



УДК 582.272.46(268.46)

## Промысловые виды и их биология

# Бурые водоросли *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata* Белого моря: биохимическая, технологическая характеристики и практическое применение

А.В. Подкорытова<sup>1</sup>, А.Н. Рощина<sup>1</sup>, Н.В. Евсеева<sup>1</sup>, М.О. Березина<sup>2</sup>, Ю.А. Баскакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

<sup>2</sup> Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Северный»), ул. Урицкого, д.17, Архангельск, 163002

E-mail: podkor@vniro.ru

SPIN-коды: А.В. Подкорытова – 9192-2000; А.Н. Рощина – 3724-4424; Н.В. Евсеева – 7562-2385; М.О. Березина – 8180-3099; Ю.А. Баскакова – 5286-5043

**Цель работы:** провести исследования биологических, химических и технологических характеристик *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata*, произрастающих в прибрежных зонах Онежского залива Белого моря. Разработать научно обоснованные рекомендации по их использованию.

**Используемые методы:** данные по биологическим, химическим и технологическим характеристикам *S. latissima* и *L. digitata* представлены с привлечением опубликованных работ российских и зарубежных учёных, а также собственных результатов исследований. При проведении исследований были использованы стандартные и современные инструментальные методы.

**Результат:** представлены данные по биологической, химической и технологической характеристикам промысловых бурых водорослей *S. latissima* и *L. digitata*, произрастающих в Онежском заливе Белого моря. Даны рекомендации по их использованию.

**Новизна:** на основе анализа морфометрических показателей *S. latissima* установлены некоторые особенности и закономерности её развития: масса пластин *S. latissima* возраста 2+ была в 6,2 больше, чем таковых 1+, а возраста 3+ масса пластин была в 9,1 раза больше, чем 1+. Эти данные и данные химического состава доказали, что лучшими продукционными характеристиками обладают пластины *S. latissima* возраста 2+ и 3+ и наиболее приемлемы для их промысла и переработки. *S. latissima* и *L. digitata* возраста 2+ и 3+, собранные в период августа-сентября, перспективны для использования, как в пищевой, так и технической отраслях, а отдельные их компоненты – в составе БАД и фармацевтических продуктов.

**Практическая значимость:** свежесобраные водоросли *S. latissima* и *L. digitata* рекомендовано очищать от посторонних примесей, тщательно промывать в морской или в пресной воде, в кратчайшие сроки законсервировать любым доступным способом, предпочтительно сушкой, для сохранения качества и дальнейшего использования при производстве пищевой, лечебно-профилактической и фармацевтической продукции.

**Ключевые слова:** *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata*, морфометрические измерения, химический состав, технологические характеристики водорослей.

## Brown algae *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* from the White Sea: their biochemical as well as technological characteristics and practical application

Antonina V. Podkorytova<sup>1</sup>, Anna N. Roshchina<sup>1</sup>, Natalia V. Evseeva<sup>1</sup>, Marina O. Berezina<sup>2</sup>, Julia A. Baskakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), 19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

<sup>2</sup> North branch of VNIRO («Severnoy»), 17, st. Uritskogo, Arkhangelsk, 163002, Russia

**The purpose of the work:** To investigate biological, chemical and technological characteristics of *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* growing in coastal zones Onega Bay of the White Sea. To develop scientifically grounded recommendations on their use.

**Methods used:** Data on biological, chemical and technological characteristics of *S. latissima* and *L. digitata* are presented using published works of Russian and foreign scientists, as well as own research results. Standard and modern instrumental methods were used in the research.

**Result.** The data on biological, chemical and technological characteristics of commercial brown algae *S. latissima* and *L. digitata* growing in the Onega Bay of the White Sea are presented. Recommendations on their utilization are given.

**The novelty.** Based on the analysis of the morphometric parameters of *S. latissima*, several features and patterns of its growth were identified. The mass of thalli aged 2 years was 6.2 times larger than those of one-year-+, and the mass of three-year-+ thalli was 9.1 times larger. These data, along with information on chemical composition, indicate that *S. latissima* aged 2 and 3 have the best production qualities and are most suitable for

harvesting and processing. *S. latissima* and *L. digitata*, aged 2 and 3, collected between August and September, have promising potential for use in both the food and technical sectors. Their individual components can be used in biologically active dietary supplements and pharmaceutical products.

**Practical significance.** Freshly caught algae *S. latissima* and *L. digitata* are recommended to be cleaned from extraneous impurities, thoroughly washed in sea or fresh water, preserved as soon as possible by any available method, preferably drying, to preserve quality and further use in the production of food, therapeutic, preventive and pharmaceutical products.

**Keywords:** *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata*, morphometric measurements, chemical composition, technological characteristics of algae.

## ВВЕДЕНИЕ

В морях Северного рыбохозяйственного бассейна сосредоточены запасы промысловых бурых водорослей порядка Laminariales: сахараины широчайшей (*Saccharina latissima* C.E. Lane, C. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, 2006 (= *Laminaria saccharina*) (L.)), ламинарии пальчаторассечённой (*Laminaria digitata* (Huds.) J.V. Lamour., 1813). Их промысловый запас составляет 294,9 тыс. т сырой массы, а рекомендуемый вылов (РВ) – 34,0 тыс. т [Амелькина и др., 2022; Евсеева и др., 2024]. Добычу водорослей проводят применяя косу или канзу, что позволяет одному заготовителю добывать за 4-6 ч до 1-1,5 т ламинарии-сырца. В некоторых районах водоросли добывали с использованием механических драг, что приводило к разрушению субстрата и долгосрочному восстановлению зарослей ламинариевых [Бокова, Титов, 2002].

В России наиболее эксплуатируемые бурые водоросли – это их запасы, сосредоточенные в прибрежных зонах Белого моря. Переработка бурых водорослей была организована ещё 1918 г. с целью производства из них йода. В 1949 г. на Архангельском водорослевом комбинате (АВК) уже начали выпускать маннит и альгинат натрия технический [Кизеветтер и др., 1967; Бокова, Титов, 2002]. В настоящее время маннит и альгинат в России в промышленных масштабах не производят, за исключением выпуска небольших объёмов по заказам или для реализации в мелкой расфасовке. Из морских водорослей на АВК производят продукции более 50 наименований, включая маннит, альгинат, агар, биологически активные добавки (БАД), фармацевтические и косметические средства, ранозаживляющий «Альгипор», кормовые добавки, удобрения для с/х растений и др.<sup>1,2</sup>. На некоторых других предприятиях Российской Федерации выпускают,

в основном, пищевую продукцию (кулинарию, консервы), лечебно-профилактическую (СПП) и БАД<sup>3</sup>.

Уже в середине прошлого века было установлено, что продукты на основе переработки бурых водорослей обладают выраженными радиозащитными свойствами и влияют на обмен йода у детей, а также цезия и стронция, что свидетельствовало о целесообразности их использования в качестве лечебно-профилактических средств у населения, проживающего на радиоактивно загрязнённых и эндемических по йоду и другим радиоизотопам территориях [Hesp, Romsbottom, 1965; Корзун и др., 1992; 1993; Пронина, Репина, 2005].

В настоящее время использование морских водорослей при производстве гидроколлоидов, медицинских, фармацевтических, пищевых продуктов, а также органических, минеральных удобрений и кормовых добавок осуществляется во всем мире [Seaweed Resources ..., 1998; Подкорытова, 2005; Штильман и др., 2015; Подкорытова и др., 2017; Аминина и др., 2020; Подкорытова, Рощина, 2021]. Известно, что основная часть бурых водорослей, добываемых из естественных зарослей и культивируемых на плантациях в море (марикультура), используется для производства альгинатов, выпуск которых в мировом масштабе достиг значительных успехов. По прогнозам компании Market Research Future (MRFR) объём мирового рынка альгинатов увеличится с 0,55 млрд долларов в 2022 г. до 0,78 млрд долларов к 2030 г. с темпом роста 5,1% в течение прогнозного периода (2023-2030 гг.). Кроме того, бурые водоросли порядка Laminariales относятся к пищевым. В их состав входят альгиновые кислоты, фукоиданы, ламинараны, маннит, жизненно важные микро- и макроэлементы, белки, свободные аминокислоты, витамины, пигменты, пищевые волокна, которые являются биологически активными веществами (БАВ) и оказывают благоприятное воздействие на организм человека [Подкорытова, 2005; Подкорытова, Рощина, 2021].

Решение проблем разнонаправленного использования бурых водорослей актуально для исследовате-

<sup>1</sup> Архангельский водорослевый комбинат. <https://vodoroslionline.ru/>. 28.05.2024.

<sup>2</sup> Архангельский водорослевый комбинат. Архангельские водоросли 1918.: <https://av1918.ru/ru/>. 18.04.2025.

<sup>3</sup> О компании «Дары Белого моря». <https://arcticalgae.ru/>. 18.04.2025.

лей и в других странах. Бурые водоросли *L. digitata*, *S. latissima*, *L. hyperborea* и *Alaria esculenta*, собранные во время отливов в прибрежной зоне о. Сейл, Шотландия в период с августа 2010 по октябрь 2011 гг. были исследованы учёными для определения направления их использования, включая ферментацию биомассы для получения биоэтанола. В опубликованной работе приведены данные сезонных колебаний химических компонентов в ламинариевых водорослях и установлены периоды оптимального сбора урожая с целью использования их биопотенциала, как ресурса для производства маннита, альгината и других компонентов, в том числе и биотоплива [Schiener et al., 2015].

В Марокко, например, главным считают получение альгината из *L. digitata*. В связи с этим провели экстрагирование альгината из марокканской *L. digitata* в различных условиях. Было установлено, что на выход альгината влияли температура экстракции и размер кусочков водорослей. Эти результаты учёными были использованы в технологии альгинатов для увеличения его технологического выхода [Fertah et al., 2014; Lorbeer et al., 2015; 2017].

В России до настоящего времени производство отечественной продукции из бурых водорослей, особенно альгинатов, незначительно и не обеспечивает реальных потребностей внутреннего рынка, несмотря на значительные запасы водорослей в прибрежных зонах российских морей [Подкорытова и др., 2022]. В связи с этим систематические исследования биохимических и технологических характеристик промысловых ламинариевых водорослей Белого моря и разработка инновационных технологий их переработки с целью расширения ассортимента продуктов пищевого назначения, БАД, СПП с лечебными и профилактическими свойствами, включая технологию высококачественных альгинатов, является актуальным направлением.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

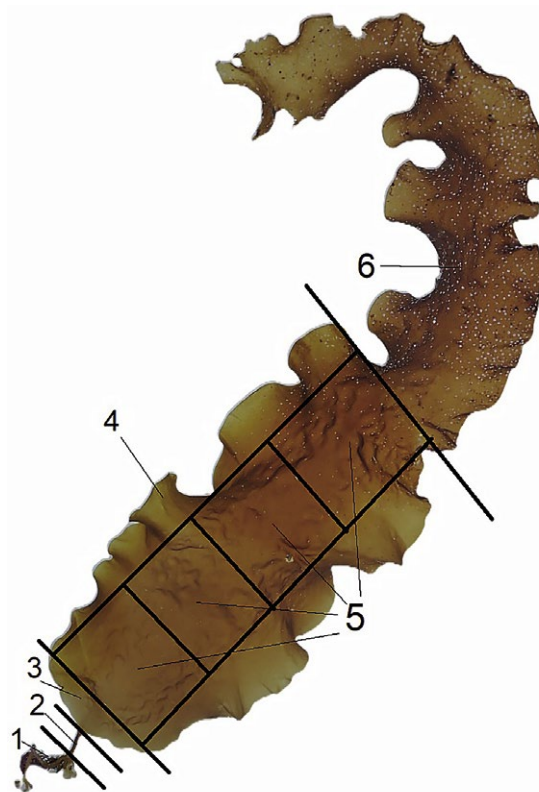
### Сбор и обработка водорослей

Бурые водоросли порядка Laminariales добывали канзой в прибрежных зонах Онежского залива Белого моря с глубин 3-6 м. Штормовые выбросы в течение 1-х суток после шторма собирали ручным способом в прибойных зонах о-вов Большой Заяцкий, Большой Соловецкий, Попов, Малая Муксалма, Кирбостров. Сборы водорослей проводили в период полевых работ в летне-осенний период 2019-2023 гг.

Сбор и обработку водорослей проводили в соответствии с методическими рекомендациями по организации сбора первичной информации, оценке за-

пасов и ОДУ промысловых видов водорослей Белого моря [Пронина и др., 2008]. Для оценки гидрометеорологических условий в рассматриваемых прибрежных районах Белого моря использовали среднемесячные значения температур по береговому гидрометеопосту Соловки<sup>4</sup>.

Для морфометрических измерений методом случайного отбора были собраны 200 экземпляров *S. latissima* разного возраста от 1+ до 3+ лет в прибрежной зоне о. Большой Соловецкий. Там же у о. Большой Соловецкий были собраны образцы *L. digitata*, общая масса которых составляла 5085 г. Определяли видовую принадлежность водорослей в соответствии с современными систематическими представлениями. *S. latissima* и *L. digitata* сортировали на берегу, промывали в морской воде. Морфометрические измерения слоевищ *S. latissima* были сделаны в лаборатории базы Северного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Северный») на о. Большой Соловецкий. Затем слое-



**Рис. 1.** Схема разделки таллома *S. latissima*: 1 – ризоиды; 2 – ствол; 3 – зона роста; 4 – волнистые края; 5 – середина таллома (куски требуемого размера); 6 – верх таллома

**Fig. 1.** Scheme of *S. latissima* thallus cutting: 1 – rhizoids; 2 – trunk; 3 – growth zone; 4 – wavy edges; 5 – middle of thallus (pieces of required size); 6 – top of thallus

<sup>4</sup> Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. <http://esimo.ru/portal/> 17.03.2025.

вища *S. latissima*, всего 18 штук, отобранных из биологической пробы, разделяли по схеме (рис. 1).

В процессе разделки свежесобранных *S. latissima* в соответствии со схемой (рис. 1) были получены следующие данные: выход средней части таллома составил 45%, черешков – 18%, волнистых краевых полос и верхушек – 37% от общей массы водоросли, состоящей из 18 экземпляров. Подготовленные образцы из частей середины таллома *S. latissima*, волнистых краевых полос, верхушек слоевищ и черешков (стволиков) взвешивали, а затем высушивали в естественных условиях при температуре окружающего воздуха. Целые талломы *S. latissima* и *L. digitata* развешивали на вешалах и высушивали естественным способом при температуре окружающего воздуха в течение 24 и 35 ч соответственно. Части из середины талломов и черешки *S. latissima* размещали на раскладной сетчатой сушилке. В процессе сушки образцы водорослей и их частей периодически взвешивали и фиксировали время сушки и изменение массы образца. Высушенные образцы водорослей упаковывали, свежедобутые *S. latissima* и *L. digitata* помещали в сумку-холодильник, и все образцы транспортировали в лабораторию ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в г. Москва. В лаборатории сырые образцы водорослей высушивали методами конвективной сушки и с применением ИК-излучения. Сушёные водоросли измельчали до состояния крупки, хранили в тёмных банках с притёртой пробкой до проведения анализов.

### Биологические исследования

*S. latissima* и *L. digitata* относятся к многолетним формам водорослей. *S. latissima* живёт до 4-5 лет, продолжительность жизни *L. digitata*, как правило, составляет 11 лет (максимальный возраст спорофита – 13 лет). Возрастная структура популяций этих двух видов различается в зависимости от глубины. В горизонте глубин 2-7 м в поселениях обычно присутствуют растения всех возрастных групп. На глубинах 8-10 м преобладают взрослые и старые растения, так как световые и гидродинамические факторы не благоприятствуют развитию молодых растений [Михайлова, 2001]. *S. latissima* – это ровная, морщинистая, удлинённая пластина с тёмной продольной полосой, иногда с двумя продольными рядами вмятин и выпуклостей. Максимальная длина слоевищ достигает 7 м.

У *L. digitata* пластина молодых слоевищ цельная (широкоовальной или клиновидной формы), но с увеличением размеров и возраста она разделяется на пять продольных лопастей (ламинария пальчато-рассечённая).

Длина слоевища *L. digitata* достигает в отдельных случаях 5 м, а ширина – 1 м [Блинова, 2007].

Анализ морфометрических показателей *S. latissima* позволил установить некоторые особенности и закономерности развития этих морских растений в летний период 2022 г.: общая длина слоевищ *S. latissima*, в исследованной биологической пробе 200 экземпляров, колебалась для возраста 1+ лет от 5,3 до 237,0 см, для 2+ лет – от 57,0 до 335,5 см, у 3+ лет – 206,0-377,5 см. Длина пластины у растений возраста 1+ – 3+ лет – от 4,7 до 331,0 см. Старая пластина обнаружена у 97% исследованных растений, длина её варьировала от 0,5 до 87,0 см (средняя – 25,5 см). Длина новой пластины у спорофитов 1+ – 3+ лет составила от 4,2 до 244,0 см. У 89% молодых растений 1+ лет длина новой пластины не превышала 100 см. Взрослые спорофиты 2+ – 3+ лет с длиной пластины от 100 см и более составили в выборке 92%. Толщина новой пластины у спорофитов возраста 1+ лет колебалась от 0,15 до 1,30 мм, у 2+ лет – 0,80-1,40 мм, у 3+ лет – от 1,20 до 1,30 мм. Масса новой пластины *S. latissima* в выборке составляла от 25 до 98% от массы всего слоевища. Средние значения морфометрических показателей *S. latissima* в июне 2022 г. представлены в табл. 1.

В июне спороносные пятна на талломах *S. latissima* обнаружены у растений возраста 1+ – 3+ лет. В возрастной группе 1+ лет наличие спороносной ткани отмечено только у 2-х спорофитов (3%), в группе 2+ лет репродуктивная ткань зафиксирована у 72% растений, в группе 3+ лет все растения имели спороносные пятна на пластинах. Площадь, занятая репродуктивной тканью, составляла в среднем 3% от общей площади пластины (рассчитанной без учёта её складчатости), что соответствует данным литературы [Пронина и др., 2008]. Здесь же показано, что в условиях Белого моря полное созревание и первый выход зооспор *S. latissima* происходит при температуре не ниже 7-10 °C, в связи с этим было выдвинуто предположение, что размножение *S. latissima* в прибрежной зоне Соловецких островов начинается в июне, так как температура поверхностных слоёв воды в период наблюдений с 04.06.22 г. по 19.06.22 г. составляла от 7,5 до 11,8 °C.

Результаты измерений *S. latissima*, проведённых во II декаде августа 2022 г., показали, что у спорофитов увеличилась длина черешка, вследствие продолжающихся ростовых процессов. Также увеличилась толщина пластины (непосредственно над зоной роста) и черешка, как частей водоросли, поддерживающих жизнедеятельность растения в зимний период. Одновременно, у взрослых спорофитов сахарины возраста 2+ – 3+ лет зарегистрировано разрушение верхней и боковой частей пластины. Наиболее интенсивно разрушаются пла-



**Таблица 1.** Морфометрические параметры талломов *S. latissima* в июне 2022 г. в зависимости от их возраста  
**Table 1.** Morphometric parameters of *S. latissima* thalloms in June 2022 depending on their age

| Морфометрические параметры, ед. измерения             | Возраст, лет |            |            |
|-------------------------------------------------------|--------------|------------|------------|
|                                                       | 1+           | 2+         | 3+         |
|                                                       | (n=64)       | (n=32)     | (n=5)      |
| Длина новой пластины, см (M ±σ)                       | 55,9±8,4     | 157,8±11,5 | 175,4±19,4 |
| Толщина новой пластины, мм (M ±σ)                     | 0,66±0,30    | 1,11±0,15  | 1,24±0,05  |
| Масса новой пластины, г (M ±σ)                        | 82,6±9,7     | 439,5±18,6 | 661,8±27,8 |
| Длина черешка, см (M ±σ)                              | 13,4±3,1     | 38,7±5,1   | 59,7±9,2   |
| Масса черешка, г (M ±σ)                               | 7,8±1,5      | 34,6±2,6   | 71,0±54,6  |
| Общая длина слоевища, см (M ±σ)                       | 86,3±59,6    | 226,9±60,7 | 290,9±7,8  |
| Общая масса слоевища с черешком и ризоидами, г (M ±σ) | 86,5±10,7    | 529,5±21,7 | 782,8±33,6 |

стины взрослых растений, что связано также с продолжающимся процессом выхода зрелых зооспор. В связи с этим, длина пластины спорофитов 2+ – 3+ лет уменьшается до уровня июньских показателей, при этом масса снижается в 1,5-1,7 раза по сравнению с таковыми. У молодых растений (1+ лет) изменения в их размерно-массовых показателях выглядят следующим образом: длина второгодних растений в период с июня по август достигает 66,7 см, масса составляет 60,0-82,6 г; длина растений третьего года жизни 151-157 см, их масса 289,3-439,5 г; длина растений четвертого года жизни и более 175,4-176,8 см, масса 392,7-661,8 г. Таким образом, было установлено, что лучшими продукционными характеристиками обладают слоевища (пластины) *S. latissima* возраста 2+ и 3+ (рис. 2, 3).

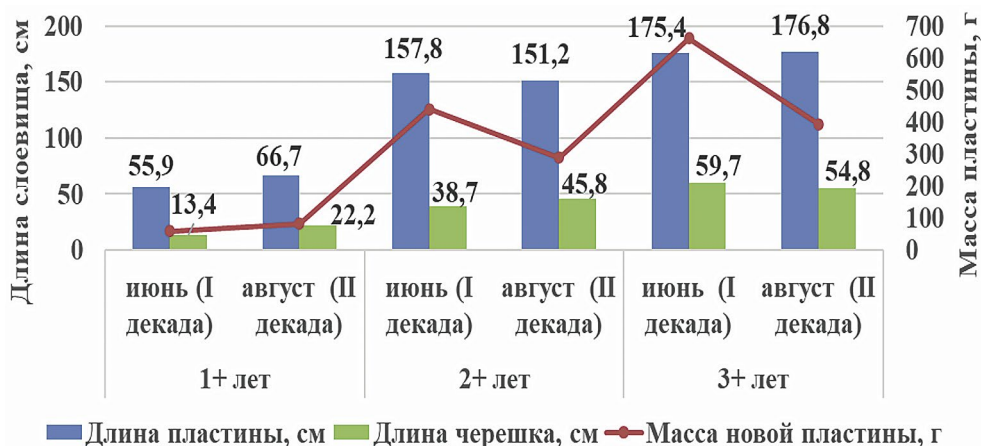
В августе у части растений *S. latissima* продолжался процесс спорообразования, доля фертильных растений 1+ лет составляла 5%, 2+ лет – 45%, 3+ лет – 71%. При

этом значительно увеличилась толщина черешков и слоевищ *S. latissima* в течение летнего периода 2022 г.

Таким образом, морфометрические исследования *S. latissima*, проведенные в течение летнего периода 2022 г., позволили оценить её размеры, биомассу и продукционные характеристики, а также установить, что растения возраста 2+ – и 3+ лет наиболее приемлемы для их промысла и переработки.

### Технологические исследования. Сушка *S. latissima* и *L. digitata*

В июне 2022 г. на о. Большой Соловецкий температура воздуха в среднем составляла 23±2 °С, влажность воздуха (75±10%), скорость ветра (5±2 м/с). При данных погодных условиях и вертикальном развешивании на вешалах талломов *S. latissima* и *L. digitata* продолжительность их естественной сушки составляла от 36 до 48 ч, масса сырья уменьшалась в 7 и в 4 раза, соответственно. Выход сухих талломов от массы сырых для



**Рис. 2.** Изменение длины талломов и черешков *S. latissima*, а также их массы в течение летнего периода 2022 г.

**Fig. 2.** Changes in the length of *S. latissima* thalloms and petioles, as well as their mass during the summer period of 2022

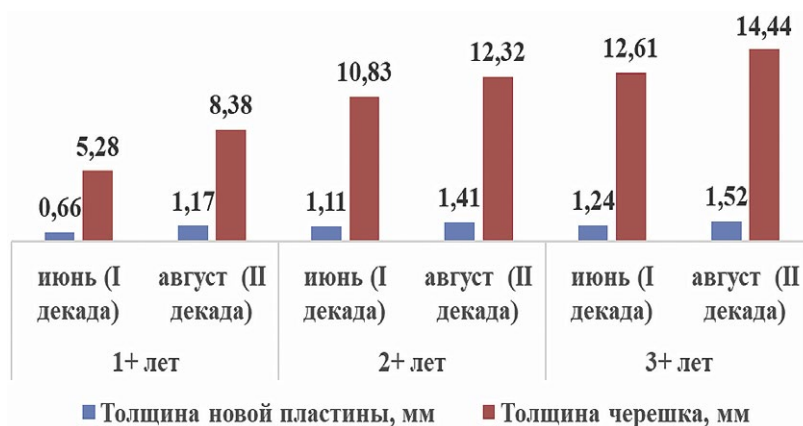


Рис. 3. Изменение толщины черешка и таллома *S. latissima* в течение летнего периода 2022 г.

Fig. 3. Changes in petiole and thallus thickness of *S. latissima* during the summer of 2022

*S. latissima* составлял в среднем 15%, для *L. digitata* – 24,3%. На рис. 4 представлены данные изменений массы талломов *S. latissima* и *L. digitata* в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях.

При тех же погодных условиях и раскладке на горизонтальных сетчатых сушилках были высушены

куски средней части таллома *S. latissima*. Экспериментальные данные по изменению их массы в зависимости от продолжительности естественной сушки представлены на рис. 5.

Результаты показали, что продолжительность естественной сушки средних частей талломов *S. latissima*

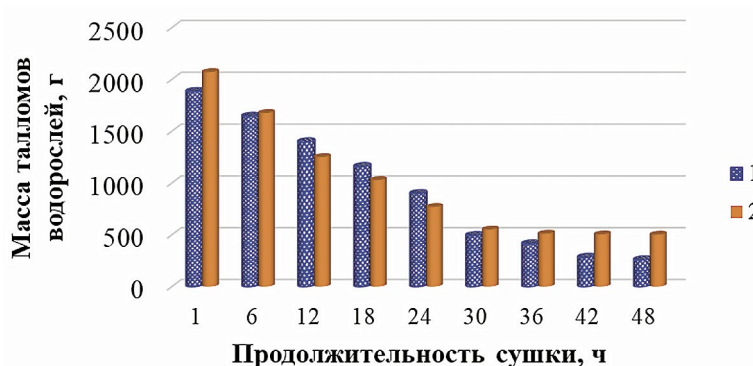


Рис. 4. Изменение массы талломов *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их вертикальном развешивании (о. Б. Соловецкий, июнь 2022 г.)

Fig. 4. Change in thallus mass of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) depending on drying duration under natural conditions with vertical hanging (Solovetsky Island, June 2022)

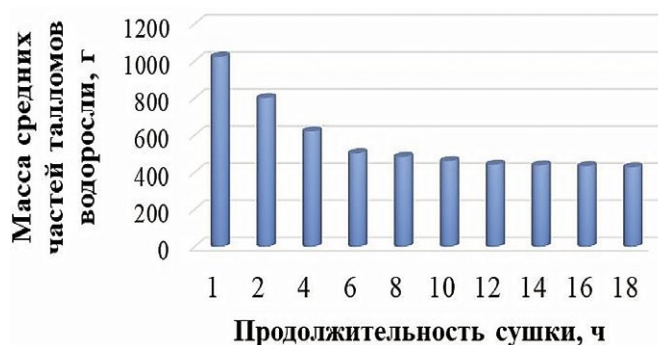


Рис. 5. Изменение массы средних частей талломов *S. latissima* в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их горизонтальной раскладке (о. Б. Соловецкий, июнь 2022 г.)

Fig. 5. Change in mass of the middle parts of *S. latissima* thalli depending on drying duration under natural conditions with horizontal spreading (Solovetsky Island, June 2022)

составила около 16 ч. При этом их масса уменьшилась в 4,5 раза, и выход сушёных средних частей талломов *S. latissima* составил около 42% от массы сырых.

В процессе сушки черешков *S. latissima* установлено, что продолжительность высушивания в естественных условиях составила около 18-24 ч и их масса уменьшилась в 3,5 раза (рис. 6). Выход сушёных черешков *S. latissima* составил 30% от массы сырых.

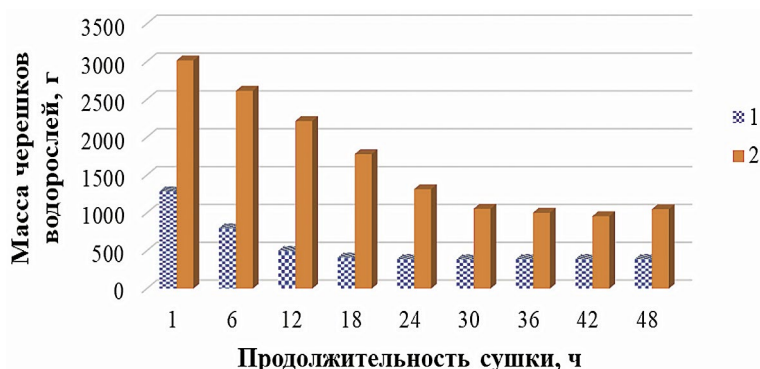


Рис. 6. Изменение массы черешков *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их горизонтальной раскладке (о. Б. Соловецкий, 06.2022 г.)

Fig. 6. Weight change of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) stipes depending on the duration of natural air drying with horizontal layout (B. Solovetsky Island, 06.2022)

В лаборатории ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» проведены исследования влияния тепловой сушки (конвективной и с инфракрасным излучением) на сырец *S. latissima*. Установлено, что при сушке сырых слоевищ *S. latissima* в сушильном шкафу «Дачник-4» с ИК-излучением при температуре 40-60 °С процесс проходит в 11 раз быстрее, чем при естественной сушке на воздухе. При этом масса слоевищ *S. latissima* уменьшилась в 6-7 раз. При высушивании сырых слоевищ *S. latissima* в сушильном шкафу «Snol 75/350» при температуре 60-80 °С с принудительной циркуляцией воздуха процесс протекает в 6 раз быстрее, чем при естественной сушке на воздухе, и в 2 раза дольше, чем при ИК-сушке в сушильном шкафу «Дачник-4». При этом отмечено, что масса сырых слоевищ уменьшилась в 9,2 раза. Содержание воды в *S. latissima* после сушки в сушильном шкафу составляла 10,23%, а после ИК-сушки – 12,60%, что является допустимыми показателями для сохранности сушёных водорослей при соблюдении условий хранения в соответствии с требованиями технической документации (ТД).

В процессе изучения технологических характеристик ламинариевых водорослей Белого моря были определены коэффициенты гидратации (КГ) для сушёных водорослей, измельчённых на кусочки размером 2×4 см, где КГ составили для *S. latissima* – 7,4 и *L. digitata* – 7,7, что характерно для этих видов. В про-

цессе восстановления в воде при заданных условиях их воздушно-сухие кусочки размером 2×4 см полностью набухают за 5 ч. При этом консистенция у них плотная, цвет от зелёного до буро-коричневого. Показатель КГ определяет минимальное количество воды, которое может быть использовано на восстановление сушёных водорослей. Коэффициенты гидратации и набухаемость сушёных кусочков размером 2×4 см,

а также химический состав водорослей определяли с использованием стандартных и современных инструментальных методов исследований в соответствии<sup>5,6,7</sup>, а также МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009].

### Исследование химического состава *S. latissima* и *L. digitata*

Результаты исследований общего химического состава *S. latissima* и *L. digitata*, произрастающих в Онежском заливе Белого моря, в зависимости от сезона и места их сбора представлены в табл. 2 и 3. Данные химического состава талломов и черешков *S. latissima* показывают, что их сухое вещество состоит из минеральных (15,08-33,40%) и органических веществ (84,92-66,60%) (табл. 2). Органические вещества состоят из углеводов (47,06-80,56%), белка (5,76-13,06%), липидов (0,25-1,32%). Содержание альгиновой кислоты в слоевищах *S. latissima* варьи-

<sup>5</sup> ГОСТ 33331-2015 Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золы и посторонних примесей. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 26185-84 Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа (Изм. № 1) – М.: Стандартинформ, 2018. 34 с.

<sup>7</sup> ГОСТ 31413-2010 Водоросли, травы морские и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2019. 12 с.

**Таблица 2.** Химический состав *S. latissima* в зависимости от места и сезона сбора в Белом море  
**Table 2.** Chemical composition of *S. latissima* depending on the place and season of collection in the White Sea

| №                                                        | Описание образца | Содержание, %   |              |                   |           |                    |         |      |
|----------------------------------------------------------|------------------|-----------------|--------------|-------------------|-----------|--------------------|---------|------|
|                                                          |                  | Сумма веществ   |              | Белка<br>(N×6,25) | Углеводов | Альгиновой<br>к-ты | Липидов |      |
|                                                          |                  | Минеральных     | Органических |                   |           |                    |         |      |
| о. Попов, 03 июня 2023 г. (штормовые выбросы)            |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 1                                                        | Талломы          | 24,17           | 75,83        | 5,76              | 68,57     | 21,11              | 1,13    |      |
| 2                                                        | Черешки          | 36,40           | 63,60        | 10,96             | 51,14     | 17,04              | –       |      |
| о. Большой Соловецкий, 05 июня 2023 г.                   |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 3                                                        | Талломы          | 21,31           | 78,69        | 7,53              | 69,66     | 22,38              | –       |      |
| о. Попов, 06 июня 2022 (штормовые выбросы)               |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 4                                                        | Талломы          | 33,40           | 66,60        | 13,06             | 52,04     | 16,26              | 1,15    |      |
| о. Большой Соловецкий, 07 июня 2019 г.                   |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 5                                                        | Талломы          | 20,33           | 79,67        | 9,35              | 68,82     | 22,94              | 1,22    |      |
| о. Большой Соловецкий, 05 по 08 июня 2022 г.             |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 6                                                        | Шинкованная      | 24,23           | 75,77        | 9,66              | 64,61     | 25,19              | –       |      |
| 7                                                        | Куски            | 20,18           | 79,82        | 10,40             | 67,82     | 27,53              | –       |      |
| 8                                                        | Черешки          | 41,62           | 58,38        | 9,82              | 47,06     | 15,73              | –       |      |
| о. Большой Соловецкий, 16-28 июля 2023 г.                |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 9                                                        | Талломы          | 19,26           | 80,74        | 5,25              | 73,99     | 24,66              | –       |      |
| 10                                                       | Черешки          | 35,24           | 64,76        | 7,57              | 55,69     | 19,49              | –       |      |
| о. Большой Соловецкий, 19 августа по 02 сентября 2020 г. |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 11                                                       | Талломы          | 21,83           | 74,61        | 6,78              | 67,86     | 33,93              | 1,17    |      |
| 12                                                       | Черешки          | 27,88           | 72,12        | 8,67              | 61,95     | 27,75              | –       |      |
| о. Большой Соловецкий, 20-23 августа 2022 г.             |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 13                                                       | Талломы          | 19,40           | 80,60        | 6,71              | 72,39     | 31,40              | –       |      |
| 14                                                       | Черешки          | 33,97           | 66,03        | 7,80              | 56,73     | 25,78              | –       |      |
| о. Большой Соловецкий, 25-30 августа 2021 г.             |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 15                                                       | Талломы          | 14,55           | 85,45        | 3,39              | 80,56     | 35,02              | –       |      |
| о. Попов, 26-29 августа 2022 г. (штормовые выбросы)      |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 16                                                       | Талломы          | 26,86           | 73,14        | 9,35              | 62,29     | 20,76              | –       |      |
| 17                                                       | Черешки          | 32,72           | 67,28        | 13,00             | 52,78     | 26,39              | –       |      |
| о. Малая Муксалма, 06 сентября 2020 г.                   |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 18                                                       | Талломы          | 15,08           | 84,92        | 8,17              | 75,25     | 25,08              | 0,25    |      |
| 19                                                       | Черешки          | 23,74           | 81,31        | 6,26              | 73,55     | 23,75              | 0,32    |      |
| о. Кирбостров, 26 сентября 2020 г. (штормовые выбросы)   |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 20                                                       | Талломы          | СВ <sup>1</sup> | 20,87        | 79,13             | 12,73     | 64,90              | 21,38   | –    |
| 21                                                       |                  | СШ <sup>2</sup> | 16,06        | 81,78             | 12,82     | 67,46              | 22,11   | 1,27 |
| 22                                                       |                  | ИК <sup>3</sup> | 16,54        | 83,46             | 12,08     | 69,88              | 25,41   | –    |
| 23                                                       | Черешки          | 27,88           | 72,12        | 8,67              | 61,95     | 20,46              | 1,32    |      |
| о. Попов, с 10 по 15 октября 2020 г. (штормовые выбросы) |                  |                 |              |                   |           |                    |         |      |
| 24                                                       | Талломы          | 22,55           | 77,45        | 8,04              | 67,91     | 20,13              | 0,85    |      |

Примечание: 1 – доставленная в свежем виде; 2 – тепловая сушка с естественной конвекцией воздуха; 3 – тепловая сушка с инфракрасным излучением



рует от 16,26% до 22,94% в июне месяце, а в августе-сентябре от 31,40% до 35,02%. Следует отметить, что наибольшим содержанием альгиновой кислоты характеризуются образцы водорослей, собранных в августе-сентябре. Штормовые выбросы *S. latissima*, собранные в этот период, содержат до 25,4% альгиновой кислоты.

Результаты исследований химического состава талломов и черешков *L. digitata* показывают, что их сухое вещество состоит из минеральных (12,23-29,15%) и органических веществ (70,85-87,77%). Состав органических веществ представлен углеводами (60,62-79,73%), белками (7,04-9,69%), липидами (0,85-1,22%) (табл. 3). Из общего количества углеводов в *L. digitata* наибольшая доля приходится на альгиновую кислоту, содержание которой варьирует от 27,36 до 30,87%.

Сезонные изменения химического состава ламинариевых водорослей (*S. latissima* и *L. digitata*) Белого моря были исследованы нами ранее [Репина и др.,

2004; Муравьева, 2010]. Результаты показали, что содержание альгиновой кислоты в них достигает максимума также к летне-осеннему периоду (рис. 7).

**Белок** в образцах ламинарий Белого моря определяли методом Кьельдаля с применением автоанализатора шведской фирмы FOSS Analytical AB, модель FOSS 2300 и рассчитывали с применением коэффициента 6,25. Результаты исследований общего содержания белка в *S. latissima* и *L. digitata* показали, что при сборе сырья в июне этот показатель достигает 9-10% (см табл. 2, 3), что характеризует ламинарии как ценное пищевое сырьё. Аминокислотный состав (АКС) белка в *S. latissima* и *L. digitata* определяли после гидролиза навесок их сушёных биомасс методом ВЭЖХ на автоматическом аминокислотном анализаторе Aracus (membraPure, Германия) с применением постколоночной дериватизации с нингидрином и фотометрическим детектированием на 440 нм и 570 нм после разделения на хроматографической ионооб-

Таблица 3. Химический состав *L. digitata* в зависимости от места и сезона сбора в Белом море  
Table 3. Chemical composition of *L. digitata* depending on the place and season of collection in the White Sea

| №                                 | Описание образца | Содержание, % |              |                |                 |                 |         |
|-----------------------------------|------------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|---------|
|                                   |                  | Сумма веществ |              | Белка (Nx6,25) | Общих углеводов | Альгиновой к-ты | Липидов |
|                                   |                  | Минеральных   | Органических |                |                 |                 |         |
| о. Большой Соловецкий, 13.06.2022 |                  |               |              |                |                 |                 |         |
| 1                                 | Талломы          | 18,41         | 81,59        | 9,69           | 70,68           | 27,36           | 1,22    |
| 2                                 | Черешки          | 29,15         | 70,85        | 9,23           | 60,62           | –               | –       |
| о. Малая Муксалма, 16.09.2020     |                  |               |              |                |                 |                 |         |
| 3                                 | Талломы          | 16,38         | 83,62        | 7,36           | 75,04           | 30,87           | 1,22    |
| 4                                 | Черешки          | 12,23         | 87,77        | 7,04           | 79,73           | –               | 0,85    |

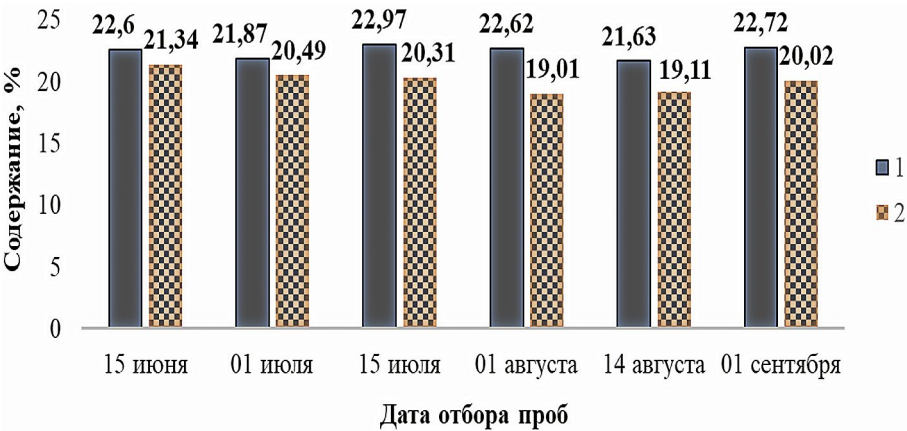


Рис. 7. Сезонные изменения содержания альгиновой кислоты в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 7. Seasonal changes of alginic acid content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

менной колонке (кат. номер membraPure 650-0126). В качестве стандарта использовали смесь аминокислот (кат. номер membraPure 650-0036). При этом анализ аминокислотного состава белка в *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показал отсутствие значительной разницы в содержании незаменимых аминокислот (НАК) (3,21% и 3,11%) и заменимых аминокислот (ЗАК) (рис. 8).

ненасыщенными жирными кислотами – в основном линоленовой и линолевой, а также арахидоновой и эйкозапентаеновой.

Липиды растительного происхождения, как и животного, имеют различный ЖК, определяющий их биологическую активность и ценность. Достаточно высоким содержанием омега-3 эйкозапентаеновой кислоты 6,5-6,6% от общей суммы жирных кислот от-



Рис. 8. Аминокислотный состав белка в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в летний период в прибрежных зонах Белого моря

Fig. 8. Seasonal changes of the total iodine content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected from coastal areas of the White Sea

В составе аминокислот белка бурых водорослей обнаружены тирозин и фенилаланин, которые необходимы для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и тиронина. Кроме того, известно, что практически 50% суммы аминокислот ламинариевых водорослей представлены свободными, легко усваиваемыми организмом формами, а глутаминовая кислота вместе с маннитом придают ещё и специфический сладковато-грибной вкус пищевым водорослям [Подкорытова, 2005]. При этом глутаминовая кислота способствует развитию и улучшению функций головного мозга; аспарагиновая кислота – принимает участие в правильном функционировании не только нервной, но и эндокринной систем.

**Липиды.** Их общее содержание в образцах ламинарий определяли по методу Блайя и Дайера. Результаты показали, что содержание липидов в ламинариях Белого моря невелико и составляет в среднем 1,17-1,22% для талломов *S. latissima* и для черешков – 1,32%. Для талломов *L. digitata* 1,22%, соответственно (см. табл. 2, 3). При этом жирнокислотный состав (ЖК), состав липидов *S. latissima* и *L. digitata* представлен

личаются липиды из талломов и черешков *S. latissima*. В липидах *L. digitata* омега-3 эйкозапентаеновой кислоты содержится намного больше и составляет 13,8% от общей суммы ЖК. Отмечается также достаточно высокое содержание пальмитиновой кислоты – 21,3% и омега-9 олеиновой кислоты более 19,3% от общего содержания ЖК (табл. 4).

Для определения жирнокислотного состава (ЖКС) липиды подвергались прямому метилированию, с использованием в качестве катализатора хлористого ацетила в метаноле в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009]. Метилловые эфиры жирных кислот анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2» («Хроматэк») в соответствии с ГОСТ 31663 на капиллярной колонке CR-FAME 100 м × 0,25 мм × 0,2 мкм («Хроматэк»). Идентификацию проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, Sigma Aldrich CRM47885).

**Минеральный состав** (макро- и микроэлементы) *S. latissima* и *L. digitata* и содержание в них тяжёлых металлов (свинца, ртути, кадмия) и мышьяка были определены методом масс-спектрометрии на квадруполь-

**Таблица 4.** Жирнокислотный состав липидов *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в Белом море в летний период  
**Table 4.** Fatty acid composition of lipids from *S. latissima* and *L. digitata* collected in the White Sea during the summer period

| Жирные кислоты              | Содержание, % от общей суммы жирных кислот          |                                      |                         |         |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------|
|                             | <i>L. digitata</i> , о. Малая<br>Муксалма, 16.09.20 | <i>S. latissima</i>                  |                         |         |
|                             |                                                     | о. Большой Соловец-<br>кий, 07.06.19 | о. Кирбостров, 26.09.20 |         |
|                             |                                                     |                                      | слоевища                | черешки |
| C6:0 (капроновая)           | н/о                                                 | 0,170                                | н/о                     | 0,576   |
| 14:0 (миристиновая)         | 6,311                                               | 3,469                                | 3,742                   | 9,414   |
| 14:1 (миристолеиновая)      | н/о                                                 | 0,087                                | н/о                     | н/о     |
| 15:0 (пентадекановая)       | 0,794                                               | 0,278                                | 0,232                   | н/о     |
| 16:0 (пальмитиновая)        | 21,359                                              | 19,634                               | 15,869                  | 10,781  |
| 16:1w7 (пальмитолеиновая)   | 3,326                                               | 3,752                                | 4,065                   | 9,947   |
| 17:0 (маргариновая)         | 0,054                                               | н/о                                  | 0,146                   | н/о     |
| 18:0 (стеариновая)          | 0,511                                               | 2,837                                | 2,245                   | 1,228   |
| 18:1w9 (олеиновая)          | 19,378                                              | 41,410                               | 31,135                  | 14,201  |
| 18:2w6 (линолевая)          | 4,935                                               | 12,918                               | 11,248                  | 11,538  |
| 18:3w6 (гамма-линоленовая)  | 0,392                                               | 0,282                                | 1,395                   | н/о     |
| 18:3 w3 (альфа-линоленовая) | 7,098                                               | 3,570                                | 2,639                   | 1,346   |
| 20:0 (арахиновая)           | 0,250                                               | 0,272                                | 0,242                   | н/о     |
| 20:1 (гондоиновая)          | 8,186                                               | 2,235                                | 1,908                   | 0,553   |
| 20:2 (эйкозодиеновая)       | н/о                                                 | 0,667                                | 0,663                   | н/о     |
| 20:3 w6 (эйкозатриеновая)   | 0,371                                               | 0,508                                | 0,604                   | 2,848   |
| 20:4w6 (арахидоновая)       | 10,509                                              | 0,945                                | 6,852                   | 25,014  |
| 20:3 w3(эйкозатриеновая)    | 0,112                                               | 0,268                                | 0,109                   | н/о     |
| 22:1 (эруковая)             | 0,103                                               | 0,532                                | 1,390                   | 0,786   |
| 20:5w3 (эйкозапентаеновая)  | 13,802                                              | 2,451                                | 6,492                   | 6,615   |
| 23:0 (трикозановая)         | 0,076                                               | 0,432                                | 0,463                   | 1,932   |
| 24:1 (нервоновая)           | н/о                                                 | 0,154                                | 0,285                   | н/о     |
| 22:6 w3 (докозагексаеновая) | 1,731                                               | 3,129                                | 8,629                   | 3,222   |
| ΣНасыщенные                 | 29,36                                               | 27,09                                | 22,94                   | 23,93   |
| ΣМононенасыщенные           | 30,99                                               | 48,17                                | 38,78                   | 25,49   |
| Σ Полиненасыщенные          | 38,95                                               | 24,74                                | 38,63                   | 50,58   |

Примечание: н/о – не определено.

ном масс-спектрофотометре Nexion 300D и атомно-эмиссионном спектрофотометре Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США) в аккредитованной лаборатории в ООО «Микронутриенты», г. Москва.

Результаты исследований *S. latissima* и *L. digitata* показали в них наличие широкого спектра биогенных макро- и микроэлементов (табл. 5). При этом содержание макроэлемента калия в талломах *S. latissima* и *L. digitata* достигает  $51959 \pm 5196$  мкг/г и  $49544 \pm 4954$  мкг/г, соответственно. Эти показатели по содержанию калия в талломах *S. latissima* и *L. digitata* значительно превышают содержание натрия в них. Содержание кальция в *S. latissima* превышает содержание такового

в *L. digitata*. Относительно микроэлементного состава следует отметить во всех исследованных образцах наличие йода, а также микро-количеств цинка, железа, меди, хрома, селена и др.

**Йод** и его содержание в *S. latissima* и *L. digitata* определяют их ценность, как природного источника этого элемента, необходимого для нормального функционирования щитовидной железы и всего организма человека [Подкорытова, 2005]. В соответствии с требованиями ФС 42-1289-79 «Медицинская крупка» на водорослевое сырьё, используемое в качестве йодсодержащего продукта, содержание йода регламентируется на уровне не менее 0,1% в расчёте на сухое

**Таблица 5.** Содержание микро- и макроэлементов в слоевищах *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в Белом море в летний период**Table 5.** The content of micro- and macronutrients in the thallomas of *S. latissima* and *L. digitata* collected in the White Sea in summer

| Элементы      | Символ | Содержание, мкг/г   |                    |
|---------------|--------|---------------------|--------------------|
|               |        | <i>S. latissima</i> | <i>L. digitata</i> |
| Макроэлементы |        |                     |                    |
| Калий *       | K      | 51959±5196          | 49544±4954         |
| Натрий *      | Na     | 19523±1952          | 21430±2143         |
| Кальций *     | Ca     | 9805±980            | 7026±703           |
| Фосфор *      | P      | 6548±655            | 5242±524           |
| Магний *      | Mg     | 4839±484            | 4929±493           |
| Микроэлементы |        |                     |                    |
| Йод           | I      | 299±30              | 435±44             |
| Цинк          | Zn     | 484±48              | 399±40             |
| Железо *      | Fe     | 225±22              | 76,6±7,66          |
| Кремний       | Si     | 275±28              | 259±26             |
| Алюминий      | Al     | 265±27              | 192±19             |
| Бор           | B      | 91,35±9,13          | 73,21±7,32         |
| Медь *        | Cu     | 51,85±5,19          | 47,67±4,77         |
| Никель        | Ni     | 13,25±1,33          | 10,1±1,01          |
| Марганец      | Mn     | 17,64±1,76          | 13,41±1,34         |
| Хром *        | Cr     | 9,77±0,98           | 5,6±0,56           |
| Селен *       | Se     | 3,38±0,34           | 3,06±0,31          |
| Ванадий       | V      | 1,18±0,12           | 0,33±0,04          |
| Литий         | Li     | 3,4±0,34            | 0,71±0,085         |
| Олово         | Sn     | 0,74±0,089          | 1,19±0,12          |
| Кобальт *     | Co     | 0,29±0,034          | 0,17±0,02          |

Примечание: \* – жизненно необходимые микро- и макроэлементы.

вещество. Проведённые нами ранее исследования сезонных изменений содержания йода в *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показали, что его максимальное количество (сумма минерального и органического йода) составляет 0,23 % у *L. digitata* в середине июня (рис. 9).

Содержание маннита – низкомолекулярного углевода, применяемого в различных направлениях в медицине, в *S. latissima* и *L. digitata* в течение всего летнего сезона заметно увеличивается к осени и составляет в этот период в среднем 19-22 % (рис. 10), что определяет время сбора водорослей для производства из них это ценного углевода.

Ранее проведёнными исследованиями также было показано, что содержание ламинарана – линейного гомополисахарида, построенного из остатков β-D-глюкопиранозы, соединённых β-(1→3)-гликозидными связями, больше всего обнаруживается в *S. latissima*

[Репина и др., 2004; Энциклопедия ..., 2019]. Ламинаран накапливается в бурых водорослях в процессе их роста и развития, выполняет функции запасного вещества. Больше содержание ламинарана определено в водорослях, собранных в сентябре, и составляет для *S. latissima* – 18,1 %, *L. digitata* – 14,3 % (рис. 11).

Ламинаран легко экстрагируется из водорослей водой, а также слабыми растворами кислот или с добавлением раствора хлорида кальция, используемого для предотвращения экстракции альгината. В связи с этим, экстракты из *S. latissima* с высоким содержанием ламинарана характеризуются более высокой биологической активностью по этому полисахариду [Усольцева и др., 2019].

Проведённые в разные годы исследования санитарно-гигиенических характеристик *S. latissima* и *L. digitata* и других бурых водорослей Белого моря, собранных в летний период показали, что по содержа-

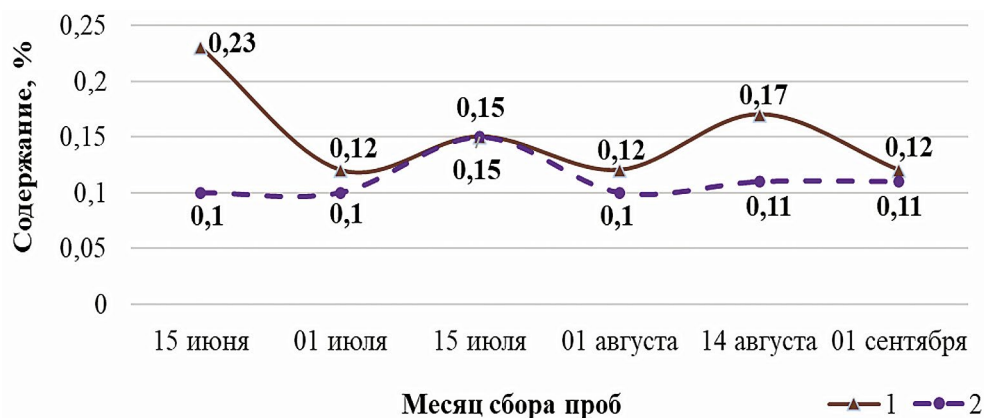


Рис. 9. Сезонные изменения общего содержания йода *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 9. Seasonal changes in the total iodine content of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

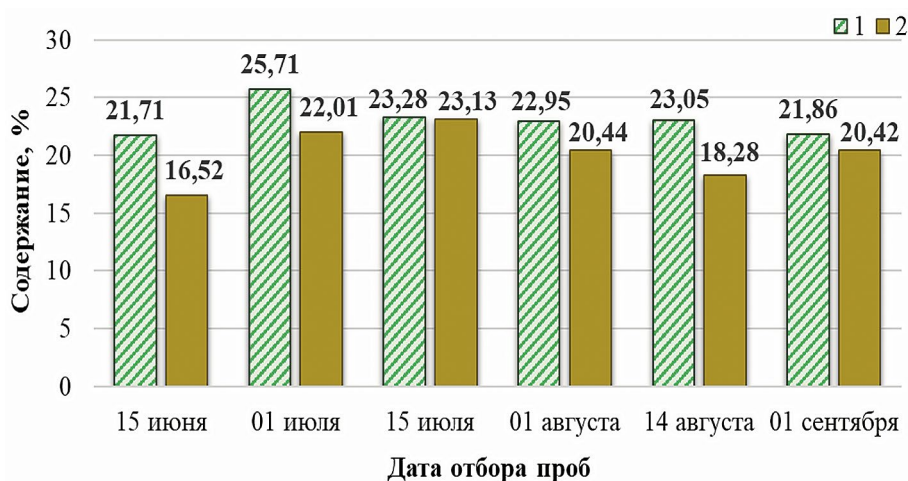


Рис. 10. Сезонные изменения содержания маннита в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 10. Seasonal changes of the total iodine content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

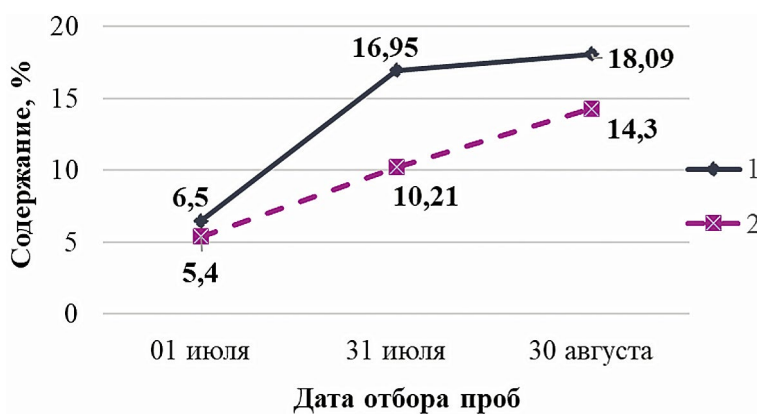


Рис. 11. Сезонные изменения содержания ламинарана в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 11. Seasonal changes in the laminaran content of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]



нию токсичных элементов (As, Cd, Hg, Pb) эти водоросли безопасны [Репина и др., 2004; Подкорытова и др., 2009, 2023].

Таким образом, на основании проведённых исследований *S. latissima* и *L. digitata* было установлено, что химические показатели водорослей, такие как содержание альгинатов, маннита, фукоидана, ламинарана, йодсодержащих, а также органических и минеральных элементов определяют направления их использования. Обобщённые результаты показали, что для комплексной переработки пригодны оба вида ламинариевых – *S. latissima* и *L. digitata* активного лова и их штормовые выбросы. Следует отметить, что в связи с высоким содержанием воды и кислоторастворимых компонентов в *S. latissima* и *L. digitata* необходимо проводить последовательное экстрагирование из них фукоидана, маннита, ламинарана и йодсодержащих компонентов. Из остатка водорослей – экстрагировать в слабощелочной среде альгиновую кислоту в виде альгинатного экстракта, который следует использовать для получения альгината натрия, альгината калия, альгината кальция, альгиновой кислоты или других её производных. Сбор водорослей для их комплексной переработки рекомендуется проводить в августе-сентябре ежегодно.

### Экстрагирование альгината из *S. latissima* и *L. digitata*

Экспериментальные альгинаты натрия были экстрагированы из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря по технологии, разработанной для ламинариевых водорослей дальневосточных морей, опубликованной ранее [Подкорытова 2005; Энциклопедия..., 2019]. Технологические схемы, представленные в этих изданиях, включают следующие операции: предварительная подготовка водорослей, деминерализация (превращение альгинатов кальция, натрия, калия и др., содержащихся в водорослях, в альгиновую кислоту), экстра-

гирование альгиновой кислоты в виде её натриевой соли, фильтрацию экстракта альгината натрия, осаждение альгиновой кислоты, промывание геля альгиновой кислоты, получение пасты альгината натрия, обезвоживание пасты альгината этиловым спиртом, досушивание тепловым способом или сублимационной сушкой альгината натрия, измельчение, упаковывание, хранение.

Для качественной характеристики, экспериментально полученных альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* исследовали следующие показатели: цвет порошка альгината, степень его измельчения, растворимость, химический состав (содержание воды, золы, массовая доля альгиновой кислоты, общего азота, белка), а также показатели водных растворов альгината натрия (вязкость, прозрачность, pH). Определяли молекулярную массу полисахарида по методике в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009].

Результаты исследований показали, что технологический выход альгината из *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в августе-сентябре, составил в среднем 21%. В альгинатах содержится воды 11,5-12,5% и золы 22,30-23,70%, основного вещества – альгиновой кислоты не менее 75% (табл. 6), что соответствует требованиям к пищевому альгинату натрия в соответствии с ТУ 10.89.19-165-004772124-2023 «Альгинат натрия (SODIUM ALGINATE)».

Результаты исследований минерального состава альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* показали, что содержание катионов  $\text{Na}^+$  в них около 10%, соответствующее необходимому количеству этого элемента. Содержание других элементов в альгинатах обнаружено в микро-количествах, не влияющих на физико-химические характеристики этого полисахарида.

Исследования молекулярной массы (ММ) альгинатов, полученных из *S. latissima* и *L. digitata*, показали, что все они относятся к высокомолекулярным. Их ММ колеблется в интервале 182-259 кДа. Вязкость 0,2%-х

**Таблица 6.** Химический состав альгинатов натрия и их технологический выход из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
**Table 6.** Chemical composition of sodium alginates and their technological yield from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

| Вид водоросли, дата сбора | Технологический выход альгината из водоросли, % сухого в-ва | Содержание, % на сухое в-во |                    |               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|
|                           |                                                             | Золы                        | Альгиновой кислоты | Азота (Нобщ.) |
| <i>L. digitata</i>        | 13.06.22 г.                                                 | 17,70                       | 22,30              | 77,03         |
|                           | 16.09.20 г.                                                 | 21,00                       | 23,70              | 76,34         |
| <i>S. latissima</i>       | 07.06.22 г.                                                 | 17,00                       | 23,00              | 75,00         |
|                           | 21.08.22 г.                                                 | 21,10                       | 22,60              | 77,41         |

водных растворов изменяется в интервале  $10,22-12,65 \times 10^{-3}$  Па·с для альгината из *S. latissima* и  $15,08-16,02 \times 10^{-3}$  Па·с для альгината из *L. digitata*. Прозрачность водных растворов всех экспериментальных альгинатов соответствует 93,0-98,7% светопропускания, что свидетельствует о возможности применения их в пищевой отрасли в качестве загустителей пищевых продуктов без изменения их цвета. pH 0,2%-х водных растворов альгинатов составляют 7,05-7,30, что немного выше нейтрального и не влияет на pH готового продукта (табл. 7).

вышений ПДК по содержанию токсичных элементов (As, Cd, Hg, Pb) не обнаружено (табл. 8).  
Таким образом, альгинаты натрия, полученные из *S. latissima* и *L. digitata*, по содержанию токсичных элементов являются безопасными и могут быть использованы в различных отраслях, в том числе фармацевтической и пищевой.  
Известно, что альгиновые кислоты и их соли альгинаты не имеют питательной ценности и их широкое применение в пищевой промышленности определяется гидрофильно-коллоидными свойствами. Раство-

Таблица 7. Физическая характеристика растворов альгинатов натрия, полученных из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
Table 7. Physical characterization of sodium alginate solutions obtained from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

| Вид водоросли, дата сбора |          | Молекулярная масса, тыс. ед. | Характеристика 0,2%-х водных растворов |      |                                   |
|---------------------------|----------|------------------------------|----------------------------------------|------|-----------------------------------|
|                           |          |                              | Вязкость, $\eta \times 10^{-3}$ Па·с   | pH   | Прозрачность в % светопропускания |
| <i>L. digitata</i>        | 13.06.22 | 247                          | 15,08                                  | 7,30 | 98,3                              |
|                           | 16.09.20 | 254                          | 16,02                                  | 7,30 | 98,7                              |
| <i>S. latissima</i>       | 05.06.23 | 182                          | 10,22                                  | 7,15 | 99,6                              |
|                           | 21.08.22 | 259                          | 16,51                                  | 7,05 | 95,6                              |

Экспериментальные альгинаты натрия – это аморфные, сыпучие, тонкоизмельчённые порошки, без запаха, светло-бежевого цвета, хорошо растворимые в воде при этом образуют вязкие растворы в интервале концентраций 0,1 до 1,5%. В интервале концентраций водного раствора альгината натрия от 2,0 до 4,0% образуется густой коллоид, переходящий в состояние не текучей пасты.  
Результаты исследований по безопасности экспериментальных образцов альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показали, что пре-

ры альгината натрия или калия в воде – это гидроколлоиды, обладающие вязкостью и способностью образовывать гели с двухвалентными металлами, за исключением магния. При понижении pH раствора альгината до 3 также образуются гели, склонные к синерезису. Загущающие свойства растворимых в воде альгинатов позволяют их применять в качестве загустителей и стабилизаторов пищевых систем во многих технологических направлениях, в особенности там, где требуется изменить или стабилизировать структуру продукта. Растворы альгинатов в воде обла-

Таблица 8. Содержание токсичных элементов в альгинатах натрия, полученных из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
Table 8. Content of toxic elements in sodium alginates obtained from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

| Наименование элемента, символ | ПДК* | Содержание, мг/кг порошка альгината натрия, полученного из: |                    |             |
|-------------------------------|------|-------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|
|                               |      | <i>S. latissima</i><br>07.06.22 г.                          | <i>L. digitata</i> |             |
|                               |      |                                                             | 13.06.22 г.        | 16.09.20 г. |
| Мышьяк (As)                   | 3,0  | 0,9896                                                      | 0,3110             | 0,2107      |
| Свинец (Hg)                   | 5,0  | 0,5495                                                      | 0,3176             | 0,5433      |
| Ртуть (Pb)                    | 1,0  | 0,3199                                                      | 0,8845             | 0,6196      |
| Кадмий (Cd)                   | 1,0  | 0,1655                                                      | 0,5260             | 0,5630      |

Примечание: \* – требования для пищевой добавки альгинат натрия – E 401 (SODIUM ALGINATE) [ТР ТС 029/2012<sup>8</sup>].

<sup>8</sup> Требования к безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (ТР ТС 029/2012). 05.08.2025 г.

дают эмульгирующими свойствами, что обуславливает их широкое применение при производстве пищевых мясных, молочных и рыбных систем, а также соусов типа майонеза или кетчупа. Очень часто при разработке новых видов пищевых продуктов необходимо придать им определённую форму или структуру в процессе производства. Получение устойчивых пищевых систем – это одна из сложнейших задач, поэтому одновременно с формированием и гранулированием используют вещества, такие как альгинаты, изменяющие консистенцию и структуру продуктов [Соколова и др., 2003; Подкорытова, 2005].

В последнее время возрос уровень использования альгината при производстве мороженого, которому он придаёт нежную консистенцию, однородную структуру, уменьшает процесс кристаллизации и значительно увеличивает стабильность структуры при хранении или некотором повышении температуры. Применение альгината позволяет уменьшить количество добавляемого жира и получать мороженое с низким его содержанием [Задегина и др., 2023]. Альгинат добавляют к йогуртам, что улучшает их структуру и консистенцию. При этом полисахарид может быть добавлен в молоко при подготовке молочной основы. Альгинаты используют как пищевые добавки, связывающие воду, препятствующие синерезису белковых соединений и способствующие получению фарша (рыбного или мясного) определённой консистенции. Альгинаты используют как компоненты при получении БАД к пище, которые не являются лекарством, но обладают лечебно-профилактическими свойствами [Вафина, 2010; Zirmire et al., 2023]. Водонерастворимые альгинаты кальция применяют в качестве источника кальция и энтеросорбента радионуклидов и тяжёлых металлов [Беспалов, 2004, 2010<sup>9</sup>; Подкорытова, 2005, 2023; Подкорытова и др., 2022]. Кроме того, альгинаты как биологически активные вещества бурых водорослей, обладают широким спектром лечебных [Акулина и др., 2025] и профилактических эффектов. Водорастворимые альгинаты натрия, калия, магния обладают обволакивающим, ранозаживляющим, обезболивающим и антацидным действием и их с успехом применяют при лечении желудочно-кишечного тракта, в том числе, при лечении гастроэзофагеальной рефлюксной болезни [Бордин и др., 2020]. Альгинаты в последние годы активно используются при производстве СПП, БАД, абсорбентов, фармацевтических средств и применяются в качестве составного компонента рационов здорового питания.

<sup>9</sup> Беспалов В.Г. 2010. Альгинат кальция. Источник растворимых пищевых волокон и кальция. М.: 26 с. [https://uralargo.ru/books/pdf/alginat\\_kalcia.pdf](https://uralargo.ru/books/pdf/alginat_kalcia.pdf)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов биологических исследований, включая и морфометрические измерения *S. latissima* из Онежской губы Белого моря, проведённых в течение летнего периода 2022 г., установлено, что растения возраста 2+ – и 3+ обладают наиболее высокими продукционными характеристиками для их промысла и переработки. Разработаны рекомендации по срокам сбора, первичной обработке свежесобранных *S. latissima* и *L. digitata* и их сушке.

Результаты исследований химического состава и технологических характеристик *S. latissima* и *L. digitata* показали их высокий химико-технологический потенциал, определяющий широкие перспективы для использования и комплексной переработки:

– *S. latissima* и *L. digitata* характеризуются как ценное пищевое сырьё по содержанию белка и аминокислот, а также липидов, содержащих омега-3 жирные кислоты, и рекомендуются к использованию в качестве основы или самостоятельного компонента при приготовлении пищевых продуктов широкого спектра наименований. Сбор водорослей для их использования в качестве пищевых следует проводить в июне-июле;

– *S. latissima* и *L. digitata* содержат комплекс биологически активных веществ, таких как структурообразующие гетерополисахариды – альгиновые кислоты в форме альгинатов, ламинаран, маннит, фукоидан, органический и минеральный йод, а также минеральные микро- и макроэлементы, витамины, свойственные бурым водорослям;

– содержание альгиновой кислоты в слоевищах *S. latissima* и *L. digitata* к августу-сентябрю достигает 31,4-35,0% и 30,87%, технологический выход альгината из них составляет в среднем 21%, молекулярная масса альгинатов – 250 кДа.

Установлено, что *S. latissima* и *L. digitata* перспективно использовать как полноценное сырьё для производства пищевых продуктов, биологически активных добавок к пище (БАД), а также альгинатов – загустителей и структурообразователей, абсорбентов радионуклидов и тяжёлых металлов, для медицины и фармацевтики и пищевой отрасли.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ВНИРО.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акулина Е.А., Бонарцева Г.А., Дудун А.А., Кочевалина М.Ю., Бонарцев А.П., Воинова В.В. 2025. Современное состояние изучения механизмов биологической активности альгинатов // Успехи биологической химии. Т. 65. С. 381-418.
- Амелькина А.С., Анциферов М.Ю., Бакай Ю.И., Баканев С.В., Балякин Г.Г., Безбородов А.С. и др. 2024. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 168 с.
- Аминина Н.М., Акулин В.Н., Якуш Е.В. 2020. Морские растения перспективный источник кормов и удобрений для сельского хозяйства // Рыбное хозяйство. № 5. С. 67-70. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-67-70.
- Беспалов В.Г. 2004. Лечебно-профилактические препараты из морских водорослей. СПб.: СПбПУ. 160 с.
- Блинова Е.И. 2007. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: Изд-во ВНИРО. 114 с.
- Бокова Е.М., Титов В.М. 2002. Сырьевые и производственные проблемы Архангельского водорослевого комбината // Мат. I Межд. науч.-практ. конф. «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». М.: Изд-во ВНИРО. С. 110-116.
- Бордин Д.С., Валитова Э.Р., Эмбутникс Ю.В., Березина О.И., Кононова А.Г., Колбасников С.В., Бор С. 2020. Альгинаты в лечении гастроэзофагеальной рефлюксной болезни // Эффективная фармакотерапия. Т. 16. № 1. С. 12-18. DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-1-12-18.
- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Евсеева Н.В., Матюшкин В.Б., Березина М.О., Мельник Р.А., Левицкий А.Л., Власов Д.О., Саенко Е.М., Жильцова Л.В., Белый М.Н., Дуленин А.А., Прохорова Н.Ю., Сологуб Д.О., Ботнев Д.А. 2024. Состояние ресурсов и промысел водорослей и морских трав в морях России в 2000-2020 гг. // Труды ВНИРО. Т. 195. С. 232-248. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-195-232-248.
- Задегина П.Г., Череватова К.А., Борисова А.В. 2023. Получение низкожирного мороженого с использованием трехкомпонентных матриц // Вестник КрасГАУ. № 4. С. 180-187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-180-187.
- Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищевая промышленность. 415 с.
- Корзун В.Н., Воронова Ю.Г., Парац А.Н., Подкорытова А.В., Рогальская Л.А., Сагло В.И., Скоринова А.И. 1992. Альгинатная профилактика внутреннего облучения с помощью <sup>90</sup>Sr. Медицинская радиология, 37(5-6), с. 31-34.
- Корзун В.Н., Сагло В.И., Беседина Т.В., Воронова Ю.Г., Подкорытова А.В. 1993. Опыт использования продуктов моря в питании населения, проживающего в районах жёсткого радиационного контроля // Вопросы питания. № 2. С. 36-38.
- Михайлова Т.А. 2001. Развитие ценопопуляций *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) при заселении свободного субстрата в Белом море // Ботанический журнал. Т. 86. № 12. С. 24-31.
- Муравьева Е.А. 2010. Комплексная технология получения экстрактивных БАВ из бурых водорослей Белого моря // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. № 3. С. 54-57.
- Подкорытова А.В. 1980. Динамика некоторых свободных аминокислот ламинарии японской в процессе роста и созревания репродуктивной ткани // Исследования по технологии новых объектов промысла. Владивосток: Изд. ТИНРО. С. 53-57.
- Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли-макрофиты. М.: Изд-во ВНИРО. с. 175.
- Подкорытова А.В. 2023. Полисахариды морских бурых водорослей как природные абсорбенты радионуклидов и тяжёлых металлов // Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития. I Межд. науч.-практ. конф. М.: ВНИРО. С. 385-391.
- Подкорытова А.В., Аминина Н.М., Ковалева Е.А., Корзун В.Н., Парац А.Н. 1992. Изменение сорбционной активности альгиновой кислоты при получении лечебно-профилактической продукции // Известия ТИНРО. Т. 114. С. 146-149.
- Подкорытова А.В., Архипов Л.О., Межонов А.В. 2022. Морские водоросли-макрофиты и их роль в решении проблем продовольственного и фармацевтического обеспечения населения России в современных условиях // Теория и практика мировой науки. № 12. С. 109-113.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Игнатова Т.А. 2017. Кормовые добавки из морских водорослей и продуктов их переработки. М.: Изд-во ВНИРО. 70 с.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Муравьева Е.А., Шарина З.Н. 2009. Санитарно-гигиеническая характеристика бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. № 4. С. 33-39.
- Подкорытова А.В., Кадникова И.А. 2009. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов. Руководство по современным методам исследований морских водорослей, трав и продуктов их переработки. Вып. 3. М.: ВНИРО. 108 с.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н. 2021. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // Труды ВНИРО. Т. 186. С. 156-172. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-156-172.
- Подкорытова А.В., Усов А.И., Евсеева Н.В., Рощина А.Н. 2023. Промысловые водоросли Белого и Чёрного морей прибрежных зон России: запасы, химический состав, строение, свойства полисахаридов, рациональное использование // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 190-215. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-193-190-215.
- Пронина О.А., Воробьев А.В., Мельник Р.А., Михайлова Т.А., Березина М.О., Грибковский Д.А., Шилова Н.А. 2008. Методические рекомендации по организации сбора первичной биологической информации, оценке запасов и ОДУ про-



мысловых водорослей Белого моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 74 с.

Пронина О.А., Репина О.И. 2005. Беломорские промысловые водоросли: сырьевая база, промысел и технологии переработки // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Мат. IX межд. конф. 11-14 октября 2004. Петрозаводск. С. 269-273.

Репина О.И., Муравьева Е.А., Подкорытова А.В. 2004. Динамика химического состава промысловых бурых водорослей Белого моря // Труды ВНИРО. Т. 143. С. 93-99.

Соколова В.М., Талабаева С.В., Подкорытова А.В. 2003. Исследование реологических свойств рыбных фаршей при создании продуктов типа суфле // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. № 2-3(273-274). С. 92-94.

Усольцева Р.В., Звягинцева Т.Н., Ермакова С.П. 2019. Структурное разнообразие ламинаранов бурых водорослей, перспективы их использования // Вестник ДВО РАН. № 5. С. 84-89.

Штильман М.И., Подкорытова А.В., Немцев С.В., Кряжев В.Н., Пешехонова А.Л., Сдобникова О.А. и др. 2015. Технология полимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 328 с.

Энциклопедия «Пищевые технологии». Технологии рыбной промышленности. 2019. Ч. 2. / Л.С. Абрамова ред. М.: Изд-во ВНИРО. С. 183-225.

Fertah M., Belfkira A., Dahmane E., Taourirte M., Brouillette F. 2014. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed // Arabian Journal of Chemistry. V. 10. P. 3707-3714. DOI: 10.1016/j.arabjc.2014.05.003.

Hesp R., Romsbottom B. 1965. Effect of sodium alginate in inhibiting uptake of radiostrontium by the human body // Nature. V. 208. P. 1341-1342.

Lorbeer A.J., Charoensiddhi S., Lahnstein J., Lars C., Franco C.M.M., Bulone V., Zhang W. 2017. Sequential extraction and characterization of fucoidans and alginates from *Ecklonia radiata*, *Macrocystis pyrifera*, *Durvillaea potatorum*, and *Seirococcus axillaris* // J. Appl. Phycol. V. 29 (3). P. 1515-1526. DOI: 10.1007/s10811-016-0990-5

Lorbeer A.J., Lahnstein J., Bulone V., Nguyen T., Zhang W. 2015. Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoidan and alginate // Bioresource technology. V. 197(11). P. 302-309. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.08.103.

Schiener P., Black K.D., Stanley M.S., Green D.H. 2015. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta* // Journal of Applied Phycology. V. 27(1). P. 363-373. DOI: 10.1007/s10811-014-0327-1.

Seaweed Resources of The World. 1998. / A.T. Critchly, M. Ohno eds. Kanagawa International Fisheries Centre. Jap. Int. Coop. Agency. 431 p.

Zirmire P., Bhalekar G., Deshmukh M.T. 2023. Alginates: Properties, Alginates Based New Materials use in Biopharmaceutical Applications and Future Prospectives //

International Journal of Research Publication and Reviews. V. 4. № 7. P. 2504-2510.

## REFERENCES

Akulina E.A., Bonartseva G.A., Dudun A.A., Kochevalina M.Y., Bonartsev A.P., Voinova V.V. 2025. Current state of study mechanisms biological activity of alginates // Successes of Biological Chemistry. V. 65. P. 381-418. (In Russ.)

Amelkina A.S., Antsiferov M.Y., Bakai Yu., Bakanev S.V., Balyakin G.G., Bezborodov A.S. et al. 2024. Status of the living marine resources in the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2024. Murmansk: N.M. Knipovich PINRO Publish. 168 p. (In Russ.)

Aminina N.M., Akulin V.N., Yakush E.V. 2020. Marine plants a promising source of fodder and fertiliser for agriculture // Fishery. № 5. P. 67-70. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-67-70. (In Russ.)

Bespalov V.G. 2004. Therapeutic and prophylactic preparations from seaweeds. Sankt-Peterburg: SPBPU Publish. 160 p. (In Russ.)

Blinova E.I. 2007. Seaweeds and seagrasses of the seas of the European part of Russia (flora, distribution, biology, resources, mariculture). Moscow: VNIRO Publish. 114 p. (In Russ.)

Bokova E.M., Titov V.M. 2002. Raw materials and production problems of the Arkhangelsk Algae Combine // Proc. of the I Intern. Scient. and Pract. Conf. «Marine coastal ecosystems: algae, invertebrates and products of their processing». Moscow: VNIRO Publish. P. 110-116. (In Russ.)

Bordin D.S., Valitova E.R., Embutnieks J.V., Beresina O.I., Kononova A.G., Kolbasnikov S.V., Bor S. 2020. Alginates in the treatment of gastroesophageal reflux disease // Effective Pharmacotherapy. T. 16. № 1. P. 12-18. DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-1-12-18. (In Russ.)

Vafina L.Kh. 2010. Substantiation of the complex technology of processing brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. Abstract. PhD Diss. in technic. Moscow: VNIRO. 24 p. (In Russ.)

Evseeva N.V., Matyushkin V.B., Berezina M.O., Melnik R.A., Levitsky A.L., Vlasov D.O., Saenko E.M., Zhiltsova L.V., Bely M.N., Dulin A.A., Prokhorova N.Y., Sologub D.O., Botnev D.A. 2024. State of resources and fishery of algae and sea grasses in the seas of Russia in 2000-2020 // Trudy VNIRO. V. 195. P. 232-248. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-195-232-248. (In Russ.)

Zadergina P.G., Cherevatova K.A., Borisova A.V. 2023. Production of Low-Fat Ice Cream Using Three-Component Matrices // Bulletin of KrasGAU. No. 4. P. 180-187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-180-187. (In Russ.)

Kisevetter I.V., Gruner V.S., Evtushenko V.A. 1967. Processing of Seaweeds and other commercial aquatic plants. Moscow: Food Industry. 415 p. (In Russ.)

Korzun V.N., Voronova Yu.G., Parats A.N., Podkorytova A.V., Rogalskaya L.A., Saglo V.I., Skorikova A.I. 1992. Alginate prevention of internal irradiation with <sup>90</sup>Sr // Medical radiology. V. 37. No. 5-6. P. 31-34. (In Russ.)

Korzun V.I., Saglo V.I., Besedina T.V., Voronova Yu.G., Podkorytova A.V. 1993. The experience of using marine products in the nutrition of the population living in areas



- of strict radiation control // Nutrition issues. No. 2. P. 36-38. (In Russ.)
- Mikhailova T.A. 2001. Development of *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) cenopopulations during settlement of free substrate in the White Sea // Botanical Journal. V. 8. № 12. P. 24-31. (In Russ.)
- Muravyeva E.A. 2010. Complex technology for obtaining extractive BAS from brown algae of the White Sea // Rybprom: technologies and equipment for processing aquatic biological resources. № 3. P. 54-57. (In Russ.)
- Podkorytova, A.V. 1980. Dynamics of some free amino acids in Japanese kelp during the growth and maturation of reproductive tissue // Research on the technology of new fishing objects. Vladivostok: TINRO Publish. P. 53-57.
- Podkorytova A.V. 2005. Marine macrophytic algae and grasses. Moscow: VNIRO Publish. 175 p. (In Russ.)
- Podkorytova A.V. 2023. Polysaccharides of marine brown algae as natural absorbents of radionuclides and heavy metals // Fishery complex of Russia: problems and prospects of development: I International Scientific and Practical Conference. Moscow: VNIRO Publish. P. 385-391. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Aminina N.M., Kovaleva E.A., Korzun V.N., Parats A.N. 1992. Changes in the sorption activity of alginic acid during the production of Medical and preventative products // Izvestiya TINRO. V. 114. P. 146-149. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Arkhipov L.O., Mezhiyonov A.V. 2022. Marine algae-macrophytes and their role in solving the problems of food and pharmaceutical supply of the Russian population in modern conditions // Theory and Practice of World Science. № 12. P. 109-113. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Vafina L.H., Ignatova T.A. 2017. Feed additives from seaweeds and products of their processing. Moscow: VNIRO Publish. 70 p. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Vafina L.Kh., Muravyeva E.A., Sharina Z.N. 2009. Sanitary and hygienic characteristics of brown algae of the White and Barents Seas // Rybprom: technologies and equipment for processing aquatic biological resources. No. 4. P. 33-39.
- Podkorytova A.V., Kadnikova I.A. 2009. Quality, Safety, and Methods of Analysis of Hydrobiont Products. Guide to Modern Methods of Research on Seaweed, Herbs, and Their Processing Products. Issue 3. Moscow: VNIRO. 108 p.
- Podkorytova A.V., Roschina A.N. 2021. Marine brown algae – perspective source of BAS for medical, pharmaceutical and food use. // Trudy VNIRO. V. 186. P. 156-172. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-156-172. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Usov A.I., Evseeva N.V., Roshchina A.N. 2023. Commercial algae in the White and Black Seas of the Russia coastal zones: stocks, chemical composition, structure, properties of polysaccharides, rational use // Trudy VNIRO. V. 193. P. 190-215. (In Russ.) DOI: 10.36038/2307-3497-2023-193-190-215. (In Russ.)
- Pronina O.A., Vorobyov A.V., Melnik R.A., Mikhailova T.A., Berezina M.O., Gribovsky D.A., Shilova N.A. 2008. Methodological recommendations for organizing the collection of primary biological information, assessing the reserves and ODU of commercial algae in the White Sea. Murmansk: PINRO Publish. 74 p.
- Pronina O.A., Repina O.I. 2005. White Sea commercial algae: raw materials, fishing, and processing technologies // Problems of studying, rational use, and protection of the White Sea's natural resources. Mat. IX Int. Conf. 11-14 October 2004. Petrozavodsk. P. 269-273. (In Russ.)
- Repina O.I., Muravyeva E.A., Podkorytova A.V. 2004. Dynamics of the Chemical Composition in Commercial Brown Algae from the White Sea // Trudy VNIRO. V. 143. P. 93-99. (In Russ.)
- Sokolova V.M., Talabaeva S.V., Podkorytova A.V. 2003. Investigation of rheological properties of fish mince when creating souffle-type products // Izvestiya Higher Educational Institutions. Food technology. № 2-3 (273-274). P. 92-94. (In Russ.)
- Usoltseva R.V., Zvyagintseva T.N., Ermakova S.P. 2019. Structural Diversity of Laminarans from Brown Algae, Prospects for Use // Bulletin of the FEB RAS. No. 5. P. 84-89. (In Russ.)
- Shtilman M.I., Podkorytova A.V., Nemtsev S.V., Kryazhev V.N., Peshekhonova A.L., Sdobnikova O.A. et al. 2015. Technology of Biomedical Polymers. Polymers of Natural Origin. Moscow: BINOM. Laboratoriya Znaniy. 328 p. (In Russ.)
- Encyclopedia «Food Technologies». Fish Industry Technologies. 2019. Part 2. / L.S. Abramova ed. Moscow: VNIRO Publish. P. 183-225. (In Russ.)
- Fertah M., Belfkira A., Dahmane E., Taourirte M., Brouillette F. 2014. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed // Arabian Journal of Chemistry. V. 10. P. 3707-3714. DOI: 10.1016/j.arabjc.2014.05.003.
- Hesp R., Romsbottom B. 1965. Effect of sodium alginate in inhibiting uptake of radiostrontium by the human body // Nature. V. 208. P. 1341-1342.
- Lorbeer A.J., Charoensiddhi S., Lahnstein J., Lars C., Franco C.M.M., Bulone V., Zhang W. 2017. Sequential extraction and characterization of fucoidans and alginates from *Ecklonia radiata*, *Macrocystis pyrifera*, *Durvillaea potatorum*, and *Seirococcus axillaris* // J. Appl. Phycol. V. 29 (3). P. 1515-1526. DOI: 10.1007/s10811-016-0990-5
- Lorbeer A.J., Lahnstein J., Bulone V., Nguyen T., Zhang W. 2015. Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoidan and alginate // Bioresource technology. V. 197(11). P. 302-309. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.08.103.
- Schiener P., Black K.D., Stanley M.S., Green D.H. 2015. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta* // Journal of Applied Phycology. V. 27(1). P. 363-373. DOI: 10.1007/s10811-014-0327-1.
- Seaweed Resources of The World. 1998. / A.T. Critchly, M. Ohno eds. Kanagawa International Fisheries Centre. Jap. Int. Coop. Agency. 431 p.
- Zirmire P., Bhalekar G., Deshmukh M.T. 2023. Alginates: Properties, Alginates Based New Materials use in Biopharmaceutical Applications and Future Prospectives // International Journal of Research Publication and Reviews. V. 4. № 7. P. 2504-2510.

Поступила в редакцию 30.04.2025 г.  
Принята после рецензий 11.07.2025 г.