β -каротин, каротиноидный краситель, мякоть тыквы, экстрагент

Для цитирования: Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Танашкина Т.В., и др. Способы получения каротиноидного пигмента и разработка технологии красителя на его основе // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7. С. 259–273. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-259-273.

Natalia Yuryevna Chesnokova^{1✉}, Alla Alekseevna Kuznetsova², Tatyana Vladimirovna Tanashkina³,
Lyudmila Vladimirovna Kushnarenko⁴

^{1,2,3,4}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹chesnokova.nyu@dvfu.ru

²kuznetsova.aa@dvfu.ru

³tanashkina.tv@dvfu.ru

⁴kushnarenko.lv@dvfu.ru

METHODS OF PRODUCING CAROTENOIDS AND DEVELOPMENT OF DYE TECHNOLOGY BASED ON IT

The aim of the study is to find effective methods for isolating carotenoids that would allow for the most complete extraction of pigment from plant materials, as well as to create a natural dye on its basis that would be able to color various groups of food products. The use of polar solvents and their mixtures contributed to a more effective extraction of carotenoid pigment from pumpkin pulp. The lowest extraction capacity was demonstrated by 95 % ethanol, since it has less polarity. The content of carotenoids (in terms of β -carotene) in the solution when using it was 17.34 mg%. The use of ethyl acetate and acetone as extractants made it possible to increase the efficiency of pigment extraction by 3 and 8 times, respectively. The content of carotenoids in solutions reached 24.85 mg% when using ethyl acetate and 39.53 mg% when extracted with acetone. The optimal option among the solvent mixtures was a combination of ethyl acetate and 95 % ethanol in a ratio of 1:1, in which the content of carotenoid pigment reached 37.58 mg%. The use of ultrasound had little effect on the efficiency of carotenoid extraction. Using the most effective extractants and their mixtures, a technology for obtaining a carotenoid dye was developed. This technology includes the stages of extraction, concentration of extracts and their subsequent lyophilic drying. The resulting carotenoid dye is a bright yellow powder with a carotenoid pigment content of 50.56 mg%. The hydrophilic properties of the dye acquired during the production process make it possible to significantly expand the possibilities of using previously hydrophobic carotenoids for coloring various food products.

Keywords: carotenoid pigment, β -carotene, carotenoid dye, pumpkin pulp, extractant

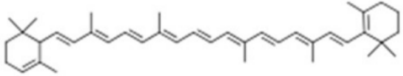
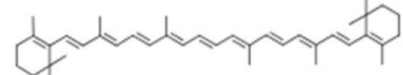
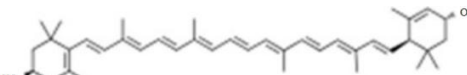
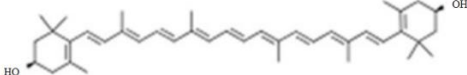
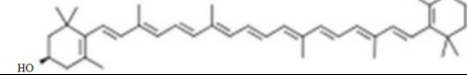
For citation: Chesnokova NYu, Kuznetsova AA, Tanashkina TV, et al. Methods of producing carotenoids and development of dye technology based on it. *Bulletin of KSAU*. 2025;(7):259-273. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-259-273.

Введение. Каротиноиды являются жирорастворимыми пигментами, обеспечивающими большое разнообразие цветовых характеристик не только растительных организмов, но также грибов и бактерий. Данные пигменты являются полиизопреновыми соединениями, в составе которых восемь изопреновых звеньев. На основании этого их относят к группе тетратерпеноидов. Наиболее характерной чертой каротиноидов является наличие сопряженных двойных связей, которые образуют центральную часть

молекулы. Каротиноиды насчитывают около 700 соединений, которые можно классифицировать на бескислородные – каротины (α -каротин, β -каротин, ликопин и др.) и окисленные – ксантофиллы, в молекулах которых присутствует кислород в составе спиртовой, кето- или эпоксидной группы (лютеин, зеаксантин, фукоксантин, β -криптоксантин и др.) [1]. Химические и структурные формулы некоторых каротиноидов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Химические и структурные формулы некоторых каротиноидов
Chemical structure of some carotenoids

Тривиальное название	Эмпирическая формула	Структурная формула
<i>Бескислородные</i>		
α -каротин	$C_{40}H_{56}$	
β -каротин	$C_{40}H_{56}$	
<i>Окисленные</i>		
Лютеин	$C_{40}H_{56}O_2$	
Зеаксантин	$C_{40}H_{56}O_2$	
β -криптоксантин	$C_{40}H_{56}O$	

В зеленых растениях каротиноиды находятся в хлоропластах, однако наибольшее их содержание наблюдается в хромопластах корней, цветков и плодов.

Каротиноиды обладают выраженной антиоксидантной способностью и терапевтической активностью. Поэтому включение в питание человека растительной пищи, богатой каротиноидами, может значительно снизить риск возникновения некоторых заболеваний, таких как онкологические, сердечно-сосудистые, возрастная макулярная дегенерация и катаракта [2–6].

Между тем каротиноиды могут рассматриваться как красители, поскольку они способны окрашивать пищевые продукты в желтые, оранжевые или красные цвета [7, 8], а также сохранять цвет изделия во время технологической обработки, усиливать уже имеющуюся окраску продукта, обогащать его биологически активными соединениями [9].

Одним из наиболее ценных источников каротиноидов является тыква. Общее содержание каротиноидов в тыкве варьирует в пределах от 234,21 до 404,98 мг в 100 г продукта [10, 11]. Такой широкий диапазон значений может зависеть от сорта и вида сырья (генетических особенностей), почвенно-климатических условий, а также процедуры экстракции (способа, типа растворителя и т. д.).

Поскольку каротиноидные пигменты, благодаря углеводородной структуре, являются гидрофобными соединениями, самыми популярными способами их извлечения из растительного сырья являются методы с использованием органических растворителей и растительных масел. В настоящее время n-гексан является одним из наиболее используемых растворителей. Однако растворители нефтехимического происхождения являются токсичными соединениями и поэтому строго регулируются техническими регламентами ЕАЭС 041/2017 «О безопасности химической продукции», а также Европейского парламента и Совета ЕС (REACH), согласно которым происходит разрешение или ограничение к применению данных химических веществ [9, 12]. Поэтому поиск эффективных способов экстрагирования с использованием менее токсичных растворителей, способных проникать в растительную ткань и экстрагировать каротиноиды, находящиеся в структуре хлоропласта, является актуальным.

Цель исследования – поиск эффективных способов выделения каротиноидов, позволяющих наиболее полно экстрагировать пигмент из растительного сырья, а также создание на его основе натурального красителя, обладающего способностью к окрашиванию различных групп пищевых продуктов.

Задачи: определить экстрагенты и рациональные условия экстрагирования каротиноидов из мякоти тыквы, а также на основе экстрактов каротиноидного пигмента разработать технологию натурального красителя, обладающего способностью к окрашиванию различных групп пищевых продуктов.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования в данной работе рассматривались тыква детская деликатесная, экстракты каротиноидов и каротиноидный краситель. Подготовка сырья включала промывание свежих плодов тыквы, их очистку от кожуры, нарезку на кубики размером 1 × 1 см и последующее пюрирование в измельчителе тканей в течение 5 мин до получения однородной массы.

Экстрагирование каротиноидов проводилось водой при температурах 25 и 50 °С 95 % этанолом и рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом при комнатной температуре. Во всех случаях соотношение сырья к растворителю составляло 1 : 5, а процесс длился 30 мин при постоянном перемешивании.

Ультразвуковую экстракцию каротиноидов 95 % этанолом проводили при температуре 25 °С в течение 10–30 мин, рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом в течение 30 мин с использованием ультразвуковой ванны Сапфир (Россия) при частоте воздействия 25 кГц и мощности 150 Вт.

Экстрагирование с применением полярных растворителей (95 % этанол, ацетон, этилацетат) и их смесей в различных соотношениях проводилось при комнатной температуре в течение 30 мин при постоянном перемешивании.

Для оценки интенсивности окраски экстрактов каротиноидов измеряли их оптическую плотность на спектрофотометре UV–1800 Shimadzu (Япония) в диапазоне длин волн 280–700 нм.

Каротиноидный краситель получали путем концентрирования каротиноидного экстракта на вакуумном (роторном) испарителе Hei-VAP Advantage ML/G3B (Германия) до уменьшения объема в 5 раз. Затем концентрат подвергали лиофильной сушке на установке Martin Christ

Alpha 2-4 LSCplus (Германия) до получения порошка.

Для исследования структуры полученного порошка и экстракта каротиноидов использовали инфракрасный спектрофотометр IRTscer-100 (Shimadzu, Япония).

Количественное содержание каротиноидов в экстрактах и красителе определяли спектрофотометрическим методом в перерасчете на β -каротин согласно методике, предложенной П.П. Ветровым [13].

Все измерения проводились в четырехкратной повторности с последующим вычислением стандартной ошибки эксперимента.

Результаты и их обсуждение. Поскольку условия экстракции и свойства экстрагента значительно влияют на получение биологически активных соединений из растительного сырья [11, 14, 15], было рассмотрено четыре способа извлечения каротиноидов из мякоти тыквы. В качестве экстрагентов использовали воду при температурах 25 и 50 °С, 95 % этиловый спирт и рафинированное дезодорированное подсолнечное масло. УФ-спектры растворов каротиноидов, полученных данными способами, представлены на рисунке 1. Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин) в экстрактах, полученных с использованием различных условий выделения и экстрагентов, приведено в таблице 2.

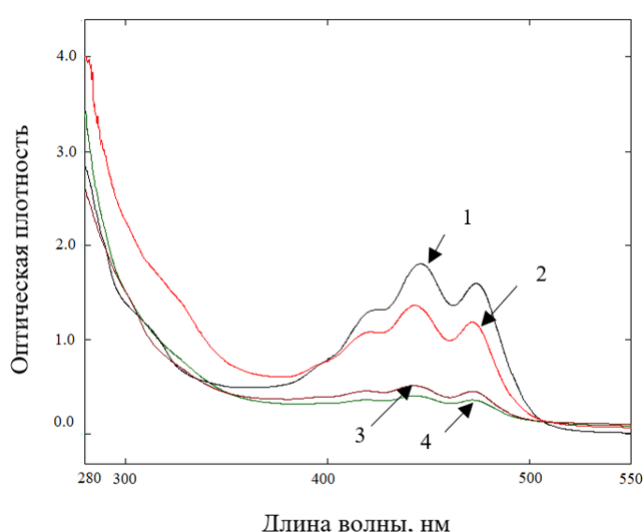


Рис. 1. УФ-спектры растворов каротиноидов, выделенных из мякоти тыквы различными способами: 1 – 95 % этанол; 2 – подсолнечное масло; 3 – экстрагирование водой при 50 °С; 4 – экстрагирование водой при 25 °С

UV-vis spectra of carotenoid solutions isolated from pumpkin by various methods: 1 – 95 % ethanol; 2 – sunflower oil; 3 – extraction with water at 50 °С; 4 – extraction with water at 25 °С

Таблица 2

Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин), выделенных из мякоти тыквы различными способами
Content of carotenoids in terms of β -carotene isolated from pumpkin by various methods

Номер образца	Экстрагент	Температура, °С	Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин), мг%
1	95 % этиловый спирт	25	15,32±0,01
2	Подсолнечное масло	25	13,36±0,01
3	Вода	50	8,94±0,01
4	Вода	25	3,43±0,02

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при всех методах экстракции кароти-

ноиды демонстрируют максимумы поглощения в диапазоне длин волн 420–480 нм.

Наибольшее количество каротиноидов из мякоти тыквы извлекается при использовании 95 % этилового спирта, при этом их содержание в растворе достигает 15,32 мг%. Данные литературы также подтверждают эффективность 95 % этанола для выделения каротиноидных пигментов из растительного сырья [16].

Учитывая, что каротиноиды являются жирорастворимыми соединениями, в ходе исследования также была проведена их экстракция рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом. При таком методе экстракции содержание каротиноидов составило 13,36 мг%, что в 1,2 раза меньше, чем при использовании 95 % этанола.

Экстракция каротиноидов с использованием воды оказалась менее эффективной. При выделении каротиноидов водой при 25 и 50 °С их содержание в растворе составляет 8,94 и 3,43 мг%, что соответственно в 2 и 4 раза ниже, чем при экстрагировании пигментов 95 % этиловым спиртом.

Исследования наличия трех экстремумов на кривых позволяет предположить состав каротиноидов в экстракте из мякоти тыквы. Согласно литературным данным [17], максимумы при длинах волн 423, 450 и 472 нм соответствуют присутствующим в составе экстрактов α -каротину, β -каротину и лютеину.

Таким образом, в результате данного исследования было определено, что наилучшими экстрагентами каротиноидов из мякоти тыквы являются 95 % этиловый спирт и рафинированное дезодорированное подсолнечное масло.

Использование воды в качестве экстрагента для выделения каротиноидов не рекомендуется.

В литературных источниках отмечена эффективность использования ультразвука для извлечения биологически активных соединений из растительного сырья [18–20], позволяющего при более низких температурах и сокращении продолжительности экстрагирования получать ценные и качественные соединения. В целях поиска наиболее рациональных условий процесса экстрагирования в работе было изучено влияние ультразвука на выход каротиноидов из мякоти тыквы, при использовании 95 % этилового спирта и рафинированного дезодорированного подсолнечного масла. Ультразвуковую экстракцию каротиноидов 95 % этиловым спиртом проводили при температуре 25 °С в течение 10, 20 и 30 мин, рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом в течение 30 мин при комнатной температуре. Для сравнения были подготовлены контрольные образцы растворов каротиноидов, экстрагированных 95 % этиловым спиртом и рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом без воздействия ультразвука. УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных этиловым спиртом и рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом с применением ультразвука, представлены на рисунках 2 и 3. Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин) при экстрагировании 95 % этанолом и рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом под воздействием ультразвуковой обработки разной продолжительности представлено в таблице 3.

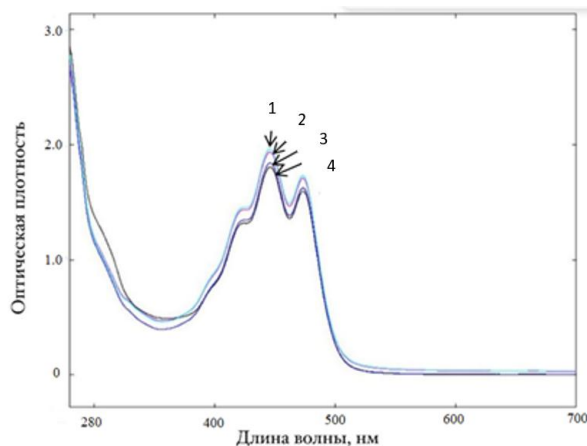


Рис. 2. УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных 95 % этанолом под воздействием ультразвука: 1 – 30 мин; 2 – 20 мин; 3 – 10 мин; 4 – контрольный образец
 UV-vis spectra of carotenoid solutions extracted with 95 % ethanol under ultrasound:
 1 – 30 min; 2 – 20 min; 3 – 10 min; 4 – control sample

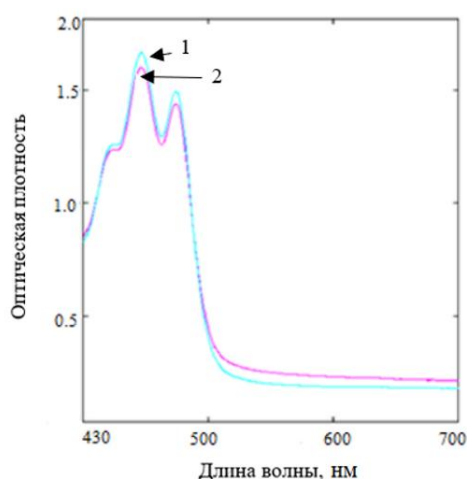


Рис. 3. УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом под воздействием ультразвука:
1 – 30 мин; 2 – контрольный образец

UV spectra of carotenoid solutions extracted with refined deodorized sunflower oil under the influence of ultrasound: 1 – 30 min; 2 – control sample

Таблица 3

Содержание каротиноидов при экстрагировании 95 % этиловым спиртом и рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом под воздействием ультразвуковой обработки разной продолжительности
Carotenoid content when extracted with 95 % ethyl alcohol and refined deodorized sunflower oil under the influence of ultrasonic treatment

Номер образца	Способ экстрагирования	Продолжительность экстрагирования, мин	Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин), мг%
1	Экстрагирование 95 % этанолом под воздействием ультразвука	10	18,55±0,01
2	Экстрагирование 95 % этанолом под воздействием ультразвука	20	19,46±0,01
3	Экстрагирование 95 % этанолом под воздействием ультразвука	30	19,71±0,01
4	Экстрагирование 95 % этанолом	30	18,20±0,01
5	Экстрагирование рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом под воздействием ультразвука	30	14,34±0,01
6	Экстрагирование рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом	30	13,95±0,02

На рисунках 2 и 3 видно, что воздействие ультразвука оказывает незначительное положительное влияние на экстрагирование каротиноидов из мякоти тыквы. При обработке ультразвуком в течение 10, 20 и 30 мин содержание каротиноидов, экстрагированных 95 % этиловым спиртом, составляет 18,55; 19,46 и 19,71 мг% соответственно. В контрольном образце, экстрагированном 95 % этиловым спир-

том, содержание каротиноидов оказалось ниже – 18,20 мг%.

Аналогичная тенденция наблюдается при ультразвуковой экстракции каротиноидов рафинированным дезодорированным подсолнечным маслом (см. рис. 3). Содержание каротиноидов в образце, подвергнутом ультразвуковой обработке, на 3 % выше, чем в контрольном, и составляет 14,34 и 13,95 мг% соответственно. Полученные результаты соответствуют данным

литературных источников [21], где также показано незначительное повышение содержания каротиноидов в растворе после ультразвуковой обработки.

Таким образом, применение ультразвука для выделения каротиноидов оказывает лишь незначительное влияние на извлечение пигмента из мякоти тыквы, что делает этот метод малоперспективным для их экстрагирования.

Поскольку выбор экстрагента для выделения биологически активных соединений играет важную роль, к нему должны предъявляться определенные требования. Экстрагент должен обладать высокой экстракционной способностью и

избирательностью по отношению к конкретным биологически активным веществам [22]. В связи с этим в ходе исследования был проведен подбор наиболее эффективных экстрагентов для выделения каротиноидов из мякоти тыквы. В качестве полярных растворителей в работе использовались 95 % этиловый спирт, ацетон, этилацетат, а также их смеси. УФ-спектры растворов каротиноидов, полученных с применением указанных растворителей, а также их смесей, представлены на рисунках 4 и 5. Содержание каротиноидов, экстрагированных различными экстрагентами и их комбинациями, приведено в таблицах 4 и 5.

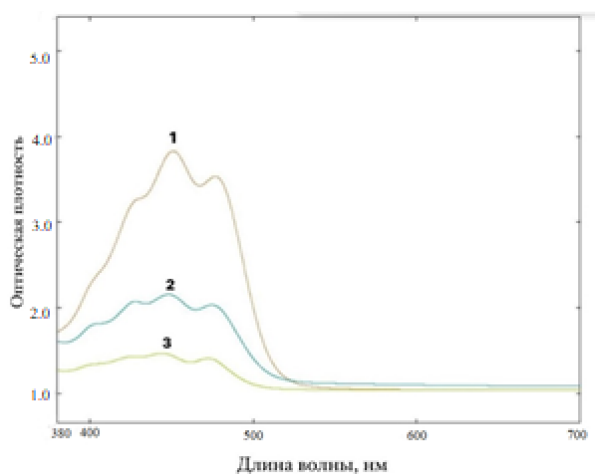


Рис. 4. УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных из мякоти тыквы различными растворителями: 1 – ацетон; 2 – этилацетат; 3 – 95 % этанол
 UV-vis spectra of carotenoid solutions extracted from pumpkin with different solvents:
 1 – acetone; 2 – ethyl acetate; 3 – 95 % ethanol

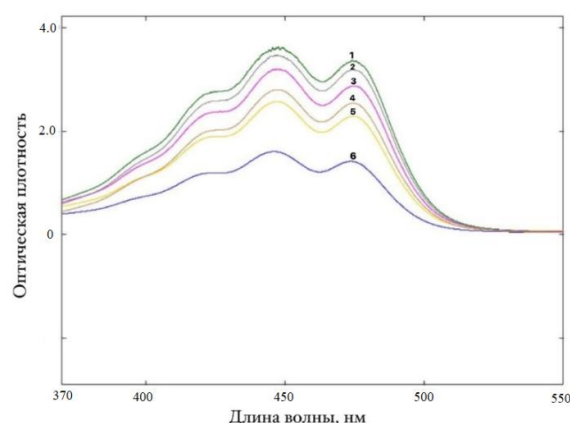


Рис. 5. УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных из мякоти тыквы смесями растворителей: 1 – этилацетат/95 % этанол 1 : 1; 2 – этилацетат/95 % этанол 1,0 : 0,5; 3 – этилацетат/95 % этанол 0,5 : 1,0; 4 – этилацетат/95 % этанол 3 : 1; 5 – этилацетат/95 % этанол 1 : 3; 6 – 95 % этанол
 UV-vis spectra of carotenoid solutions extracted from pumpkin with solvent mixtures:
 1 – ethyl acetate/95 % ethanol 1 : 1; 2 – ethyl acetate/95 % ethanol 1 : 0.5; 3 – ethyl acetate/95 % ethanol 0.5 : 1; 4 – ethyl acetate/95 % ethanol 3 : 1; 5 – ethyl acetate/95 % ethanol 1 : 3; 6 – 95 % ethanol

Таблица 4

**Содержание каротиноидов, экстрагированных
из мякоти тыквы различными органическими растворителями
Content of carotenoids extracted from pumpkin with various organic solvents**

Номер образца	Растворитель	Содержание каротиноидов (в пересчете на β -каротин), мг%
1	Ацетон	39,53±0,01
2	Этилацетат	24,85±0,01
3	95 % этанол	17,34±0,01

Таблица 5

**Содержание каротиноидов, экстрагированных из мякоти тыквы комбинациями растворителей
Content of carotenoids extracted from pumpkin with solvent mixtures**

Номер образца	Количество 95 % этанола, мл	Количество этилацетата, мл	Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин), мг%
1	8	8	37,59±0,01
2	6	10	35,39±0,01
3	10	6	32,96±0,01
4	4	12	28,25±0,01
5	12	4	27,05±0,01
6	16	0	16,00±0,01

Из полученных результатов видно, что экстрагирование каротиноидов ацетоном показало наилучший результат. Содержание каротиноидов в экстракте при данном способе выделения составляет 39,53 мг%. Применение этилацетата в качестве экстрагента привело к снижению эффективности экстракции на 39 %, при этом содержание каротиноидов в экстракте составило 24,85 мг%. Наименее результативным оказался 95 % этиловый спирт. Его применение обеспечило содержание каротиноидов в растворе на уровне 17,34 мг%, что в два раза ниже по сравнению с ацетоном.

Вероятно, различия в полярности растворителей определяют их способность к экстрагированию каротиноидов. Поскольку этиловый спирт является менее полярным по сравнению с ацетоном и этилацетатом, его экстрагирующая способность оказалась наименьшей.

Применение смесей этилацетата и 95 % этилового спирта позволяет повысить выход каротиноидов в раствор (см. рис. 4). Представленные результаты показывают, что наибольшая эффективность экстракции наблюдалась при использовании смеси этих экстрагентов в равных пропорциях. При таком соотношении содержание каротиноидов в экстракте составило 37,59 мг%. Отклонение от этого соотношения в сторону увеличения или уменьшения доли одного из компонентов приводило к снижению эффективности экс-

тракции. Минимальное содержание каротиноидов (27,05 мг%) было зафиксировано при соотношении этилацетата и спирта 1 : 3.

Таким образом, наилучшие результаты по выделению каротиноидов из мякоти тыквы достигаются при использовании ацетона либо смеси этилацетата и 95 % этилового спирта в соотношении 1 : 1.

Высокая степень экстрагирования и насыщенный цвет полученных экстрактов позволяют использовать их для создания натуральных красителей, которые могут служить альтернативой синтетическим в пищевой промышленности.

Процесс производства каротиноидного красителя из мякоти тыквы включает следующие этапы: пюрирование сырья, экстракцию пигмента полярными растворителями или их смесями, центрифугирование экстрактов с отделением плотной фазы, концентрирование в 5 раз с использованием вакуумного (роторного) испарителя и последующую лиофильную сушку. Этот метод обеспечивает полное удаление летучего экстрагента и получение порошкообразного продукта ярко-желтого цвета. Технологическая схема производства натурального каротиноидного красителя из мякоти тыквы представлена на рисунке 5.

Внешний вид разработанного каротиноидного красителя представлен на рисунке 6. Показатели качества натурального каротиноидного красителя представлены в таблице 5.



Рис. 5. Технологическая схема получения каротиноидного красителя из мякоти тыквы
Technology of obtaining carotenoid dye from pumpkin



Рис. 6. Внешний вид разработанного каротиноидного красителя
Appearance of the developed carotenoid dye

Таблица 5

Органолептические и физико-химические показатели качества каротиноидного красителя
Organoleptic and physicochemical quality indicators of carotenoid dye

Показатель	Характеристика
<i>Органолептические показатели</i>	
Внешний вид и цвет	Мелкий рассыпчатый порошок ярко желтого цвета
Запах	Тыквенный
Вкус	Сладкий, тыквенный
<i>Физико-химические показатели</i>	
Содержание каротиноидов (в перерасчете на β-каротина), мг%	50,56
Растворимость	Водорастворим, полная растворимость
<i>Сроки годности</i>	
Не более 9 месяцев при температурах 4–6 °С	

Результаты исследования показали, что полученный натуральный каротиноидный краситель представляет собой порошок ярко-желтого цвета (см. рис. 6) с легким тыквенным ароматом и вкусом. Содержание каротиноидов (в перерасчете на β -каротин) в данном красителе составляет 50,56 мг%. Срок хранения красителя не превышает 9 мес. при температурах от 4 до 6 °С.

Также установлено, что разработанный каротиноидный краситель обладает хорошей растворимостью в воде, но практически не раство-

ряется в масляных растворах (рис. 7). Приобретение гидрофильных свойств в процессе производства расширяет возможности использования данного красителя в пищевой промышленности, позволяя применять его для окрашивания различных групп пищевых продуктов.

УФ-спектры натурального каротиноидного красителя, а также экстрактов каротиноидов и водного раствора тыквенного красителя фирмы MIXIE представлены на рисунке 8.



Рис. 7. Растворимость разработанного красителя
Solubility of carotenoid dye

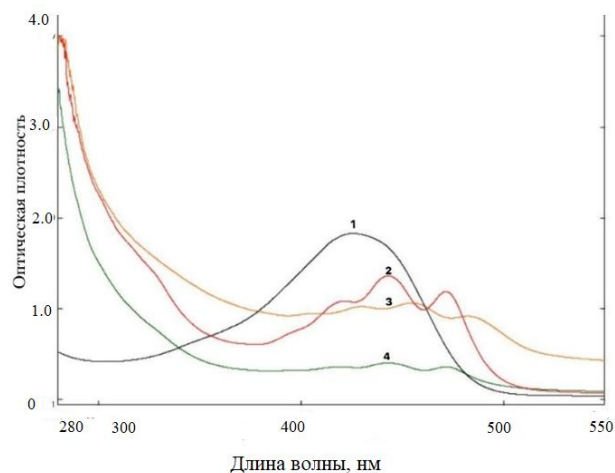


Рис. 8. УФ-спектры водного раствора тыквенного красителя фирмы MIXIE (1), экстрактов каротиноидов, выделенных спиртом (2) и водным раствором (4), разработанного каротиноидного красителя (3)

UV-vis spectra of an aqueous solution of pumpkin dye from MIXIE (1), carotenoid extracts isolated with alcohol (2) and an aqueous solution (4), developed carotenoid dye (3)

Анализ данных, представленных на рисунке 8, показывает, что УФ-спектр водного раствора тыквенного красителя фирмы MIXIE (кривая 1) содержит один экстремум, указывающий присутствие в растворе β -каротина.

УФ-спектр разработанного каротиноидного красителя (кривая 3), а также УФ-спектры растворов каротиноидов, экстрагированных из мякоти тыквы этиловым спиртом (кривая 2) и вод-

ным раствором (кривая 4), демонстрируют три четко выраженных максимума. Однако на кривой 3 наблюдается смещение максимумов поглощения. Как правило, это связывают с присутствием в исследуемом сырье суммы каротиноидов либо с изменением их растворимости [23]. Вероятно, в процессе производства красителя пигменты подвергаются термоокислению, в результате чего гидрофобные углеводородные

каротиноиды окисляются до гидрофильных гидроксилсодержащих соединений. Это приводит к изменению их гидрофобно-гидрофильного баланса. В ходе вакуумной сушки под воздействием органического растворителя, кислорода воздуха и повышенной температуры в углеводородную структуру каротиноидов могут встраиваться атомы кислорода. Это приводит к усилению диполь-дипольных взаимодействий и образованию водородных связей с молекулами

воды, а также снижению действия сил Ван-дер-Ваальса за счет уменьшения молекулярной массы пигмента [23]. Данный процесс сопровождается увеличением содержания гидрофильных окисленных ксантофиллов, таких как зеаксантин, неоксантин и другие.

Повышенное содержание ксантофиллов в разработанном красителе подтверждено анализом ИК-спектров экстракта каротиноидов и полученного красителя (рис. 9).

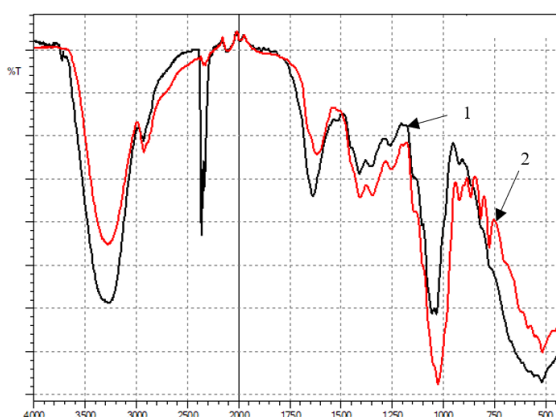


Рис. 9. ИК-спектры экстракта каротиноидов (1) и разработанного каротиноидного красителя (2)
IR spectra of carotenoid extract (1) and carotenoid dye (2)

ИК-спектры обоих образцов демонстрируют характерные полосы поглощения в диапазоне 600–3900 см^{-1} . Колебания в области 2940 см^{-1} в сочетании с полосами в пределах 1650–1400 см^{-1} и 1100–650 см^{-1} указывают на присутствие полиеновой цепи в молекуле каротиноидов [24, 25].

Появление полос в диапазоне 3300–3450 см^{-1} свидетельствует о наличии в молекуле каротиноидов О-Н и С-О групп, характерных для кислородсодержащих ксантофиллов. Дополнительные пики в диапазоне 1300–650 см^{-1} могут быть связаны как с каротиноидами, так и с ксантофиллами [26]. При этом в данном спектральном интервале отмечаются различия, что указывает на увеличение числа окисленных групп в структуре красителя. Этот факт, вероятно, обусловлен протеканием термоокислительных процессов в ходе производства красителя, в результате которых гидрофобные бескислородные каротиноиды превращаются в гидрофильные окисленные ксантофиллы.

Заключение. В ходе исследования проведен поиск рациональных условий экстрагирования каротиноидного пигмента с целью наиболее полного его извлечения из мякоти тыквы. Установлено, что эффективность экстрагирования каро-

тиноидов зависит от полярности растворителя. 95 % этанол, являясь менее полярным растворителем по сравнению с ацетоном и этилацетатом, обладает наименьшей экстрагирующей способностью. Показана эффективность использования смесей растворителей для экстрагирования каротиноидов из мякоти тыквы. Наилучший результат показало соотношение этилацетата и этанола, равное 1 : 1. Определено, что малоэффективным способом экстрагирования каротиноидов из растительного сырья является ультразвуковая экстракция. С использованием наиболее эффективных экстрагентов и их смесей была разработана технология получения каротиноидного красителя. Данная технология включает этапы экстрагирования, концентрирования экстрактов и их последующую лиофильную сушку. Полученный каротиноидный краситель представляет собой рассыпчатый порошок желтого цвета, содержащий в своем составе комплекс каротиноидов. Хорошая растворимость разработанного каротиноидного красителя в воде позволяет расширить сферу использования гидрофобных красителей для окрашивания различных групп пищевых продуктов.

Список источников

1. Riaz M., Zia-Ul-Haq M., Dou D. Chemistry of carotenoids. In: Carotenoids: structure and function in the human body. 2021. P. 43–76. DOI: 10.1007/978-3-030-46459-2_2.
2. Al-Sharqawi A., Osman A., El-Sayed A., et al. Effectiveness of pumpkin seed aqueous extract as an anticancer // Zagazig Journal of Agricultural Research. 2024. Vol. 51, № 5. P. 1085–1094. DOI: 10.17420/ap6604.289.
3. Batool M., Ranjha M., Roobab U., et al. Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (*Cucurbita sp.*) // Plants. 2022. Vol. 11, № 11. P. 1394. DOI: 10.3390/plants11111394.
4. Kaur S., Panghal A., Garg M., et al. Functional and nutraceutical properties of pumpkin—a review // Nutrition and Food Science. 2020. Vol. 50, № 2. P. 384–401. DOI: 10.1108/NFS-05-2019-0143.
5. Konrade D., Spalvins K. Extraction of bioactives from pumpkin by-products and determination of their antioxidant activity // Research for rural development. 2022. Vol. 37. P. 106–114. DOI: 10.22616/rrd.28.2022.016.
6. Biezanowska-Kopeć R., Ambroszczyk A., Piątkowska E., et al. Nutritional value and antioxidant activity of fresh pumpkin flowers (*Cucurbita sp.*) grown in Poland // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 13. P. 6673. DOI: 10.3390/app12136673.
7. Atencio S., Verkempinck S., Reineke K., et al. Heat and light stability of pumpkin-based carotenoids in a photosensitive food: a carotenoid-coloured beverage // Foods. 2022. Vol. 11, № 3. P. 485. DOI: 10.3390/foods11030485.
8. Chandrika U. Carotenoid Dyes – Properties and Production. Handbook of Natural Colorants; 2023. DOI: 10.1002/9780470744970.ch13.
9. Yara-Varon E., Fabiano-Tixier A., Balcels M., et al. Is it possible to substitute hexane with green solvents for extraction of carotenoids? A theoretical versus experimental solubility study // RSC advances. 2016. Vol. 6, № 3. P. 27750–27759. DOI: 10.1039/c6ra03016e.
10. Ninčević G., Rimac B., Badanjak S., et al. Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products // Molecules. 2023. Vol. 28, № 2. P. 858. DOI: 10.3390/molecules28020858.
11. Ouyang M., Huang Y., Wang Y., et al. Stability of carotenoids and carotenoid esters in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices during hot air drying // Food Chemistry. 2022. Vol. 367. P. 130710. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130710.
12. Joshi D., Adhikari N. An overview on common organic solvents and their toxicity // J. Pharm. Res. Int. 2019. Vol. 28, № 3. P. 1–18. DOI: 10.9734/jpri/2019/v28i330203.
13. Ветров П.П., Гарная С.В. Определение содержания липофильных веществ и суммы каротиноидов в растительном сырье // Химико-фармацевтический журнал. 1989. № 3. С. 34–38.
14. Старовойтова К.В., Терещук Л.В., Сергеева И.Ю. Перспективные направления переработки растительного сырья с целью изучения фитохимических соединений для пищевых систем. В сб.: I международный конгресс «Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий»; 28–30 ноября 2022. Кемерово, 2022. С. 418–421. DOI: 10.21603/-i-ic-128.
15. Подолец А.М., Захаренко А.М., Разгонова С.А., и др. Инновационные методы извлечения полезных веществ из растительного сырья: обзор литературы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54, № 3. С. 70–78.
16. Ачмиз А.А., Лисовая Е.В., Свердличенко А.В., и др. Характеристика существующих способов получения каротиноидов из растительного сырья и вторичных ресурсов его переработки // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 2. P. 15–25. DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-2-15-25.
17. Круглов Д.С. Спектрофотометрическое определение А-витаминной активности каротиноидосодержащего сырья // Journal of Siberian Medical Sciences. 2021. Vol. 4. P. 17–26. DOI: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26.
18. Bonfigli M., Godoy E., Reinheimer M., et al. Comparison between conventional and ultrasound-assisted techniques for extraction of anthocyanins from grape pomace. Experimental results and

- mathematical modeling // Journal of food engineering. 2017. Vol. 207. P. 56–72. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.03.011.
19. Hundie K. Optimization and Characterization of Ultrasound-Assisted Pectin Extracted from Orange Waste // Pak J Anal Environ Chem. 2021. Vol. 22, № 2. P. 344–357. DOI: 10.21743/pjaes/2021/12/13.
 20. Fooladi H., Mortazavi S., Rajaei A., et al. Optimize the extraction of phenolic compounds of jujube (*Ziziphus Jujube*) using ultrasound-assisted extraction method. 2013.
 21. Табакаева О.В., Приходько Ю.В., Валевич А.Л. Кинетика извлечения биологически активных веществ из бурой водоросли *S. Miyabei* Дальневосточного региона разными способами экстракции // АПК России. 2022. Т. 29, № 3. С. 392–397. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-3-392-397.
 22. Rozen A., Krupnov B. Dependence of the extraction ability of organic compounds on their structure // Russian chemical reviews. 1996. Vol. 65, № 11. P. 973. DOI:10.1070/RC1996v065n11ABEH000241.
 23. Болотов В.М., Рудаков О.Б., Шершнева Е.В. Термоокисление β -каротина в растворе // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1997. Т. 4. С. 21–23.
 24. Koyama Y., Takatsuka I., Nakata M., et al. Raman and infrared spectra of the all-trans, 7-cis, 9-cis, 13-cis and 15-cis isomers of L-carotene // J. of Raman Spectroscopy. 1988. Vol. 19, № 1. P. 37–49. DOI: 10.1002/jrs.1250190107.
 25. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids Handbook. Basel: Springer Basel AG; 2004.
 26. Курегян А.Г., Печинский С.В. Получение каротиноидов и их идентификация методами спектроскопии в ИК- и УФ-областях // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. Т. 19, № 1. С. 22–27.

References

1. Riaz M, Zia-Ul-Haq M, Dou D. Chemistry of carotenoids. In: *Carotenoids: structure and function in the human body*. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-46459-2_2
2. Al-Sharqawi A, Osman A, El-Sayed A, et al. Effectiveness of pumpkin seed aqueous extract as an anti-cancer. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2024;51(5):1085-1094. DOI: 10.17420/ap6604.289.
3. Batool M, Ranjha M, Roobab U, et al. Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (*Cucurbita sp.*). *Plants*. 2022;11(11):1394. DOI: 10.3390/plants11111394.
4. Kaur S, Panghal A, Garg M, et al. Functional and nutraceutical properties of pumpkin – a review. *Nutrition & Food Science*. 2020;50(2):384-401. DOI: 10.1108/NFS-05-2019-0143.
5. Konrade D, Spalvins K. Extraction of bioactives from pumpkin by-products and determination of their antioxidant activity. *Research for rural development*. 2022;37:106-114. DOI: 10.22616/rrd.28.2022.016.
6. Bieżanowska-Kopeć R, Ambroszczyk A, Piątkowska E, et al. Nutritional value and antioxidant activity of fresh pumpkin flowers (*Cucurbita sp.*) grown in Poland. *Applied Sciences*. 2022;12(13):6673. DOI: 10.3390/app12136673.
7. Atencio S, Verkempinck S, Reineke K, et al. Heat and light stability of pumpkin-based carotenoids in a photosensitive food: a carotenoid-coloured beverage. *Foods*. 2022;11(3):485. DOI: 10.3390/foods11030485.
8. Chandrika U. *Carotenoid Dyes – Properties and Production*. Handbook of Natural Colorants; 2023. DOI: 10.1002/9780470744970.ch13.
9. Yara-Varon E, Fabiano-Tixier A, Balcells M, et al. Is it possible to substitute hexane with green solvents for extraction of carotenoids? A theoretical versus experimental solubility study. *RSC advances*. 2016;6(33):27750-27759. DOI: 10.1039/c6ra03016e.
10. Ninčević G, Rimac B, Badanjak S, et al. Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products. *Molecules*. 2023;28(2):858. DOI: 10.3390/molecules28020858.
11. Ouyang M, Huang Y, Wang Y, et al. Stability of carotenoids and carotenoid esters in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices during hot air drying. *Food Chemistry*. 2022;367:130710. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130710.
12. Joshi D, Adhikari N. An overview on common organic solvents and their toxicity. *J. Pharm. Res. Int*. 2019;28(3):1-18. DOI: 10.9734/jpri/2019/v28i330203.

13. Vetrov PP, Garnaya SV. Opredelenie sodержaniya lipofil'nyh veshchestv i summy karotinoidov v rastitel'nom syr'e. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal*. 1989;3:34-38. (In Russ.).
14. Starovoitova K, Tereshchuk L, Sergeeva I. Future directions of vegetable raw material processing for extraction of phytochemical compounds for food systems. In: *I International Congress «The Latest Achievements of Medicine, Healthcare, and Health-Saving Technologies»*. 2023. (In Russ.). DOI: 10.21603/i-ic-128.
15. Podolec AM, Zaharenko AM, Razgonova SA, et al. Innovacionnye metody izvlecheniya poleznyh veshchestv iz rastitel'nogo syr'ya: Obzor literatury. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2024;54(3):70-78. (In Russ.).
16. Achmiz AA, Lisovaya EV, Sverdlichenko AV et al. Harakteristika sushchestvuyushchih sposobov polucheniya karotinoidov iz rastitel'nogo syr'ya I vtorichnyh resursov ego pererabotki. *New technologies*. 2022;18(2):15-25. (In Russ.). DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-2-15-25.
17. Kruglov DS. Spektrofotometricheskoe opredelenie A-vitaminnoj aktivnosti karotinoidosoderzhashchego syr'ya. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2021;4:17-26. (In Russ.). DOI: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26.
18. Bonfigli M, Godoy E, Reinheimer M, et al. Comparison between conventional and ultrasound-assisted techniques for extraction of anthocyanins from grape pomace. Experimental results and mathematical modeling. *Journal of food engineering*. 2017;207:56-72. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.03.011.
19. Hundie K. Optimization and Characterization of Ultrasound-Assisted Pectin Extracted from Orange Waste. *Pak J Anal Environ Chem*. 2021;22(2):344-357. DOI: 10.21743/pjaes/2021/12/13.
20. Fooladi H, Mortazavi S, Rajaei A, et al. Optimize the extraction of phenolic compounds of jujube (*Ziziphus Jujube*) using ultrasound-assisted extraction method. 2013.
21. Tabakaeva OV, Prihod'ko YuV, Valevich AL. Kinetika izvlecheniya biologicheskii aktivnyh veshchestv iz buroj vodorosli *S. Mirabai* Dal'evostochnogo regiona raznymi sposobami ekstrakcii. *APK Rossii*. 2022;29(3):392-397. (In Russ.). DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-3-392-397.
22. Rozen A, Krupnov B. Dependence of the extraction ability of organic compounds on their structure. *Russian chemical review*. 1996;65(11):973. DOI: 10.1070/RC1996v065n11ABEH000241.
23. Bolotov VM, Rudakov OB, Shershneva EV. Termookislenie β -karotina v rastvore. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*. 1997;4:21-23.
24. Koyama Y, Takatsuka I, Nakata M, et al. Raman and infrared spectra of the all-trans, 7-cis, 9-cis, 13-cis and 15-cis isomers of L-carotene. *J. of Raman Spectroscopy*. 1988;19(1):37-49. DOI: 10.1002/jrs.1250190107.
25. Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H. *Carotenoids Handbook*. Basel: Springer Basel AG; 2004.
26. Kuregyan AG, Pechinskij SV. Poluchenie karotinoidov i ih identifikaciy amethodami spektroskopii v IK- i UF-oblastyah. *Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy himii*. 2016;19(1):22-27. (In Russ.).

Статья принята к публикации 22.04.2025 / The article accepted for publication 22.04.2025.

Информация об авторах:

Наталья Юрьевна Чеснокова¹, профессор базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, старший научный сотрудник лаборатории коллоидных систем и межфазных процессов, доктор технических наук, доцент

Алла Алексеевна Кузнецова², доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, кандидат технических наук, доцент

Татьяна Владимировна Танашкина³, доцент базовой кафедры биологической и биохимической инженерии, кандидат биологических наук, доцент

Людмила Владимировна Кушнаренко⁴, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, кандидат технических наук

Information about the authors:

Natalia Yuryevna Chesnokova¹, Professor at the Basic Department of Food and Cell Engineering, Senior Researcher of the Laboratory of Colloidal Systems and Interphase Processes, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Alla Alekseevna Kuznetsova², Associate Professor at the Basic Department of Food and Cell Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tatyana Vladimirovna Tanashkina³, Associate Professor at the Basic Department of Biological and Biochemical Engineering, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Lyudmila Vladimirovna Kushnarenko⁴, Associate Professor at the Basic Department of Food and Cell Engineering, Candidate of Technical Sciences

