Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 75, № 1. С. 29–38.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 66.061.3:577.1 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-75-03 EDN: FLMOYS

Кинетические закономерности экстрагирования биоактивных соединений из свежего шпината и сухой микроводоросли хлореллы

Никита Денисович Давыдов[1], Сергей Алексеевич Бредихин[2], Альберт Хамед–Харисович Нугманов[3], Павел Дмитриевич Осмоловский[4], Алексей Валерьевич Жевнеров[5]
[1] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
[2-5] Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
[1] dendavnik@ya.ru, ORCID: 0009-0008-5401-9141
[2] sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389
[3] nugmanov@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-4093-9982
[4] pavel.osmolovsku@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1131-1552
[5] a.zhevnerov@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0003-1658-762X

Аннотация. Натуральные пигменты хлорофиллы и феофитины востребованы в пищевой и фармацевтической промышленности как безопасные красители и биологически активные добавки. Целью работы являлось сравнительное экспериментальное исследование кинетических закономерностей процессов экстракции хлорофилла из измельченных свежих листьев шпината (*Spinacia oleracea*) и феофитина из сухого порошка хлореллы (*Chlorella vulgaris*). Экстракцию проводили этиловым спиртом в статических условиях при комнатной температуре. Методом фотометрии получены зависимости оптической плотности экстрактов от времени, на основе которых построены кривые экстракции $C = f(\tau)$. Методом графического дифференцирования получены кривые скорости экстракции в координатах $dC/d\tau = f(C)$. Выявлены и проанализированы характерные периоды на кинетических кривых для обоих видов сырья. Показано, что механизм массопереноса существенно различается в зависимости от природы объекта и формы его предварительной обработки. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации технологических режимов получения натуральных пигментов из растительного сырья различного типа и для математического моделирования процессов экстракции.

Ключевые слова: шпинат свежий, хлорелла сухая, хлорофилл, феофитин, экстракция, кинетика, кривая экстракции, скорость экстракции

Для цитирования: Давыдов Н. Д., Бредихин С. А., Нугманов А. Х.-Х., Осмоловский П. Д., Жевнеров А. В. Кинетические закономерности экстрагирования биоактивных соединений из свежего шпината и сухой микроводоросли хлореллы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 75, № 1. С. 29–38.

© Давыдов Н. Д., Бредихин С. А., Нугманов А. Х.-Х., Осмоловский П. Д., Жевнеров А. В., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 75, no. 1. P. 29–38.

FOOD SYSTEMS

Original article

Kinetic regularities of extraction of bioactive compounds from fresh spinach and dried chlorella microalgae

Nikita D. Davydov[1], Sergey A. Bredikhin[2], Albert H.–H. Nugmanov[3], Pavel D. Osmolovskiy[4], Alexey V. Zhevnerov[5]

[1] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

[2-5] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA), Moscow, Russia

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

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

[3] nugmanov@rgau-msha.ru, ORCID: org/0000-0002-4093-9982

[4] pavel.osmolovsku@mail.ru, ORCID: org/0000-0003-1131-1552

[5] a.zhevnerov@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0003-1658-762X

Abstract. Natural pigments chlorophylls and pheophytins are in demand in the food and pharmaceutical industries as safe dyes and biologically active additives. The aim of the work was a comparative experimental study of the kinetic patterns of chlorophyll extraction from crushed fresh spinach leaves (*Spinacia oleracea*) and pheophytin from dry chlorella powder (*Chlorella vulgaris*). The extraction was carried out with ethyl alcohol under static conditions at room temperature. The dependences of the optical density of extracts on time were obtained by photometry, on the basis of which the extraction curves C=f(τ) were constructed. The extraction rate curves in the coordinates dC/dt=f(C) were obtained by graphical differentiation. Characteristic periods on kinetic curves for both types of raw materials have been identified and analyzed. It is shown that the mechanism of mass transfer varies significantly depending on the nature of the object and the form of its pretreatment. The data obtained can be used to optimize the technological modes of obtaining natural pigments from various types of plant raw materials and for mathematical modeling of extraction processes.

Keywords: fresh spinach, dry chlorella, chlorophyll, pheophytin, extraction, kinetics, extraction curve, extraction rate

For citation: Davydov N. D., Bredikhin S. A., Nugmanov A. H.-H., Osmolovsky P. D., Zhevnerov A. V. Kinetic regularities of extraction of bioactive compounds from fresh spinach and dried chlorella microalgae. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026;75(1):29–38. (In Russ.).

Введение

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к натуральным пищевым красителям и биологически активным добавкам растительного происхождения. Среди них особое место занимают хлорофиллы и их производные – феофитины, молекулярное строение которых представлено на рис. 1. Хлорофиллы и их производные – феофитины используются как безопасные красители (пищевая добавка Е-140), а также обладают доказанными антиоксидантными, иммуномодулирующими и ранозаживляющими свойствами [1, 2].

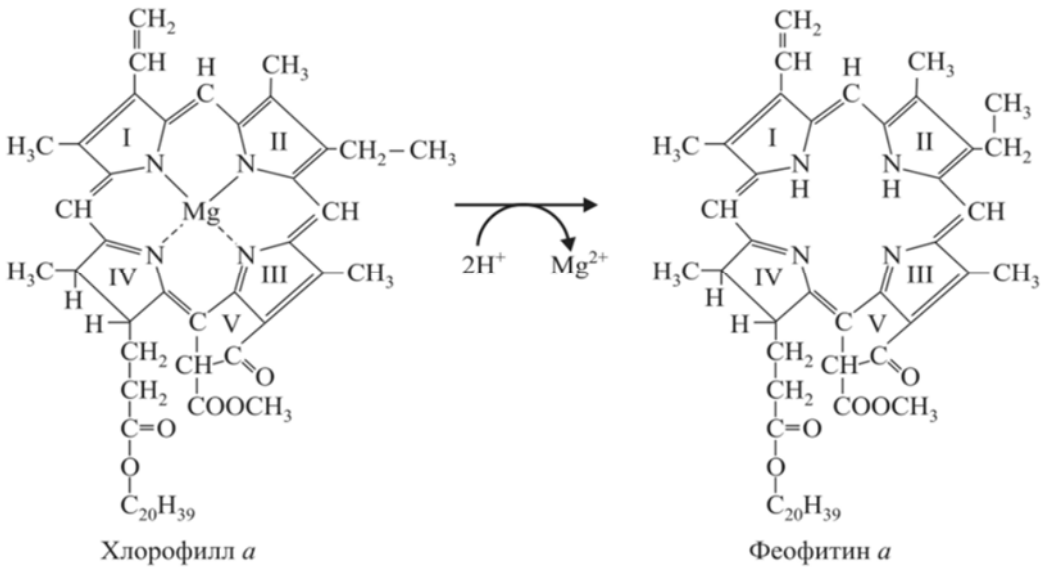

Рис. 1. Схема химической структуры превращения хлорофилла в феофитин
(информация из открытых источников)
Fig. 1. Chemical structure of chlorophyll conversion to pheophytin
(information from open sources)

Основными источниками этих пигментов служат различные растительные объекты. Листовые овощи, в частности шпинат (*Spinacia oleracea*), традиционно рассматриваются как богатый источник нативного хлорофилла [3]. Свежий шпинат характеризуется высоким содержанием влаги и лабильной клеточной структурой, что определяет специфику массообменных процессов при экстракции. Альтернативным и всё более востребованным источником является микроводоросль хлорелла (*Chlorella vulgaris*), культивируемая в промышленных масштабах [4, 5]. При переработке хлореллы чаще всего используют сухую биомассу, в которой в процессе сушки часть хлорофилла может трансформироваться в феофитин (продукт замещения иона магния на водород), что изменяет его экстракционные свойства и спектральные характеристики [6].

Процесс экстракции является ключевой стадией выделения пигментов из растительной матрицы. Его эффективность и селективность в значительной степени определяются кинетическими закономерностями, которые зависят от природы сырья (влажность, структура ткани, размер частиц) и условий проведения процесса [7, 8]. Анализ кривых экстракции и кривых скорости, построенных в координатах $dC/d\tau = f(C)$, позволяет не только идентифицировать лимитирующие стадии, но и получить информацию о скорости процесса на каждом этапе извлечения, что особенно важно для математического моделирования и масштабирования [9].

Целью данной работы является экспериментальное изучение и сравнительный анализ кинетических закономерностей экстракции хлорофилла из измельченных свежих листьев шпината и феофитина из сухого порошка хлореллы этиловым спиртом с построением кривых экстракции $C = f(\tau)$ и кривых скорости $dC/d\tau = f(C)$.

Объект и методы исследования

В качестве растительных объектов исследования использовались следующие образцы:

- свежие листья шпината (*Spinacia oleracea*) коммерческого сорта, которые предварительно измельчали до состояния однородной кашицы непосредственно перед экспериментом для минимизации деструкции пигментов;

- сухой порошок биомассы микроводоросли *Chlorella vulgaris*, который использовали без дополнительной обработки.

Подготовка сырья и условия экстракции

Экстракцию проводили в стеклянных колбах на лабораторном шейкере при постоянном перемешивании (200 об/мин) при комнатной температуре (21±1 °С). В качестве экстрагента использовали 96 % этиловый спирт с добавлением 0,03 г MgO на 100 мл спирта для стабилизации хлорофилла. Соотношение сырья и экстрагента для обоих объектов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика объектов и условия экстракции

Table 1

Characteristics of objects and extraction conditions

Параметр	Шпинат свежий (хлорофилл)	Хлорелла сухая (феофитин)
Масса навески, г	5,0	1,0
Влажность сырья, %	91,5 ± 0,5	6,8 ± 0,3
Масса экстрагента, г	50,0	50,0
Соотношение сырье : экстрагент	1 : 10	1 : 50

Методика анализа

Необходимые пробы экстракта отбирали через заданные промежутки времени (30, 60, 120, 300, 600, 1200, 1800, 2700, 3600 с). Оптическую плотность отобранных проб измеряли на спектрофотометре КФК-3. Для разделения вклада хлорофилла и феофитина использовали метод спектрального анализа [10]:

- для шпината (хлорофилл *a* и *b*) измерения проводили при длине волны λ = 665 нм;
- для хлореллы (феофитин) измерения проводили при длине волны λ = 655 нм (характерный пик для феофитина *a*).

Переход хлорофилла в феофитин в сухой хлорелле был подтвержден предварительными исследованиями.

Расчет концентрации пигментов (в г/л) проводили по предварительно построенным градуировочным зависимостям, связывающим оптическую плотность *D* с концентрацией *C*.

Обработка результатов

Кривые экстракции строили в координатах «концентрация пигмента *C* (г/л) – время τ (с)». Кривые скорости экстракции получали методом графического дифференцирования кривых $C(\tau)$ с последующим построением зависимостей $dC/d\tau = f(C)$. Аппроксимацию экспериментальных данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные по изменению оптической плотности экстракта шпината и рассчитанные значения концентрации хлорофилла представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость оптической плотности (D_{665}) и концентрации хлорофилла ($C_{хл}$) от времени экстракции (шпинат свежий)

Table 2

Dependence of optical density (D_{665}) and chlorophyll concentration (C_{chl}) on extraction time (fresh spinach)

Время τ, с	D_{665} (ср.)	$C_{хл}$, г/л	dC/dτ, г/(л·с)
0	0,00	0,000	$1{,}07\cdot10^{-3}$
30	0,45	0,032	$0{,}80\cdot10^{-3}$
60	0,68	0,048	$0{,}55\cdot10^{-3}$
120	0,92	0,065	$0{,}28\cdot10^{-3}$
300	1,23	0,087	$0{,}12\cdot10^{-3}$
600	1,45	0,102	$0{,}06\cdot10^{-3}$

1200	1,61	0,113	$0{,}03 \cdot 10^{-3}$
1800	1,68	0,118	$0{,}02 \cdot 10^{-3}$
2700	1,72	0,121	$0{,}01 \cdot 10^{-3}$
3600	1,74	0,122	$0{,}003 \cdot 10^{-3}$

На основе данных табл. 2 построена кривая экстракции $C_{хл} = f(\tau)$ (рис. 2) и кривая скорости процесса в координатах $dC_{хл}/d\tau = f(C_{хл})$, которая получена графическим дифференцированием (рис. 3).

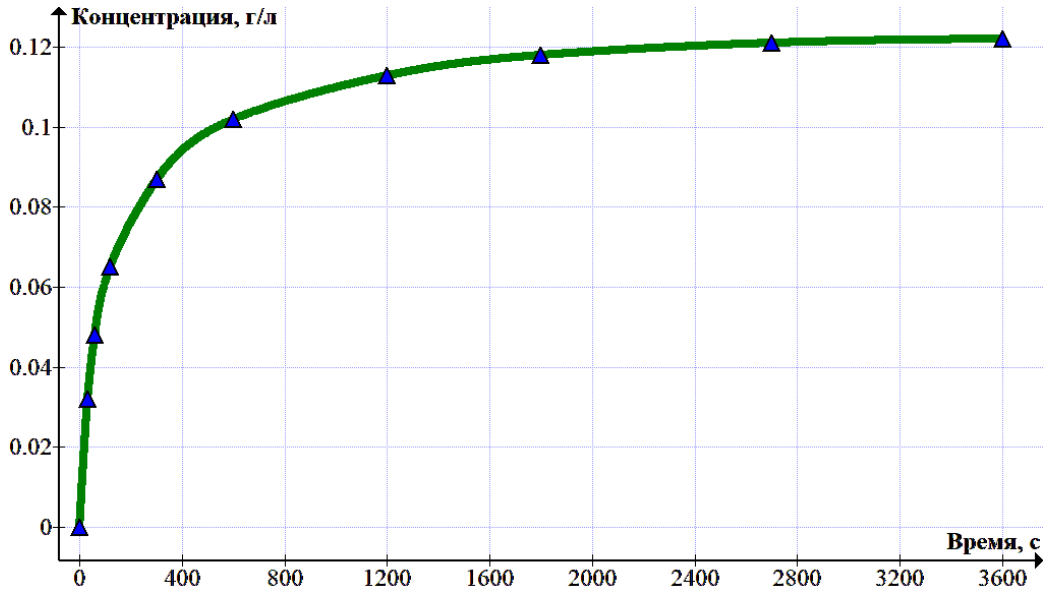

Рис. 2. Зависимость концентрации хлорофилла из свежего шпината от продолжительности экстракции. Составлено авторами

Fig. 2. The dependence of chlorophyll concentration from fresh spinach on the duration of extraction. Compiled by the authors

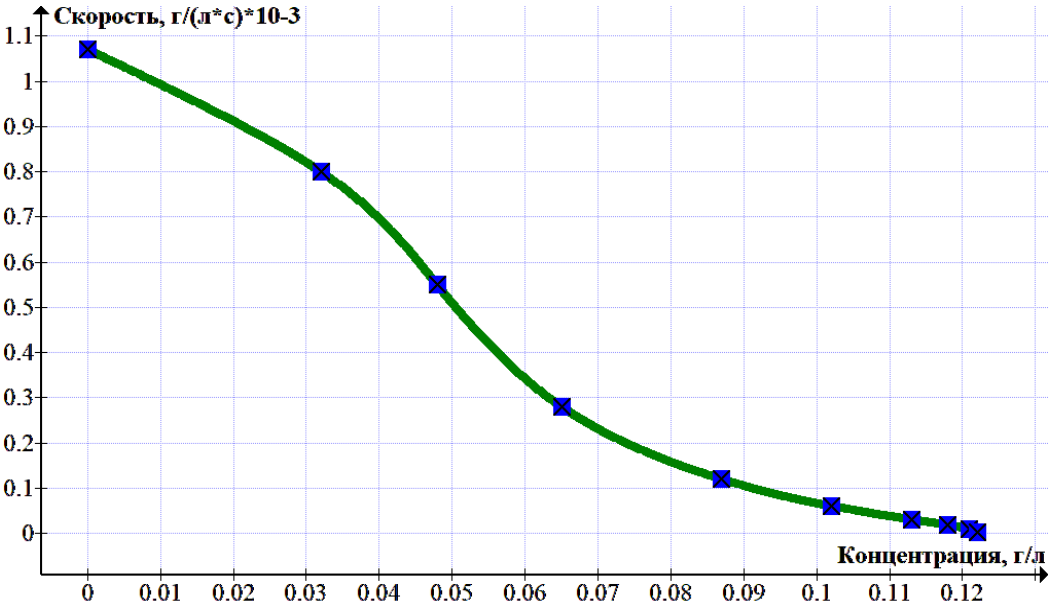

Рис. 3. Зависимость скорости экстракции хлорофилла из свежего шпината от концентрации. Составлено авторами

Fig. 3. The dependence of the chlorophyll extraction rate from fresh spinach on the concentration. Compiled by the authors

Анализ кривой экстракции (см. рис. 1) показывает, что процесс извлечения хлорофилла

из свежего шпината протекает интенсивно в течение первых 300…600 с, после чего наступает стадия замедления и кривая выходит на плато (равновесие) к 1800…2700 с при предельной концентрации ~0,122 г/л.

На кривой скорости $dC/d\tau = f(C)$ (см. рис. 2) отчетливо наблюдаются два характерных участка. Первый участок соответствует диапазону концентраций от 0 до ~0,09 г/л. Здесь скорость экстракции максимальна в начальный момент (при C→0) и составляет ~$1{,}2\cdot10^{-3}$ г/(л·с), после чего происходит ее быстрое снижение по мере увеличения концентрации хлорофилла в экстракте. Это соответствует стадии свободного вымывания пигмента с поверхности разрушенных при измельчении клеток и из межклеточного пространства. Движущая сила процесса на этом этапе максимальна, и скорость лимитируется главным образом внешним массообменом.

Второй участок на кривой скорости наблюдается при концентрациях выше 0,09 г/л. Здесь скорость снижается значительно медленнее, стремясь к нулю при приближении к равновесной концентрации C* ≈ 0,122 г/л. Этот участок соответствует стадии внутренней диффузии, когда извлечение лимитируется переносом хлорофилла через клеточные стенки оставшихся интактных клеток и десорбцией связанного пигмента.

Экспериментальные данные для сухой хлореллы представлены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость оптической плотности (D_{655}) и концентрации феофитина ($C_ф$) от времени экстракции (хлорелла сухая)

Table 3

Dependence of optical density (D_{655}) and pheophytin (C_{ph}) concentration on extraction time (dry chlorella)

Время τ, с	D_{655} (ср.)	$C_ф$, г/л	dC/dτ, г/(л·с)
0	0,00	0,000	$0{,}15\cdot10^{-3}$
30	0,08	0,005	$0{,}17\cdot10^{-3}$
60	0,15	0,009	$0{,}18\cdot10^{-3}$
120	0,28	0,017	$0{,}16\cdot10^{-3}$
300	0,49	0,030	$0{,}10\cdot10^{-3}$
600	0,67	0,041	$0{,}06\cdot10^{-3}$
1200	0,81	0,050	$0{,}03\cdot10^{-3}$
1800	0,88	0,054	$0{,}02\cdot10^{-3}$
2700	0,92	0,056	$0{,}01\cdot10^{-3}$
3600	0,94	0,057	$0{,}005\cdot10^{-3}$

На основе данных табл. 3 построена кривая экстракции $C_ф = f(\tau)$ (рис. 4) и кривая скорости процесса в координатах $dC_ф/d\tau = f(C_ф)$, которая получена графическим дифференцированием (рис. 5).

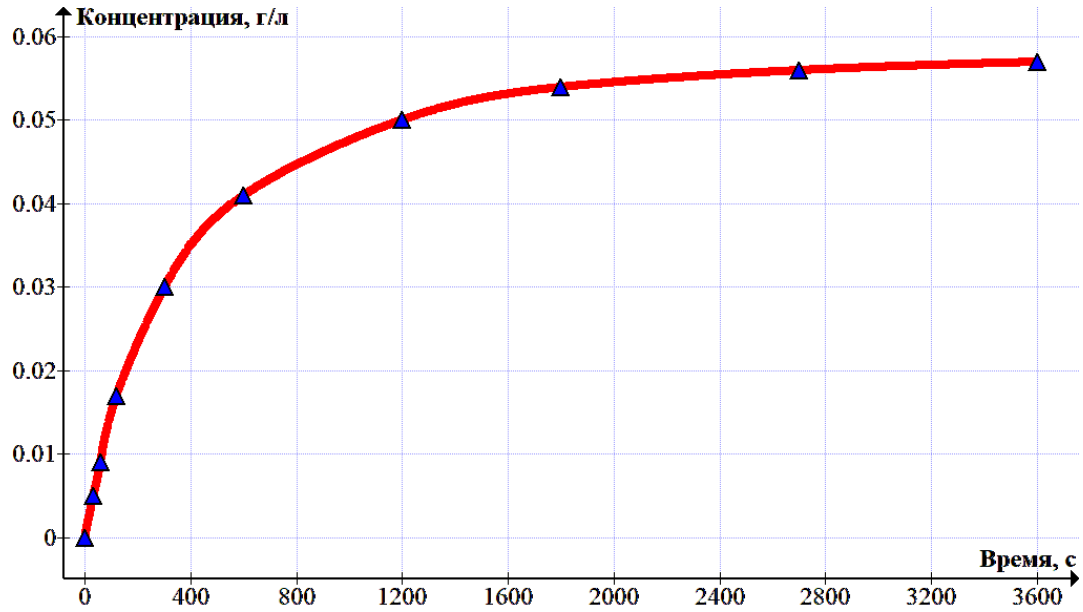

Рис. 4. Зависимость концентрации феофитина из сухой хлореллы от продолжительности экстракции. Составлено авторами

Fig. 4. Dependence of the concentration of pheophytin from dry chlorella on the duration of extraction. Compiled by the authors

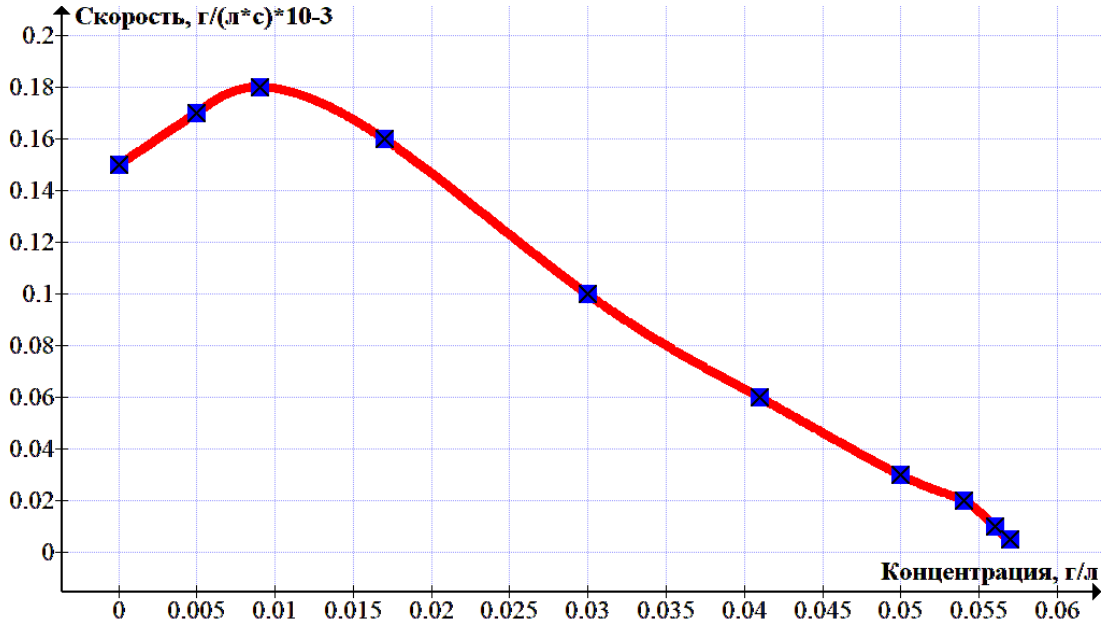

Рис. 5. Зависимость скорости экстракции феофитина из сухой хлореллы от концентрации. Составлено авторами

Fig. 5. Dependence of the extraction rate of pheophytin from dry chlorella on concentration. Compiled by the authors

Кривая экстракции для сухой хлореллы (рис. 4) имеет иной характер. Процесс идет медленнее: активный рост концентрации наблюдается до 600…1200 с, а равновесие достигается лишь к 2700…3600 с при предельной концентрации ~0,057 г/л.

Кривая скорости $C_ф/d\tau = f(C_ф)$, (рис. 5), также демонстрирует два участка, но с существенными отличиями от шпината. При малых концентрациях (до ~0,01 г/л) скорость экстракции нарастает, достигая максимума (~$0{,}18 \cdot 10^{-3}$ г/(л·с) при С ≈ 0,01 г/л, и лишь затем начинает снижаться. Это объясняется необходимостью предварительного набухания сухих частиц хлореллы и смачивания развитой внутренней поверхности пор. Начальная стадия лимитируется не массообменом, а кинетикой смачивания и набухания.

После достижения максимума скорости (второй участок, C > 0,01 г/л) наблюдается ее монотонное снижение вплоть до достижения равновесия. На этом этапе процесс лимитируется внутренней диффузией феофитина из труднодоступных пор и клеточных структур. Кривая скорости имеет более пологий характер по сравнению со шпинатом, что свидетельствует о большем диффузионном сопротивлении внутри частиц сухой хлореллы.

Для количественного сравнения были оценены основные кинетические характеристики процесса для обоих видов сырья (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительные кинетические характеристики процессов экстракции

Table 4

Comparative kinetic characteristics of extraction processes

Показатель	Шпинат свежий	Хлорелла сухая
Равновесная концентрация C*, г/л	0,122	0,057
Время достижения равновесия, с	~1800	~2700
Максимальная скорость экстракции (dC/dτ)max, г/(л·с)	$\sim 1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$\sim 0{,}18 \cdot 10^{-3}$
Концентрация, при которой достигается max скорость, г/л	0 (в начальный момент)	~0,01
Скорость при C = 0,5C*, г/(л·с)	$\sim 0{,}3 \cdot 10^{-3}$	$\sim 0{,}10 \cdot 10^{-3}$

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать следующие заключения о механизме процессов.

Для свежего шпината (извлечение нативного хлорофилла) характерна высокая начальная скорость экстракции, максимальная в начальный момент времени и быстро снижающаяся по мере увеличения концентрации. Это типично для процессов, где основное сопротивление массопереносу сосредоточено во внешней фазе, а поверхность массообмена хорошо развита и доступна.

Для сухой хлореллы (извлечение феофитина) процесс протекает существенно медленнее. Наличие восходящего участка на кривой скорости $dC/d\tau = f(C)$ указывает на то, что начальная стадия лимитируется процессами смачивания и набухания частиц. Основное сопротивление массопереносу сосредоточено внутри частицы (прочная клеточная стенка, пористая структура), что проявляется в более низких значениях скорости на всем протяжении процесса.

Форма кривых скорости в координатах $dC/d\tau = f(C)$ позволяет диагностировать лимитирующую стадию процесса: для шпината кривая имеет вид, характерный для внешнедиффузионного контроля; для хлореллы – для внутренне-диффузионного с осложнениями на начальной стадии.

Заключение

1. Экспериментально исследована кинетика процессов экстракции пигментов из двух типов растительного сырья: хлорофилла из свежего измельченного шпината и феофитина из сухого порошка хлореллы. Для каждого процесса получены кривые экстракции $C = f(\tau)$ и кривые скорости в координатах $dC/d\tau = f(C)$.

2. Установлено, что состояние сырья (свежее/сухое) и, как следствие, его структура оказывают определяющее влияние на кинетические закономерности. Для свежего шпината характерны высокие скорости в начальный период и быстрое (1800 с) достижение равновесия при предельной концентрации 0,122 г/л. Для сухой хлореллы процесс протекает медленнее (равновесие достигается к 2700 с при концентрации 0,057 г/л) из-за стадии набухания и большей роли внутренней диффузии.

3. Показано, что на кривых скорости $dC/d\tau = f(C)$ для обоих объектов присутствуют

два характерных участка, соответствующих различным механизмам массопереноса. Для шпината максимальная скорость наблюдается в начальный момент (C→0), что характерно для внешнедиффузионного контроля. Для хлореллы кривая скорости имеет максимум при C ≈ 0,01 г/л, что указывает на лимитирование начальной стадии процессами смачивания и набухания.

4. Форма кривых скорости $dC/d\tau = f(C)$ позволяет диагностировать лимитирующую стадию процесса и может служить критерием при выборе способов интенсификации экстракции. Для сухой хлореллы целесообразно применение дополнительных воздействий (например, ультразвука, ферментативной обработки), направленных на разрушение клеточных стенок и снижение внутридиффузионного сопротивления.

Таким образом, полученные экспериментальные данные и их анализ могут служить основой для математического моделирования процессов экстракции и выбора рациональных технологических параметров при промышленном получении хлорофиллсодержащих экстрактов из свежих листовых культур и сухой микроводорослевой биомассы.

Список источников

1. Березин Б. Д., Румянцева С. В., Морыганов А. П. и др. Химические превращения хлорофилла и его использование для создания экологически чистых красителей нового поколения // Успехи химии. 2004. Т. 73, № 2. С. 197–207.

2. Калугина И. Ю., Виноградова Д. А. Цветодиетология – влияние природных пищевых пигментов на здоровье человека // Биология и интегративная медицина. 2024. № 6(71). С. 335–344. DOI 10.24412/cl-34438-2024-671-335-344.

3. Пчелкина Э. Ш., Короткая И. А., Денисова Е. М. и др. Формирование урожайности и качества зелени сортов шпината в условиях Северо-Западного Приазовья // Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности: материалы Международной научно-практической конференции, Мелитополь, 21 июня 2024 года. Мелитополь : Мелитопольский государственный университет, 2024. С. 107–113.

4. Князева О. Е., Ляшенкова Е. А. Chlorella vulgaris как ценный ресурс в различных отраслях // Проблемы региональной экологии. 2025. № 1. С. 30–33. DOI 10.24412/1728-323X-2025-1-30-33.

5. Новокшонова А. Д., Храмцов П. В., Раев М. Б. Применение культур хлореллы обыкновенной в биотехнологии и пищевой промышленности // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2023. № 1. С. 32–42. DOI 10.7242/2658-705X/2023.1.4.

6. Пыжик Т. Н., Повшок Т. О. Хлорофилл и феофитин: экспериментальные аспекты регуляции коррозии // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2022. Т. 12, № 2. С. 6–13. DOI 10.52275/2223-5396-2022-12-2-6-13.

7. Сидорова Ю. С., Петров Н. А., Зорин С. Н. и др. Инновационные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 6(550). С. 28–37. DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-6-28-37.

8. Сёмушкин Д. Н., Зиганшин Б. Г., Сёмушкин Н. И. и др. Методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1(45). С. 78–88.

9. Гаврилов, А. В. Анализ процесса экстрагирования растительного сырья под действием электромагнитного поля СВЧ-диапазона // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2025. № 4(50). С. 142–150. DOI 10.55196/2411-3492-2025-4-50-142-150.

10. Ковалева Н. А., Тринеева О. В., Сливкин А. И. Исследование состава пигментов (каротиноидов и хлорофиллов) листьев облепихи крушиновидной методом ТСХ // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22, № 3. С. 284–298. DOI 10.17308/sorpchrom.2022.22/9335.

Сведения об авторах

Н. Д. Давыдов – аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование».

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Процессы и аппараты перерабатывающих производств», SPIN-код: 1267-3480, AuthorID: 176859.

А. Х.-Х. Нугманов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции», SPIN-код: 5934-7548, AuthorID: 561824.

П. Д. Осмоловский – канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции», SPIN-код: 5809-7289, AuthorID: 932977.

А. В. Жевнеров – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химия», SPIN-код: 2395-1929, AuthorID: 321184.

Information about the authors

N. D. Davydov – Postgraduate student of the Department of Technological Machines and Equipment.

S. A. Bredikhin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, SPIN-code: 1267-3480, AuthorID: 176859.

A. H.-H. Nugmanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies of Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Crop Products, SPIN-code: 5934-7548, AuthorID: 561824.

P. D. Osmolovskiy – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies of Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Crop Products, SPIN-code: 5809-7289, AuthorID: 932977.

A. V. Zhevnerov – PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, SPIN-code: 2395-1929, AuthorID: 321184.

Статья поступила в редакцию 09.03.2026; одобрена после рецензирования 17.03.2026; принята к публикации 17.03.2026.

The article was submitted 09.03.2026; approved after reviewing 17.03.2026; accepted for publication 17.03.2026.

© Давыдов Н. Д., Бредихин С. А., Нугманов А. Х.-Х., Осмоловский П. Д., Жевнеров А. В., 2026.

«Кинетические закономерности экстрагирования биоактивных соединений из свежего шпината и сухой микроводоросли хлореллы» [Давыдов Н. Д., Бредихин С. А., Нугманов А. Х.-Х., Осмоловский П. Д., Жевнеров А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).