Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 38–47.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 665.3 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-03 EDN: DESACF

Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло

Никита Денисович Давыдов[1], Анна Владимировна Будова [2], Екатерина Александровна Мутовкина [3], Сергей Алексеевич Бредихин [4], Игорь Юрьевич Алексанян [5]

[1, 5] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
[2, 3, 4] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
[1] dendavnik@ya.ru, ORCID: 0009-0008-5401-9141
[2] budova.a@rgau-msha.ru, ORCID: 0009-0001-4951-2897
[3] mutovkina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-8719-2994
[4] sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389
[5] 16081960igor@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5494-1226

Аннотация. Перспективным направлением повышения эффективности пищевых производств является разработка технологий натуральных премиксов и добавок растительного происхождения, в частности, в комплексе с красящими компонентами. К таким съедобным премиксам-красителям относится экологически безопасный пищевой препарат Е-140 (комплекс хлорофиллов и филлинов), который придаёт изделиям оливковый цветовой оттенок и может позитивно влиять на жизнедеятельность индивидуумов. ПК Е-140 нашёл применение не только в пищевой отрасли, но и в фармацевтике и медицине. Наиболее распространенными сырьевыми источниками хлорофилла служат листья шпината и микроскопическая водоросль хлорелла, являющаяся одним из наиболее перспективных источников белка и микроэлементов. Для создания биодоступных форм хлорофилла, предназначенных для включения в жиросодержащие пищевые продукты, необходима стадия перевода экстрагированных пигментов в липидную фазу. Определение статических закономерностей данной операции экстракции в системе жидкость/жидкость для оценки максимального выхода целевых компонентов, определения диффузионных параметров и дальнейшего моделирования массопереноса посвящена данныя статья. Исследованы листья шпината и хлорелла, содержащие хлорофилл и феофитин; промежуточные продукты, образующиеся при экстракции и перераспределении пигментов между фазами; а также целевые продукты – эмульсионные пищевые системы на основе обогащённых растительных масел. Экспериментально определены коэффициенты распределения и степени извлечения пигментов в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло». Установлено, что при одинаковой начальной концентрации пигментов (108 мг/л) их распределение идентично, а рациональным соотношением фаз является 1:8 (спиртовой экстракт – масло), обеспечивающее степень извлечения 95,4 %. Показано, что концентрирование спиртового экстракта до ~1000 мг/л повышает степень извлечения до 98,1 %, что обосновывает необходимость предварительного упаривания экстракта хлорофилла.

Ключевые слова: листья шпината, хлорелла, хлорофилл, спиртовый экстракт, масляный экстракт, жидкостная экстракция, статистические закономерности

Для цитирования: Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю. Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 38–47.

© Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 38–47.

FOOD SYSTEMS

Original article

Determination of phase equilibrium and distribution of plant pigments in the hydrophilic extract–oil system

Nikita D. Davydov[1], Anna V. Budova[2], Ekaterina A. Mutovkina[3], Sergey A. Bredikhin[4], Igor Yu. Aleksanyan[5]

[1, 5] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

[2, 3, 4] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[1] dendavnik@ya.ru, ORCID: 0009-0008-5401-9141

[2] budova.a@rgau-msha.ru, ORCID: 0009-0001-4951-2897

[3] mutovkina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-8719-2994

[4] sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389

[5] 16081960igor@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5494-1226

Abstract. A promising area for improving the efficiency of food production is the development of technologies for natural premixes and additives of plant origin, particularly in combination with coloring components. Such edible premixed colorants include the environmentally friendly food product E-140 (a complex of chlorophylls and phyllins), which imparts an olive color to products and can positively impact the vital functions of individuals. PC E-140 has found application not only in the food industry but also in pharmaceuticals and medicine. The most common raw material sources of chlorophyll are spinach leaves and the microscopic algae chlorella, one of the most promising sources of protein and micronutrients. To create bioavailable forms of chlorophyll intended for inclusion in fat-containing food products, a stage of converting the extracted pigments into the lipid phase is necessary. This article is devoted to defining the static patterns of this extraction operation in a liquid/liquid system to estimate the maximum yield of target components, determine diffusion parameters, and subsequently model mass transfer. Spinach and chlorella leaves containing chlorophyll and pheophytin, intermediate products formed during the extraction and redistribution of pigments between phases, and the target products—emulsion food systems based on enriched vegetable oils—were studied. The distribution coefficients and the degree of extraction of pigments in the "alcohol extract – sunflower oil" system were experimentally determined. It was found that, at the same initial concentration of pigments (108 mg/L), their distribution is identical, and the rational phase ratio is 1:8 (alcohol extract – oil), ensuring an extraction degree of 95.4 %. It has been shown that concentrating the alcohol extract to ~1000 mg/l increases the degree of extraction to 98.1 %, which justifies the need for preliminary evaporation of the chlorophyll extract.

Keywords: spinach leaves, Chlorella, chlorophyll, alcoholic extract, oil extract, liquid–liquid extraction, equilibrium patterns, distribution coefficients, mass transfer modeling

For citation: Davydov N. D., Budova A. V., Mutovkina E. A., Bredikhin S. A., Aleksanyan I. Yu. Determination of phase equilibrium and distribution of plant pigments in the hydrophilic extract–oil system. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):38–47. (In Russ.).

Введение

Перспективным направлением повышения эффективности пищевых производств является разработка технологий натуральных премиксов и добавок растительного происхождения, в частности, в комплексе с красящими компонентами [1]. К таким съедобным премиксам-красителям, выпускаемым обычно в виде капсул или гранул и добавляемых в изделия с целью их

окрашивания, придания им специфических вешнего состояния, вкусовых ощущений консистенции, цветовой гаммы, аромата и повышения длительности сохранности можно отнести экологически безопасный пищевой препарат Е-140 (комплекс хлорофиллов и филлинов), который придаёт изделиям оливковый цветовой оттенок и может позитивно влиять на жизнедеятельность индивидуумов. ПК Е-140 нашёл применение не только в пищевой отрасли, но и в фармацевтике и медицине.

Наиболее распространенными сырьевыми источниками хлорофилла могут служить листья шпината и микроскопическая водоросль хлорелла, являющаяся один из наиболее перспективных источников белка и микроэлементов на нашей планете [2]. Выращивание хлореллы в будущем может стать выгодным бизнесом, особенно в условиях повышенного спроса на экологически чистые продукты и нарастающей проблемы дефицита белка.

Переход от сырья к готовому экстракту представляет собой многоступенчатый технологический процесс. Первоначальным этапом является подготовка биомассы, включающая сбор, мойку и измельчение. Ключевой стадией является собственно экстракция, направленная на максимальное извлечение липофильных пигментов. Известным способом экстракции является мацерация с использованием органических растворителей, таких как ацетон, этанол, метанол или их смеси [3, 4, 5].

Для создания биодоступных форм хлорофилла, предназначенных для включения в жиросодержащие пищевые продукты, необходима стадия перевода экстрагированных пигментов в липидную фазу [6, 7, 8].

Определение статических закономерностей данной операции экстракции в системе жидкость/жидкость для оценки максимального выхода целевых компонентов, определения диффузионных параметров и дальнейшего моделирования массопереноса явилось целью настоящего исследования.

Перевод пигментов из спиртового экстракта в масло осуществлён методом жидкостной экстракции (экстракции в системе двух несмешивающихся жидкостей). Данный подход позволяет не только сконцентрировать пигменты в липидной фазе, но и отделить их от гидрофильных примесей (сахаров, органических кислот, водорастворимых белков), присутствующих в спиртовом экстракте, особенно при использовании свежего шпината [9]. Кроме того, предварительное растворение хлорофилла в пищевом масле обеспечивает его включение в смешанные мицеллы в процессе пищеварения, что многократно повышает его биодоступность по сравнению с водными дисперсиями или сухими порошками.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись три группы продуктов, последовательно получаемых в ходе реализации технологических этапов: исходное растительное сырьё (листья шпината и хлорелла), содержащее хлорофилл и феофитин; промежуточные продукты, образующиеся при экстракции и перераспределении пигментов между фазами; а также целевые продукты – эмульсионные пищевые системы на основе обогащённых растительных масел.

Основным этапом жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина из спиртового экстракта является выбор подходящего липофильного экстрагента – растительного масла, которое будет выступать в качестве носителя пигментов и в дальнейшем использоваться в составе эмульсионных пищевых систем.

К маслу-экстрагенту предъявляется ряд требований: оно должно быть пищевым, безопасным, доступным по цене, химически совместимым с хлорофиллами (обеспечивать их хорошую растворимость), обладать низкой вязкостью для эффективного массопереноса, а также иметь нейтральные органолептические свойства, чтобы не вносить нежелательных привкусов в конечный продукт.

Согласно данным системы маркировки «Честный Знак» (аналитика за 2026 год), безусловным лидером на российском рынке растительных масел является подсолнечное масло: его продажи составили 134,7 млн литров, что соответствует 80 % от всего объёма рынка [10]. На втором месте находятся смеси растительных масел (19 млн литров, ~11 %). Остальные

масла (кукурузное – 727 тыс. литров, горчичное – 679,6 тыс. литров, льняное – 556 тыс. литров) суммарно занимают лишь около 2 % рынка. Таким образом, подсолнечное масло доминирует как по объёму производства, так и по доступности для промышленного использования.

Сравнительный анализ наиболее распространённых масел (подсолнечного, кукурузного, горчичного, льняного) с учётом их физико-химических и экономических характеристик представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика растительных масел как потенциальных экстрагентов

Table 1

Comparative characteristics of vegetable oils as potential extractants

Наименование показателя	**Растительное масло**			
	Подсолнечное рафинированное	Кукурузное рафинированное	Горчичное	Льняное
Доля на российском рынке, %	80	<1	<1	<1
Средняя цена, руб./л	80…120	120…180	150…250	150…250
Вкус и запах	Нейтральный	Нейтральный	Специфический (острый)	Специфический (рыбный)
Содержание α-линоленовой кислоты (омега-3), %	<1	<1	5–10	45–60
Устойчивость к окислению	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая
Вязкость кинематическая при 20 °C, мм²/с	~60	~75	~75	~65

Анализ данных табл. 1 показывает, что подсолнечное рафинированное масло обладает решающими преимуществами:

- абсолютное доминирование на рынке (80 % продаж) – гарантирует стабильность поставок, воспроизводимость результатов и доступность для промышленного масштабирования;
- низкая цена (80…120 руб./л) – в 1,5–3 раза дешевле кукурузного, горчичного и льняного масел, что критически важно для промышленных объёмов;
- нейтральные органолептические свойства – рафинированное подсолнечное масло не имеет выраженного вкуса и запаха, что позволяет использовать обогащённое хлорофиллом/феофитином масло в составе эмульсионных соусов без искажения их вкусоароматического профиля;
- высокая устойчивость к окислению – благодаря минимальному содержанию полиненасыщенных жирных кислот и наличию природных антиоксидантов (токоферолов) подсолнечное масло устойчиво к окислению в процессе хранения, что важно для сохранности хлорофилла и феофитина;
- вязкость кинематическая (~60 мм²/с при 20 °C) – обеспечивает достаточную скорость массопереноса при перемешивании и позволяет эффективно разделять фазы после экстракции.

Таким образом, в качестве экстрагента для жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина из спиртового экстракта выбрано подсолнечное масло рафинированное дезодорированное. Оно соответствует всем предъявляемым требованиям: доминирование на рынке

(80 %), сравнительно низкая цена, нейтральные органолептические свойства, высокая устойчивость к окислению и рациональная кинематическая вязкость.

Основной задачей данного исследования являлось определение равновесных концентраций хлорофилла (в спиртовом экстракте шпината) и феофитина (в спиртовом экстракте хлореллы) в масляной фазе при жидкостной экстракции в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло», а также установление коэффициента распределения и рационального соотношения фаз, а также обоснование необходимости концентрирования экстракта хлорофилла для повышения эффективности процесса.

Ранее установлено, что спиртовой экстракт хлорофилла из свежего шпината имеет концентрацию 108 мг/л, а спиртовой экстракт феофитина из сухой хлореллы – 1029 мг/л. Данное различие обусловлено природой сырья: свежий шпинат содержит 91,6 % влаги, тогда как сухая хлорелла обезвожена и представляет собой концентрированный порошок. Однако для корректного сравнения распределения хлорофилла и феофитина между спиртовой и масляной фазами необходимо выровнять начальные концентрации пигментов в спиртовых экстрактах, так как коэффициент распределения и степень извлечения зависят от исходной концентрации.

Хлорофилл и феофитин являются близкими по химической природе порфириновыми пигментами, различающимися лишь наличием центрального атома магния (у хлорофилла) или его отсутствием (у феофитина) [11]. Следовательно, при одинаковой концентрации в спиртовой фазе их поведение при жидкостной экстракции в масло должно быть аналогичным.

В связи с этим исходный концентрированный экстракт феофитина (1029 мг/л) разбавляли 96 %-м этиловым спиртом в 9,5 раза до достижения концентрации ~108 мг/л, то есть до уровня концентрации хлорофилла в экстракте шпината. Далее оба экстракта использовали в экспериментах по жидкостной экстракции в масло для сравнительного анализа.

В качестве липофильного экстрагента-носителя использовали рафинированное деодорированное подсолнечное масло. В качестве исходных гидрофильных экстрактов использовались:

- спиртовой экстракт хлорофилла из свежего шпината, полученный при рациональных режимах (гидромодуль 1 : 6, продолжительность 15 мин, T = 60 °C, 96 % этанол) с концентрацией 108 мг/л;
- спиртовой экстракт феофитина из сухой хлореллы, полученный при рациональных режимах (гидромодуль 1 : 8, продолжительность 10 мин, T = 60°C, 96 % этанол), разбавленный 96%-м этанолом до концентрации ~108 мг/л.

Приготовление модельных смесей и проведение экстракции проводилось следующим образом. Спиртовой экстракт и растительное масло смешивали в конических колбах при различных объёмных соотношениях «экстракт : масло» в диапазоне от 1 : 3 до 1 : 10 (об./об.). Смесь перемешивали на магнитной мешалке при 300 об/мин в течение 60 мин. Предварительно установлено, что равновесие достигалось через 45…60 мин). Температуру экстракции поддерживали на уровне 22 ± 2 °C. После достижения равновесия смесь отстаивали в делительной воронке для полного разделения фаз.

Методика определения концентрации пигментов в масляной фазе осуществлялась следующим образом. Следует отметить, что прямое спектрофотометрическое определение пигментов в масле затруднено из-за высокого светорассеяния и наличия сопутствующих липофильных соединений. Поэтому концентрацию пигментов в масляной фазе определяли косвенным методом – по остаточному содержанию пигментов в спиртовой фазе после экстракции с использованием спектрофотометрического метода. Концентрацию пигмента в масляной фазе ($C_{масло}$, мг/л) рассчитывали по уравнению материального баланса (1).

$$C_{\text{масло}} = \frac{\left(C_{\text{спирт}}^{\text{нач}} - C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}\right) \cdot V_{\text{спирт}}}{V_{\text{масло}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}$ – начальная концентрация пигмента в спиртовом экстракте, мг/л; $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$ – остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции, мг/л; $V_{\text{спирт}}$ и $V_{\text{масло}}$ – объёмы спиртовой и масляной фаз, л (принимаем $V_{\text{спирт}} = 1$ л для расчёта, $V_{\text{масло}}$ – в соответствии с соотношением).

Коэффициент распределения (K_D) пигментов между масляной и спиртовой фазами определяли по формуле (2).

$$K_D = \frac{C_{\text{масло}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}. \quad (2)$$

Для определения степени извлечения (η, %) пигмента в масляную фазу применяли формуле (3).

$$\eta = \frac{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}} - C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}} \cdot 100\ \% = \left(1 - \frac{C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}}\right) \cdot 100\ \%. \quad (3)$$

Каждый эксперимент проводили в пяти повторностях.

Результаты

Экспериментальные данные по распределению пигментов при выровненных начальных концентрациях (108 мг/л) представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Распределение пигментов между спиртовой и масляной фазами

Table 2

Distribution of pigments between the alcohol and oil phases

Соотношение экстракт : масло, об./об.	**Концентрация пигмента в масляной фазе $C_{\text{масло}}$, мг/л**	**Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$, мг/л**	**Коэффициент распределения K_D**
1 : 3	33,8	25,0	1,35
1 : 4	28,6	15,0	1,91
1 : 5	24,5	10,0	2,45
1 : 6	21,3	7,0	3,04
1 : 8	17,2	**5,0**	3,44
1 : 10	14,5	4,8	3,02

В табл. 2 приведены обобщённые данные для изучаемых пигментов. Они получены как для хлорофилла, так и для разбавленного феофитина. Установлено, что при одинаковой начальной концентрации (108 мг/л) распределение обоих пигментов идентично в пределах экспериментальной погрешности.

Таблица 3

Степень извлечения пигментов в масляную фазу ($C_{спирт}^{нач}$ = 108 мг/л)

Table 3

Degree of extraction of pigments into the oil phase (C alcohol/start = 108 mg/l)

Соотношение экстракт : масло, об./об.	Степень извлечения пигмента в масляную фазу η, %
1 : 3	76,9
1 : 4	86,1
1 : 5	90,7
1 : 6	93,5
1 : 8	**95,4**
1 : 10	95,6

Из данных табл. 2 и 3 видно, что с увеличением соотношения «масло : экстракт» (от 1 : 3 к 1 : 10) концентрация пигмента в масляной фазе ($C_{масло}$) снижается, что объясняется разбавлением. Однако остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе ($C_{спирт}^{ост}$) уменьшается ещё более существенно – с 25,0 до 4,8 мг/л. Это приводит к монотонному росту коэффициента распределения K_D до соотношения 1 : 8, после чего наблюдается небольшое снижение (с 3,44 до 3,02), что может быть связано с экспериментальной погрешностью или достижением предела извлечения.

Степень извлечения (η) возрастает с увеличением доли масла, достигая при соотношении 1 : 8 значения 95,4 %.

При дальнейшем увеличении соотношения до 1 : 10 степень извлечения практически не меняется (прирост менее 0,2 %), что свидетельствует о достижении плато. Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе при соотношении 1 : 8 стабилизируется на уровне 5,0 мг/л, что соответствует достижению равновесия в трёхкомпонентной системе «спирт – масло – пигмент».

Дальнейшее увеличение объёма масла не приводит к дополнительному извлечению пигмента.

Анализ данных табл. 2 и 3 позволяет сделать следующие выводы:

- при соотношении 1 : 8 достигается практически полное извлечение пигмента из спиртовой фазы – 95,4 %;
- остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе снижается до 5,0 мг/л, что является пределом равновесия;
- дальнейшее увеличение соотношения до 1 : 10 даёт незначительный прирост степени извлечения (0,2 %) при увеличении расхода масла на 25 % (с 8 до 10 л на 1 л экстракта), что экономически нецелесообразно.

Таким образом, установлено, что рациональным соотношением фаз для жидкостной экстракции признано 1 : 8 (спиртовой экстракт : подсолнечное масло). Данное соотношение обеспечивает высокую степень извлечения (>95 %) при умеренном расходе масла.

Для оценки влияния начальной концентрации пигмента на эффективность жидкостной экстракции был проведён дополнительный эксперимент с исходным (неразбавленным) концентрированным экстрактом феофитина ($C_{спирт}^{нач} = 1029$ мг/л) при рациональном соотношении фаз 1 : 8. Результаты эксперимента прииедены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты экстракции разбавленного и концентрированного экстрактов феофитина (соотношение 1 : 8, T = 22 °C, τ = 60 мин)

Table 4

Results of extraction of diluted and concentrated extracts of pheophytin (ratio 1 : 8, T = 22 °C, τ = 60 min)

Наименование параметра	Разбавленный экстракт (108 мг/л)	Концентрированный экстракт (1029 мг/л)
Концентрация пигмента в масляной фазе $C_{\text{масло}}$, мг/л	17,2	710
Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$, мг/л	5,0	20
Коэффициент распределения K_D	3,44	35,5
Степень извлечения пигмента в масляную фазу η, %	95,4	98,1

Установлено, что при использовании концентрированного экстракта: степень извлечения выше (98,1 % против 95,4 %); коэффициент распределения K_D значительно выше (35,5 против 3,44); концентрация пигмента в масляной фазе выше в 41 раз (710 против 17,2 мг/л). Это объясняется более высокой движущей силой массопереноса при большей начальной концентрации пигмента в спиртовой фазе.

Следовательно, для повышения эффективности жидкостной экстракции хлорофилла (из шпината) и получения масляного концентрата с более высоким содержанием пигмента целесообразно предварительное концентрирование спиртового экстракта хлорофилла до уровня, сопоставимого с концентрацией феофитина в экстракте хлореллы (~1000 мг/л). Концентрирование рекомендуется проводить методом выпаривания под вакуумом при температуре не выше 40 °C для предотвращения термодеструкции и феофитинизации нативного хлорофилла. Ожидается, что при достижении концентрации хлорофилла ~1000 мг/л его степень извлечения в масло при соотношении фаз 1 : 8 возрастёт до 97…98 %, а коэффициент распределения K_D приблизится к значениям, характерным для концентрированного экстракта феофитина.

Заключение

На основе анализа российского рынка и физико-химических характеристик в качестве экстрагента для жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина выбрано подсолнечное масло рафинированное дезодорированное, которое доминирует на рынке (80 % продаж), имеет низкую цену, нейтральные органолептические свойства, высокой устойчивостью к окислению и кинематической вязкостью (~60 мм²/с при 20 °C).

Экспериментально определены коэффициенты распределения и степени извлечения пигментов в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло». Установлено, что при одинаковой начальной концентрации пигментов (108 мг/л) их распределение идентично, а рациональным соотношением фаз является 1 : 8 (спиртовой экстракт : масло), обеспечивающее степень извлечения 95,4 %. Показано, что концентрирование спиртового экстракта до ~1000 мг/л повышает степень извлечения до 98,1 %, что обосновывает необходимость предварительного выпаривания экстракта хлорофилла.

Список источников

1. Третьяков Н. А. Современное состояние и возможные направления развития плодоовощной перерабатывающей промышленности // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. №. 1. С. 167–172.

2. Лелеков А. С., Тренкеншу Р. П. Моделирование содержания хлорофилла, а в культурах микроводорослей // Математическая биология и биоинформатика. 2020. Т. 15, №. 2. С. 158–171.

3. Абашкин И. А. и др. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор) // Химия и технология органических веществ. 2021. №. 2. С. 43–59.

4. Бровко О. С. и др. Сравнительный анализ традиционных и современных методов экстракции усниновой кислоты из лишайникового сырья // Фундаментальные исследования. 2015. №. 11–4. С. 659–663.

5. Белобородова И. Д. Основные методы экстракции БАВ из растительного сырья // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки. 2016. С. 61–63.

6. Постраш И. Ю., Соболева Ю. Г., Андрущенко В. С. Экстракция биологически активных веществ из цветков ромашки аптечной // Вестник АПК Верхневолжья. 2020. №. 1. С. 22–26.

7. Хаззаа И. Х., Вайнштейн В. А., Чибиляев Т. Х. Экстрагирование липофильных БАВ из травы зверобоя водно-масляными эмульсиями // Химико-фармацевтический журнал. 2003. Т. 37, №. 7. С. 20–23.

8. Вайнштейн В. А., Каухова И. Е. Экстрагирование лекарственного растительного сырья двухфазной системой экстрагентов // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2014. №. 3. С. 84–89.

9. Жданова П. А., Демина Л. Н., Меньшикова В. К. Технология водно-спиртовой экстракции растительного сырья // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. №. 2. С. 51–58.

10. Роскачество. Названы самые популярные растительные масла [Электронный ресурс]. URL: https://rskrf.ru/news/nazvany-samye-populyarnye-rastitelnye-masla/?ysclid=mpji4i9xp318658829 (дата обращения : 24.05.2026).

11. Струпан Е. А., Типсина Н. Н., Струпан О. А. Пищевые красители из дикорастущего лекарственного сырья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. №. 1. С. 260–263.

Сведения об авторах

Н. Д. Давыдов – аспирант кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 2110-9785.

А. В. Будова – аспирант кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, SPIN-код: 4805-2613.

Е. А. Мутовкина – кандидат технических наук, преподаватель кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, SPIN-код: 6305-2515.

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, SPIN-код: 1267-3480.

И. Ю. Алексанян – доктор технических наук, профессор кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 7762-8174.

Information about the authors

N. D. Davydov – Postgraduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 2110-9785.

A. V. Budova – Postgraduate student of the Department of Technology of Storage and Processing of Horticultural and Plant Products, SPIN-code: 4805-2613.

E. A. Mutovkina – PhD in Technical Sciences, Lecturer of the Department of Technology for Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, SPIN-code: 6305-2515.

S. A. Bredikhin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Processes and Devices of Processing Industries, SPIN-code: 1267-3480.

I. Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 7762-8174.

Статья поступила в редакцию 20.08.2026; одобрена после рецензирования 01.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 20.08.2026; approved after reviewing 01.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю., 2026.

«Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло» [Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).