Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 76, № 2. С. 53–65.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.95 **DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-05** **EDN: EANVTE**

Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica*

Светлана Валерьевна Журавлева [1], Татьяна Марьяновна Бойцова [2], Елена Геннадьевна Новицкая [3], Анна Валерьевна Панкина [4]
[1, 4] Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, Россия
[2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток Россия
[3] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
[1] zhursvet@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2183-0429
[2] boitsova_tm@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1717-0626
[3] novitckaia.eg@dvfu.ru, ORCID: 0009-0000-8873-4583
[4] pankina@msun.ru, ORCID: 0009-0000-6757-7443

Аннотация. Представлены результаты комплексного исследования отваров ламинарии японской (*Saccharina japonica*). Авторами изучена динамика накопления сухих веществ, изменение пенообразующей способности, устойчивости пены и изменения минерального профиля варочной среды в интервале от 15 до 90 мин.

С использованием математического моделирования определены константы скоростей экстракции и установлен теоретический предел насыщения системы нутриентами.

Выявлена линейная зависимость между концентрацией сухих веществ и пенообразующей способностью. Исследование динамики экстракции минеральных веществ показало, что катионы натрия и калия максимально переходят в раствор к шестидесятой минуте, в то время как извлечение катионов кальция и железа требует пролонгированной варки из-за их связи с органическим матриксом.

На основе полученных данных обоснованы режимы, позволяющие получать отвары для различных целей. Показано, что отвары от кратковременной обработки (до 45 мин) могут быть использованы для создания электролитных основ. Длительная варка сырья (90 мин) способствует обогащению отваров катионами двухвалентными металлами. Такие отвары могут быть использованы для производства функциональных концентратов. Таким образом, отвары *Saccharina japonica* могут рассматриваться как перспективное вторичное сырье для пищевой индустрии, биотехнологии, сельского хозяйства и др.

Ключевые слова: *Saccharina japonica*, водные отвары, динамика экстракции, математическое моделирование, концентрация сухих веществ, пенообразующая способность, минеральный профиль, вторичное сырье

Для цитирования: Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В. Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 53–65.

© Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 53–65.

FOOD SYSTEMS

Original article

Kinetics of dry matter accumulation and mineral profile of *Saccharina japonica* decoctions

Svetlana V. Zhuravleva [1], Tatyana M. Boytsova [2], Elena G. Novitskaya [3], Anna V. Pankina [4]

[1, 4] Admiral G. I. Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok, Russia
[2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[3] Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
[1] zhursvet@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2183-0429
[2] boitsova_tm@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1717-0626
[3] novitckaia.eg@dvfu.ru, ORCID: 0009-0000-8873-4583
[4] pankina@msun.ru, ORCID: 0009-0000-6757-7443

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study on Japanese kelp (*Saccharina japonica*) water extracts. The authors investigated the dynamics of dry matter accumulation, changes in foaming capacity and foam stability, as well as shifts in the mineral profile of the boiling medium within a time interval of 15 to 90 minutes.

Using mathematical modeling, extraction rate constants were determined and a theoretical limit for nutrient saturation of the system was established. A linear dependence between the concentration of dry matter and foaming capacity was identified. The study of mineral extraction dynamics showed that sodium and potassium cations reach maximum concentration in the solution by the 60th minute, while the extraction of calcium and iron cations requires prolonged boiling due to their binding with the organic matrix.

Based on the obtained data, processing regimes for various applications were justified. It was demonstrated that extracts from short-term processing (up to 45 min) can be used as electrolyte bases. Prolonged boiling of the raw material (90 min) promotes the enrichment of extracts with divalent metal cations. Such extracts can be used for the production of functional concentrates. Thus, *Saccharina japonica* extracts can be considered a promising secondary raw material for the food industry, biotechnology, agriculture, and other fields.

Keywords: *Saccharina japonica*, water extracts, extraction dynamics, mathematical modeling, dry matter concentration, foaming capacity, mineral profile, secondary raw materials

For citation: Zhuravleva S. V., Boitsova T. M., Novitskaya E. G., Pankina A. V. Kinetics of dry matter accumulation and mineral profile of *Saccharina japonica* decoctions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2): 53–65. (in Russ.).

Введение

Ламинариевые водоросли (*Laminariaceae*) на протяжении многих столетий составляют неотъемлемую частью рациона питания человека, особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. Исторический опыт их употребления в пищу подтверждает не только высокие вкусовые качества, но и выраженную биологическую эффективность.

Водоросли семейства *Laminariaciae* обладают уникальным химическом составом. Они содержат высокомолекулярные полисахариды, органический йод, альгинаты, а также комплекс макро- и микроэлементов, что делает их незаменимым сырьем для лечебно-профилактического и диетического питания [1–5].

Для доведения ламинариевых водорослей до состояния кулинарной готовности или промышленного полуфабриката в современных пищевых технологиях используют этап гидротермической обработки (варки) [6–8]. В результате данного процесса происходит направленная деструкция клеточного матрикса водорослей, сопровождающаяся интенсивной миграцией ценных водорастворимых соединений в варочную среду (отвар).

Очевидно, что получаемый отвар концентрирует в себе некоторую часть нутриентного потенциала исходного сырья.

Учитывая принципы рационального природопользования, отвары ламинариевых водорослей следует рассматривать не как побочный продукт переработки, а как перспективное вторичное сырье, которое может быть использовано в качестве функциональной основы при производстве новых видов пищевой продукции, либо в качестве основы для многокомпонентных биостимулирующих композиций для роста и развития растений.

Цель исследования заключалась в исследовании динамики и установлении закономерностей экстракции макро- и микроэлементов из слоевищ ламинарии японской (*Saccharina japonica*) в водную среду в процессе варки и обоснование использования полученных отваров.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали морскую капусту шинкованную мороженую по ГОСТ 31583-2012, приобретенную в торговой сети г. Владивостока.

Предварительная подготовка сырья включала дефростацию и промывку в проточной воде для удаления посторонних примесей.

Подготовленное сырье помещали в варочный аппарат при гидромодуле 1 : 2, подвергали обработке при температуре 100 °С и периодическом перемешивании. Выбранный режим гидротермической обработки является типовым для производства кулинарной продукции из ламинариевых водорослей. Общая продолжительность термической обработки составила 90 мин.

Для установления закономерностей экстракции минеральных компонентов осуществляли отбор проб отвара с интервалом в 15 мин (в точках: 15, 30, 45, 60, 75 и 90 мин). Отобранные аликвоты отвара фильтровали через бумажный фильтр «белая лента», охлаждали до температуры 20±2 ºС для последующего определения концентрации макро- и микроэлементов, которое проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 (Япония). В зависимости от определяемого элемента и ожидаемого диапазона концентраций использовали два варианта атомизации.

Для определения основных макроэлементов применялась пламенная атомизация с использованием однощелевой горелки и горючей смеси ацетилен–воздух.

Для обеспечения высокой чувствительности при определении микроэлементов в низких концентрациях применяли электротермическую (беспламенную) атомизацию с использованием графитовой кюветы.

Для устранения спектральных помех и учета неселективного поглощения выполняли коррекцию фона с помощью дейтериевого корректора. Калибровку прибора осуществляли по государственным стандартным образцам (ГСО) растворов ионов металлов (ГСО РМ).

Исследования минерального состава выполнены на базе лаборатории прикладной экологии и токсикологии ФГБРУ «ТИНРО- Центр».

Содержание растворимых сухих веществ (СВ) в отобранных пробах отвара определяли рефрактометрическим методом.

Оценку пенообразующих свойств отваров ламинариевых водорослей проводили по стандартной методике при комнатной температуре (20±2 ^{0}С). Для определения пенообразующей способности (Пс) пробы отваров объемом 50 мл подвергали механическому диспергированию в гомогенизаторе в течение 2 мин при скорости вращения мешалки 52,5 рад/с (что соответствует ~500 об/мин).

Пенообразующую способность (Пс, %) рассчитывали как отношение объема (высоты) образовавшейся пены к исходному объему (высоте) раствора:

$$П_с = \frac{h_1}{h_2} \cdot 100\ \%, \quad (1)$$

где h_1 – высота пены, мм;

h_2 – высота столба жидкости, мм.

Устойчивость пены (Уп,) определяли методом отстаивания в мерных цилиндрах, фиксируя долю не разрушившейся пены через определенные промежутки времени (Δt= 5 мин):

$$У_п = \frac{h_3}{h_1} \cdot 100\ \%, \quad (2)$$

где h_3 – высота пены после отстаивания, мм [9].

На основании данных проведенных экспериментов была рассчитана средняя скорость накопления СВ в отварах ($V_{СВ}$):

$$Vсв = \frac{\Delta C}{\Delta t}, \quad (3)$$

где ΔC –изменение концентрации сухих веществ, %;

Δt – интервал времени, мин (Δt = 15 мин).

Расчет средней скорости миграции катионов металлов в отвар проводили по аналогичной методике при Δt = 30 мин.

Среднюю скорость прироста пенообразующей способности ($V_{пс}$) вычисляли как отношение изменения начального и конечного показателя $П_с$ к изменению концентрации сухих веществ:

$$Vпс = \frac{П_{кон} - П_{нач}}{C_n - C_1}, \quad (4)$$

где $V_{пс}$ – скорость прироста пенообразующей способности, %/%;

$П_{кон}$ – конечное значение пенообразующей способности (при СВ 2,8 %), %;

$П_{нач}$ – начальное значение пенообразующей способности (при СВ 0,7 %), %;

C_n – конечная концентрация сухих веществ в отваре, %;

C_1 – начальная концентрация сухих веществ в отваре, %;

Для прогнозирования предельной концентрации сухих веществ в отваре использовали уравнение кинетики Пелега:

$$C(t) = C_o + \frac{t}{k1 + k2 \cdot t}, \quad (5)$$

где C(t) – текущая концентрация сухих веществ в отваре в момент времени t, %;

C_0 – начальная концентрация сухих веществ в системе (при t=0, C_0=0), %;

t – продолжительность процесса экстракции (варки), мин;

k_1 – константа скорости Пелега, мин/% (характеризует начальную скорость экстракции в начале процесса);

k_2 – константа емкости Пелега, $\%^{-1}$ (связана с максимально достижимой концентрацией сухих веществ при t→ ∞).

Расчет констант k_1 и k_2 проводился путем линеаризации уравнения в координатах t/(C(t) - C_0) от t.

Для визуализации комплексной трансформации физико-химического профиля отвара в процессе варки использован метод многофакторного анализа на лепестковых диаграммах Radar Charts.

Ввиду различной размерности исследуемых показателей (мг/л для катионов металлов, % для $П_с$,), значения были приведены к безразмерному виду (от 0 до 1 или 100%) по формуле

$$X_{norm} = \frac{X_i}{X_{max}}, \quad (6)$$

где X_i – значение показателя в конкретный момент времени;

X_{max} – максимальное зафиксированное значение данного показателя за весь период исследования (90 мин).

Статистическую обработку и определение коэффициентов аппроксимации (R^2) выполняли с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

В результате проведённых исследований установлено, что за период варки (90 мин) концентрация СВ увеличилась в 4 раза (с 0,7 до 2,8 %). Полученные данные позволили установить, что экстракция протекает неравномерно во времени (рис. 1). На графике имеются «плато», временные промежутки, когда экстракции СВ не наблюдается (на 15–30 и 60–75 мин). Данное явление может быть обусловлено стадийным выходом различных фракций растворимых веществ из матрикса сырья [10].

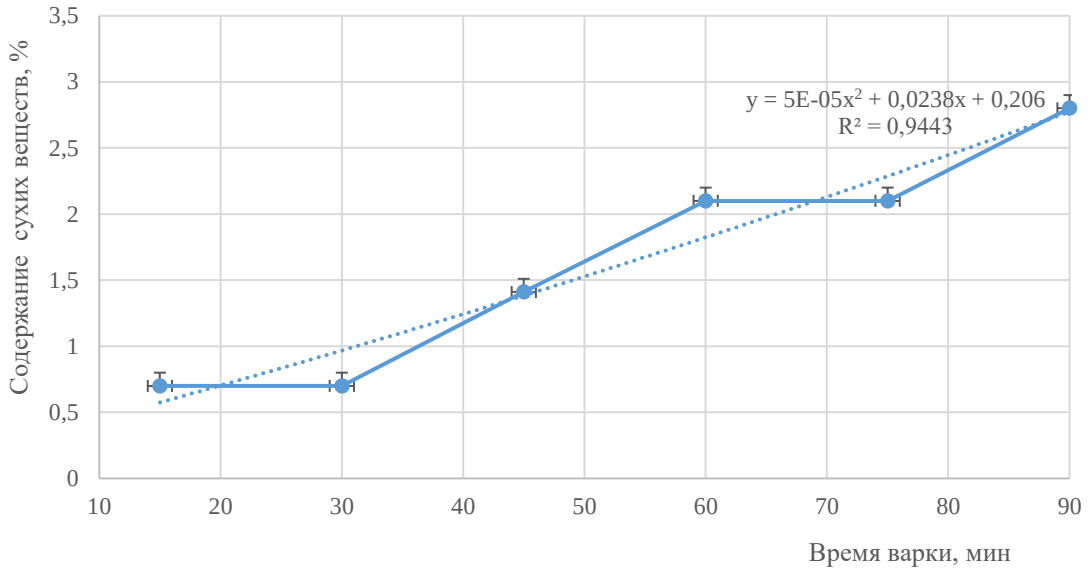

Рис. 1. Изменение содержания в отварах СВ в зависимости от времени варки. Составлено авторами

Fig. 1. Changes in the dry matter content in decoctions depending on the cooking time. Compiled by the authors

В ходе эксперимента была изучена зависимость пенообразующей способности ($П_с$) и устойчивости пены ($У_п$) от концентрации сухих веществ (СВ) в отварах (табл. 1).

Таблица 1

Показатели пенообразующей способности отваров

Table 1

Foaming capacity of decoctions

Содержание СВ, %	Пенообразующая способность $П_С$, %	Устойчивость пены, $У_п$,%
0,7	134±4,2	27,7±1,1
1,0	191,9±5,8	38,5±1,5
1,5	287,8±7,4	59,3±2,2
2,1	310,0±8,1	82,6±2,8
2,4	352,4±9,5	79,1±2,5
2,8	395,8±10,2	92,0±3,1

Анализ полученных данных позволил установить линейную зависимость пенообразующей способности от концентрации сухих веществ. Математическая модель процесса описывается уравнением регрессии

$$П_с = 125{,}5 \cdot СВ + 60{,}1.$$

Из табл. 1 видно, что увеличение концентрации сухих веществ с 0,7 до 2,8 % приводит к трехкратному росту пенообразующей способности (с 134,3 до 395,8 %). Высокая пенообразующая способность отваров *Saccharina japonica,* по всей вероятности, обусловлена комплексным воздействием водорастворимых полисахаридов. Наряду с альгинатами, значительный вклад в снижение поверхностного натяжения, вероятно, вносят ламинарин и маннит, экстрагируемые при термической обработке [11]. Их высокая растворимость и подвижность молекул обеспечивают интенсивное формирование пенной фазы, в то время как устойчивость системы стабилизируется за счет более вязких компонентов – альгинатов.

Наблюдаемый рост устойчивости пены с 27,7 до 92,0 % косвенно свидетельствует о значительном увеличении динамической вязкости отвара, обусловленном переходом альгинатов в растворенное состояние.

Для выявления характера влияния концентрации сухих веществ на пенообразующие свойства отваров *Saccharina japoni*ca была построена комбинированная диаграмма рассеяния с аппроксимирующими линиями (рис. 2).

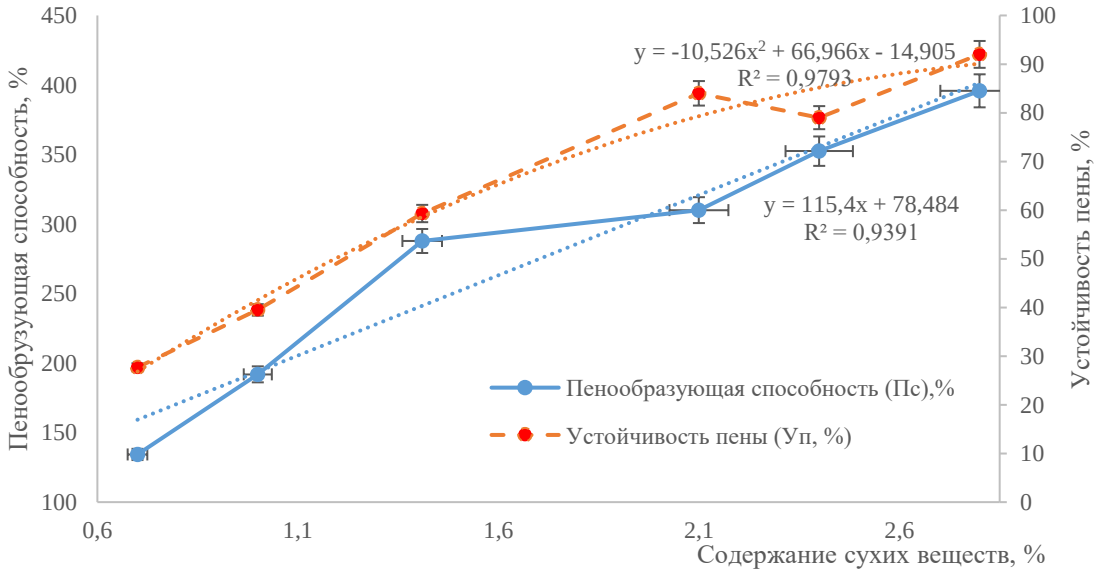

Рис. 2. Влияния концентрации сухих веществ на пенообразующие свойства отваров *Saccharina japonica.* Составлено авторами

Fig. 2. The influence of dry matter concentration on the foaming properties of *Saccharina japonica* decoctions. Compiled by the authors

Из рис. 2 видно, что оба показателя растут параллельно. Это свидетельствует о том, что при увеличении концентрации сухих веществ происходит не только увеличение объема образующейся пены, но и качественное укрепление её структуры.

Согласно представленной диаграмме при содержании сухих веществ ниже 1,5 % отвары обладают нестабильными характеристиками несмотря на выраженное пенообразование ($П_С$), так как устойчивость пены (Уп) остается низкой (менее 60 %).

Представленный график также демонстрирует, что в диапазоне концентраций 2,1–2,4 % наблюдается синергетический эффект между объемом образующейся пены и её стабильностью. С точки зрения практического применения именно этот интервал является наиболее экономически целесообразным.

Результаты математической обработки экспериментальных данных, выполненной по формулам (3) и (4), систематизированы в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 видно, что в интервалах 15–30 и 60–75 мин скорость экстракции равна нулю. Это говорит о периодах кинетического равновесия, когда растворение временно прекращается. Интервалы 30–60 и 75–90 мин характеризуются максимальной скоростью накопления СВ 0,047 %/мин.

Для оценки полноты извлечения сухих веществ была применена кинетическая модель Пелега. В результате математической обработки экспериментальных данных установлена константа емкости экстракции k_2 =0,385, что позволило рассчитать теоретический предел накопления сухих веществ в системе – 3,30 %.

Сравнение расчетного максимума с экспериментальным значением на 90-й минуте (2,82 %) показывает, что в данных условиях достигнута 85,4 % полноты экстракции.

Учитывая, что после 75 мин скорость роста концентрации СВ снижается, дальнейшая пролонгация процесса варки является нецелесообразной, так как затраты энергии на извлечение оставшихся 14,6 % веществ превысят их рыночную и биологическую ценность.

Таблица 2

Изменение скорости экстракции сухих веществ в отвар во времени

Table 2

Changes in the rate of extraction of dry substances into the broth over time

Время варки, мин	Содержание СВ, %	Скорости накопления СВ (Vсв), %/мин
15	0,7±0,04	—
30	0,7±0,04	0,000
45	1,4±0,07	0,047
60	2,1±0,11	0,047
75	2,1±0,11	0,000
90	2,8±0,14	0,047
Среднее	–	0,028

Высокая начальная скорость нарастания пенообразующей способности (табл. 3) свидетельствует о преобладании в начале процесса низкомолекулярных соединений (ламинарин, маннит), которые быстро снижают поверхностное натяжение.

Замедление скорости при более высоких концентрациях (после 2,1 %) свидетельствует о переходе к извлечению высокомолекулярных фракций (тяжелых альгинатов), которые уже не столько создают новую пену, сколько стабилизируют старую [12–14].

Таблица 3

Динамика изменения пенообразующих характеристик отваров ламинарии

Table 3

Dynamics of changes in the foaming properties of kelp decoctions

Интервал содержания СВ, %	Скорости нарастания $П_с$ ($V_{пс}$), %/%	Скорость нарастания $У_п$ ($V_у$), %/%
0,7–1,0	192,0	39,3
1,0–1,5	191,8	39,8
1,5–2,1	37,0	38,8
2,1–2,4	141,3	-11,7
2,4–2,8	108,5	32,3
Среднее значение	124,5	30,6

Минеральные вещества в клетках растений и сырья находятся в двух формах: свободные (ионные) и связанные с органическими соединениями.

Легкорастворимые соли (калий, натрий, хлориды) начинают выходить в отвар с первых минут варки (интервал 15–30 мин). Так как минеральные соли – это низкомолекулярные соединения, их содержание практически не влияет на вязкость и содержание сухих веществ [15–17].

Данные кинетики минерального обмена (рис. 3) указывают на то, что процессы экстракции катионов протекают неодинаково. Установлено, что содержание катионов Na^+ и K^+ достигает максимума концентрации уже к 60-й минуте варки. Дальнейшая варка до 90 мин приводит к снижению их содержания (на 5,8 и 2,8 % соответственно), что, вероятно, обусловлено процессами сорбции на высвобождающихся высокомолекулярных компонентах сырья.

Экстракция катионов Ca^{2+} и Fe^{2+}/ Fe^{3+} характеризуется увеличением их содержания к 90 мин на 11,9 и 34,2 % соответственно, что свидетельствует о прочной связи данных элементов с органическими молекулами, разрушение которых требует длительной термообработки.

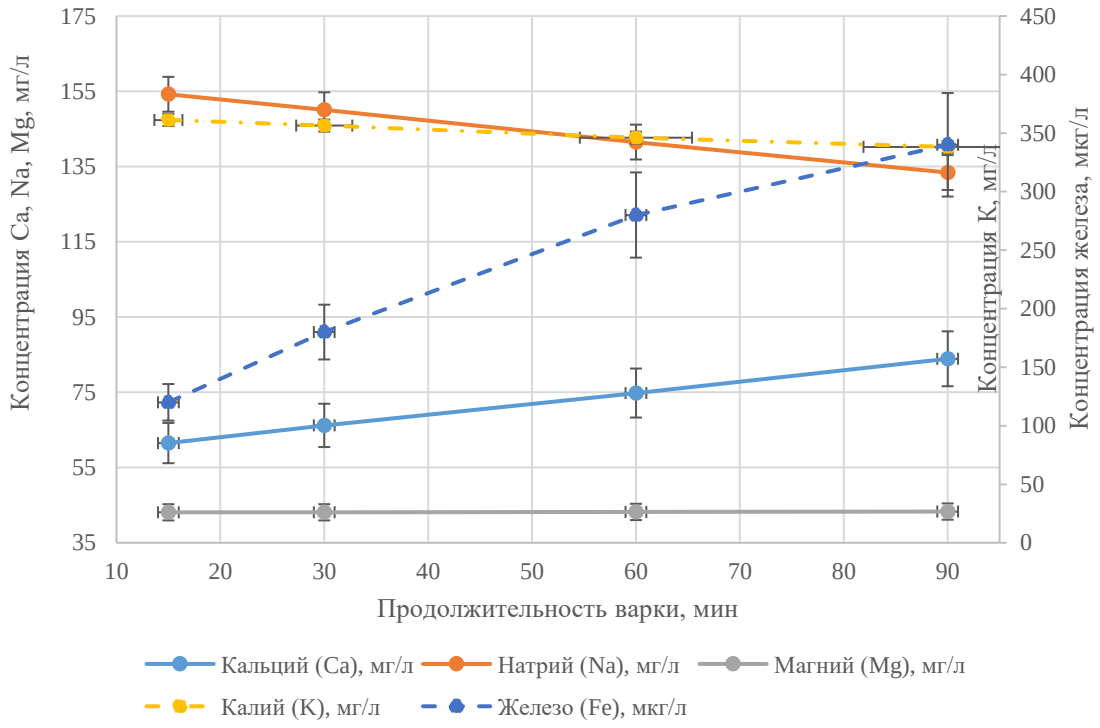

Рис. 3. Кривые экстракции катионов металлов в отвар. Составлено авторами
Fig. 3. Extraction curves of metal cations into the decoction. Compiled by the authors

Расчет скоростей экстракции в отвар минеральных веществ из сырья показал, что для катионов Mg^{2+}она составляет 0,005, для Ca^{2+} 0,297, для Na^+ минус 0,273, для K^+ минус 0,319, для железа 0,003 (мг/л в минуту). Установлено, что скорость изменения концентрации идентична на всех этапах, при этом катионы магния и кальция переходят в раствор, а катионы калия и натрия показывают отрицательную динамику.

Анализ удельного содержания минералов в 1 г СВ (табл. 4) выявил важную технологическую закономерность. В начальный период (15–30 мин) наблюдается положительный прирост доли катионов Ca^{2+} (+0,63 мг/г СВ) и Fe^2+/ Fe^3+ (+0,007 мг/г СВ). Однако в интервале 30–60 мин зафиксирован резкий отрицательный прирост удельной минерализации (падение доли K^+ на 34,32 мг/г СВ).

Данные табл. 5 показывают, что наблюдается статистически значимое снижение удельного содержания всех макроэлементов в составе сухого вещества по мере увеличения времени

варки. Наиболее резкое падение характерно для K^+ (в 4,3 раза) и Na^+ (в 4,6 раза) в интервале от 15 до 90 мин.

Содержание катионов Fe^{2+}/ Fe^{3+} достигает своего максимума на 30-й минуте (0,024±0,003 мг/г), после чего снижается вдвое и стабилизируется на уровне 0,012±0,001 мг/г.

Таблица 4

Содержание минеральных веществ в сухом веществе (мг на 1 г СВ)

Table 4

Mineral content in dry matter (mg per 1 g dry matter)

Время варки, мин	Содержание минеральных веществ в СВ (мг на 1 г СВ)			
	кальций	калий	натрий	железо
15	8,78±0,61	51,48±3,6	21,94±1,53	0,017±0,002
30	9,41±0,66	50,8±3,55	21,36±1,49	0,024±0,003
60	3,56±0,25	16,48±1,15	6,73±0,47	0,012±0,001
90	2,99±0,21	12,02±0,84	4,75±0,33	0,012±0,001

Анализ динамических коэффициентов (табл. 5) показал, что в интервале 30–60 мин резкое снижение содержания макроэлементов (в частности, K^+ до минус 34,32 мг/г СВ) служит объективным индикатором смены доминирующего механизма экстракции: от преимущественного выхода мобильных ионов к интенсивному накоплению органических структурных компонентов.

Таблица 5

Динамика изменения содержания СВ в 1 г сухого материала

Table 5

Dynamics of changes in the concentration of dry substances in 1 g of dry material

Интервал времени, мин	ΔCa, мг/г СВ	ΔK, мг/г СВ	ΔNa, мг/г СВ	ΔFe, мг/г СВ
15–30	+0,63±0,04	+0,68±0,05	+0,58±0,05	+0,007±0,001
30–60	-5,85±0,41	-34,32±2,40	-14,63±1,02	-0,012±0,001
60–90	-0,57±0,04	- 4,46±0,31	- 1,98±0,14	- 0,00±0,001

Во временном промежутке 60–90 мин наблюдается замедление скорости удельной минерализации отваров в 5–10 раз по сравнению с предыдущем этапом. При этом для катионов железа динамика становится нулевой, что может свидетельствовать о синхронности между приростом сухих веществ и экстракцией этого элемента. В отличие от катионов щелочных металлов Na^+ и K^+ для катионов Ca^{2+} и $Fe^{2+/}$ Fe^{3+} явлений сорбции не зафиксировано.

Процесс перехода двухвалентных катионов металлов в отвар адекватно описывается уравнением линейной регрессии первого порядка:

- для кальция:

$$\mathrm{Ca}(t) = 0{,}297 \cdot t + 57{,}0,$$

где 0,297 – коэффициент скорости экстракции (α) (прирост мг/1мин варки));

57,0 – свободный член (b) (расчетная начальная концентрация в момент t = 0)

R^2 = 0,998 – коэффициент детерминации (точность модели 99,8 %);

- для железа:

$$\mathrm{Fe}(t)=0{,}003\cdot t+0{,}075,$$

где 0,003 – коэффициент скорости экстракции (α);

0,075 – свободный член (b);

R^2 = 0,995 – коэффициент детерминации (точность модели 99,85 %).

Для катионов Ca^{2+} α = 0,297, что свидетельствует об интенсивном и равномерном характере экстракции. Для катионов Fe^{2+}/ Fe^{3+} коэффициент (α) составляет 0,003, что на два порядка ниже, вероятно, это свидетельствует о прочной связи железа с органическими структурами сырья [18].

Свободный член (b) для Ca^{2+} 57,9 значительно превышает этот показатель для Fe^{2+}/ Fe^{3+} (0,075), это свидетельствует о наличии в ламинариевых водорослях высокого содержания поверхностно-связанных солей кальция, которые переходят в раствор на начальных этапах варки.

Линейный характер моделей (α > 0) позволяет предположить, что потенциал перехода в отвар Ca^{2+} и Fe^{2+} к 90-й минуте варки еще не исчерпан, в отличие от катионов K+ и Na+.

Изучение минерального профиля отваров на 60-й и 90-й минутах варки (рис. 4) позволяют обосновать целесообразность завершения процесса на 90-й минуте. Диаграмма показывает, что в этот момент достигается баланс между пенообразующей способностью и максимальным содержанием макро- и микроэлементов.

Из диаграммы 4 видно, что контур многоугольника (90 мин) равномерно вытянут вдоль всех осей, что говорит о формировании в финале варки наиболее обогащенного микро- и макроэлементами отвара с высокой пенообразующей способностью.

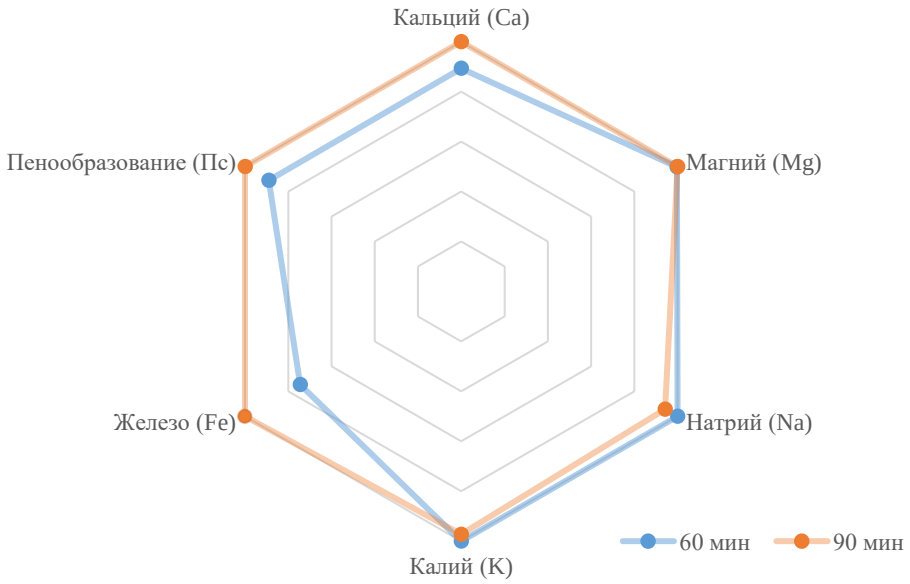

Рис. 4. Минеральный профиль отвара ламинариевых водорослей. Составлено авторами
Fig. 4. Mineral profile of kelp infusion. Compiled by the authors

Диаграмма демонстрирует эффект сорбции катионов щелочных металлов (K+, Na+).

Заключение

Проведенные исследования показали, что, варьируя режимы варки *Saccharina japonica*, можно получать отвары с разным минеральным профилем, адаптируя его под конкретную технологическую задачу. Например, для производства напитков, направленных на поддержание водно-солевого состава, где важным является высокое содержание катионов K+ и Na+ целесообразно использовать отвар, образующийся после 30–45 мин варки.

Если технологической задачей является производство концентрированных основ для соусов, напитков и др., продолжительность варки необходимо увеличить до 90 мин. Для производства функциональных продуктов, обогащенных катионами Ca^{2+} и Fe^{2+} с целью профилактики анемии и остеопороза, продолжительность варки сырья должна составлять не менее 90 мин.

Таким образом, отвары *Saccharina japonica* являются ценным сырьем для производства широкого ассортимента пищевой продукции, а также могут найти широкое применение в косметической промышленности, биотехнологии, сельском хозяйстве и других отраслях промышленности [19–21].

Список источников

1. Подкорытова, А. В. Бурые водоросли *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata* Белого моря: биохимическая, технологическая характеристики и практическое применение/ А. В. Подкорытова, А. Н. Рощина, Н. В. Евсеева, М. О. Березина, Ю.А . Баскакова // Труды ВНИРО. 2025. Т. 200. С. 61–79.

2. Титлянов, Э. А. Полезные вещества морских бурых макроводорослей: химическое строение, физико-химические свойства, содержание, использование/ Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова, О. С. Белоус // Известия ТИНРО. 2011. Т. 164. С. 416–431.

3. Бурак Л. Ч. Состояние и перспективы использования морских водорослей в качестве источника белка и биологически активных веществ // Sciences of Europe. 2024. № 143. С. 4–13.

4. Шепелева, О. А. Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор) / О. А. Шепелева, Г. Н. Дегтева, И. И. Новикова, И. Г. Шевкун, С. П. Романенко, М. В. Семенихина, О. Н. Попова, А. Б. Гудков // Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 99–113.

5. Подкорытова, А. В. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения / А. В. Подкорытова, А. Н. Рощина // Труды ВНИРО. 2021. Т. 186, № 4. С. 156–172.

6. Дементьева, Н. В. Обоснование способа первичной обработки ламинарии японской для производства пищевой продукции / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова, Н. В. Соколова, П. Н. Круговая, Г. П. Шепелев // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 27–30.

7. Дементьева, Н. В. Разработка рецептур и технологии конфет с повышенной пищевой ценностью из ламинарии японской / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова // Индустрия питания / Food Industry. 2022. Т. 7, № 2. С. 18–24.

8. Дементьева, Н. В. Влияние способов обработки ламинарии японской на органолептические и химические показатели водорослей / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова // Пищевая промышленность. 2023. № 13. С. 73–78.

9. Yunardi R. T. Digital image segmentation for foaminess measurement on foam stability of the lubricant products / R. T. Yunardi [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1201, I № 1. P. 012053.

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

11. Табакаева, О. В. Обоснование возможности использования потенциально промысловых бурых водорослей Дальневосточного региона в пищевых технологиях / О. В. Табакаева // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1(24).С. 116–120.

12. Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides / A. Dobrinčić, S. Balbino, Z. Zorić [et al.] Marine Drugs. 2020. Vol. 18, № 3. P. 168.

13. Improvement of Alginate Extraction from Brown Seaweed (*Laminaria digitata L.)* and Valorization of Its Remaining Ethanolic Fraction I. M. Savić Gajić, I. M. Savić Molecules. 2021. Vol. 26, № 20. P. 6173.

14. Табакаева, О. В. Биологически активные вещества потенциально промысловых бурых водорослей Дальневосточного региона / О. В. Табакаева, А. В. Табакаева // Вопросы питания. 2016. Т. 85, № 3. С. 126–132.

15. Имбс, Т. И. Сравнительное изучение химического состава этанольных экстрактов бурых водорослей и их влияния на рост проростков и урожайность сои *Glycine max (L.)* / Т. И. Имбс, Е. Л. Чайкина, Л. А. Дега, А. П. Ващенко, М. М. Анисимов // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 143–148.

16. Щукин, В. М. Особенности элементного состава ламинарии слоевищ (*Laminariae thalli*) различного происхождения / В. М. Щукин, Е. А. Хорольская, Н. Е. Кузьмина, И. П. Ремезова, В. В. Косенко/ / Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2023. № 13(2). С. 154–172.

17. Меренкова, С. П. Анализ реологических свойств овощных и майонезных соусов, выработанных с применением функциональных растительных добавок / С. П. Меренкова, А. А. Лукин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия : Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 4. С. 96–105.

18. Пат. 2425870 Российская Федерация, МПК C12N 1/20, G01N 33/18. Способ приготовления питательной среды для учета сапрофитных гетеротрофных бактерий в морской воде. № 2010103756/10 ; заявл. 04.02.2010 ; опубл. 10.08.2011 / Бузолёва Л. С. ; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт биологии моря им. А. В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН (ИБМ ДВО РАН). 7 с.

19. Кузьмина, С. П. Экономическая эффективность применения водного экстракта ламинарии при производстве соковой продукции / С.П. Кузьмина // Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ : материалы Всероссийской научно-практической конференции имени Заслуженного деятеля науки КБР, Заслуженного агронома РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора М. Х. Ханиева. Том Часть II. Нальчик, 2022. С. 346–349.

20. Пат. 2154098 Российская Федерация, МПК C13F 3/00, A23L 1/304. Способ получения йодированного сахара. № 99113626/13 ; заявл. 22.06.1999 ; опубл. 10.08.2000 / Елупов В. Ю. ; заявитель и патентообладатель Елупов В. Ю. 5 с.

21. Благонравова, М. В. Разработка технологии леденцовой карамели с использованием водорослевого отвара / М. В. Благонравова // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2017. № 42. С. 39–45.

Сведения об авторах

С. В. Журавлева – кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и БЖД, SPIN-код: 3527-3728, AuthorID: 623521.

Т. М. Бойцова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного рыболовства, SPIN-код: 2275-3434, AuthorID: 277337.

Е. Г. Новицкая – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, SPIN-код: 4828-2518, AuthorID: 744709.

А. В. Панкина – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры естественных наук и БЖД, SPIN-код: 6118-6210, AuthorID: 1052623.

Information about the authors

S. V. Zhuravleva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Life Safety, SPIN-code: 3527-3728, AuthorID: 623521.

T. M. Boytsova – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Fisheries, SPIN-code: 2275-3434, AuthorID: 277337.

E. G. Novitskaya – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Basic Department of Food and Cell Engineering, SPIN-code: 4828-2518, Author ID: 744709.

A. V. Pankina – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Life Safety, SPIN-code: 6118-6210, AuthorID: 1052623.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 04.05.2026; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 04.05.2026; accepted for publication 12.05.2026.

© Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В., 2026.

«Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica*» [Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).