

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-276-285>



Поступила 07.04.2025

Поступила после рецензирования 17.06.2025

Принята в печать 20.06.2025

© Ульрих Е. В., Ключко Н. Ю., Агафонова С. В., Землякова Е. С.,  
Сухих С. А., Качанова А. В., Федорова О. С., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

## МАКРОФИТЫ ЭКОСИСТЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАК ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ульрих Е. В.<sup>1</sup>, Ключко Н. Ю.<sup>1</sup>, Агафонова С. В.<sup>1\*</sup>, Землякова Е. С.<sup>1</sup>,  
Сухих С. А.<sup>2</sup>, Качанова А. В.<sup>1</sup>, Федорова О. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АННОТАЦИЯ

*макроводоросли, прибрежно-водные растения, рдест, ряска, телорез, биологически активные свойства, пищевая промышленность*

В качестве источников биомассы для комплексной переработки могут быть использованы такие типы ресурсов, как водоросли, водные растения (макрофиты) и их метаболиты. Целью настоящего исследования является анализ видо-вого многообразия, особенностей произрастания и потенциала производства биологически активных веществ макрофитов экосистемы Балтийского моря для использования в пищевой, кормовой и нутрицевтической промышленности. Макроводоросли Балтийского моря являются перспективным сырьем для получения ценных биологически активных соединений, поскольку они быстро растут, легко размножаются и не требуют специальных площадей или ресурсов для накопления биомассы. Значительные объемы водорослей могут быть обнаружены на берегу (штормовые выбросы), то есть получены без затрат на их добычу. Выделение комплекса биологически активных веществ является наиболее подходящим способом использования их потенциала в качестве антибактериальных, антиоксидантных, антиканцерогенных, противовоспалительных и гепатопротекторных агентов. Многие из прибрежно-водных растений доступны, интенсивно размножаются, образуя значительное количество биомассы, которая не имеет достаточного применения в различных областях промышленности, сельском и лесном хозяйстве, рыбоводстве, медицине и др. Макрофиты имеют высокую пищевую ценность и являются перспективным сырьем для выделения как нутрицевтиков, так и парафармацевтиков. Актуально изучение потенциала ряски для очистки сточных вод, при этом возможна ее переработка в ценную биомассу для корма животных и производства биологически активных веществ. Прибрежно-водное растение рдест обладает антиоксидантной активностью и антибактериальным действием в отношении как грамотрицательной, так и грамположительной микрофлоры. Макрофит телорез широко распространен на территории Калининградской области. Высокое содержание таких макроэлементов, как магний, кальций и фосфор в телорезе способствует повышению качества кормов и эффективности производства животноводческой продукции. В дальнейшем необходимы глубокие исследования перспективных направлений переработки биомассы водных растений с целью получения биологически активных веществ для пищевой, кормовой и нутрицевтической промышленности.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Работа выполнена в соответствии с утвержденным планом тематик научных исследований ФГБОУ ВО «КГТУ», осуществляемых за счет средств федерального бюджета (бюджетный цикл 2025–2027, регистрационный номер карты ЕГИСУ НИОКТР 1124072300009-1 от 23.07.2024 г.), а также в соответствии с соглашением о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ).

Received 07.04.2025

Accepted in revised 17.06.2025

Accepted for publication 20.06.2025

© Ulrikh E. V., Klyuchko N. Yu., Agafonova S. V., Zemlyakova E. S.,  
Sukhikh S. A., Kachanova A. V., Fedorova O. S., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

## MACROPHYTES OF THE BALTIC SEA ECOSYSTEM AS A SOURCE OF RAW MATERIALS FOR THE FOOD INDUSTRY

Elena V. Ulrikh<sup>1</sup>, Nataliya Yu. Klyuchko<sup>1</sup>, Svetlana V. Agafonova<sup>1\*</sup>, Evgeniya S. Zemlyakova<sup>1</sup>,  
Stanislav A. Sukhikh<sup>2</sup>, Anzhelika V. Kachanova<sup>1</sup>, Okesya S. Fedorova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

**KEY WORDS:**

*macroalgae, coastal aquatic plant, asbestos, duckweed, theloresis, biologically active property, food industry*

**ABSTRACT**

Such types of resources as algae, aquatic plants (macrophytes) and their metabolites can be used as sources of biomass for complex processing. The purpose of this study is to study the diversity, peculiarities of growth and production of biologically active substances of macrophytes of the Baltic Sea ecosystem for the food, feed and nutraceutical industries. The macroalgae of the Baltic Sea are promising raw materials for the production of valuable biologically active compounds, as they are easily reproducible, do not require areas and special resources for accumulation. Significant amounts of algae can be found on the shore (storm emissions), that is, obtained without the cost of their extraction. Isolation of a complex of biologically active substances is the most suitable way to use their potential as antibacterial, antioxidant, anticarcinogenic, anti-inflammatory and hepatoprotective agents. Many of the coastal aquatic plants are available and multiply intensively, forming a significant amount of biomass, which currently has insufficient use in various fields of industry, agriculture, forestry, fish farming, medicine, etc. Macrophytes have high nutritional value and are promising raw materials for the isolation of both nutraceuticals and parapharmaceuticals. It is important to study the potential of duckweed for wastewater treatment, while it can be processed into valuable biomass for animal feed and the production of biologically active substances. The coastal aquatic plant radeast has antioxidant activity and antibacterial action against both gram-negative and gram-positive microflora. Macrophyte theloresis is widespread in the Kaliningrad region. The high content of macronutrients such as magnesium, calcium and

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ульрих, Е. В., Ключко, Н. Ю., Агафонова, С. В., Землякова, Е. С., Сухих, С. А., Качанова, А. В. и др. (2025). Макрофиты экосистемы Балтийского моря как источник сырья для пищевой промышленности. *Пищевые системы*, 8(2), 276–285. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-276-285>

FOR CITATION: Ulrikh, E. V., Klyuchko, N. Yu., Agafonova, S. V., Zemlyakova, E. S., Sukhikh, S. A., Kachanova, A. V. et al. (2025). Macrophytes of the Baltic Sea ecosystem as a source of raw materials for the food industry. *Food Systems*, 8(2), 276–285. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-276-285>

phosphorus in telorez improves the quality of feed and the efficiency of livestock production. In the future, in-depth research is needed into promising areas of processing biomass of aquatic plants in order to obtain biologically active substances for the food, feed and nutraceutical industries.

FUNDING: The work was carried out in accordance with the approved plan of scientific research topics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “KSTU”, carried out at the expense of the federal budget (budget cycle 2025–2027, registration number of the EGISU R&D card 1124072300009-1 dated 07/23/2024), the agreement on the provision of subsidies from the federal budget for the financial support of the state assignment for the provision of public services (performance of work).

## 1. Введение

Согласно прогнозам, численность мирового населения составит 10,9 млрд человек в 2100 году. Большая часть прогнозируемого роста приходится на страны с низким уровнем дохода. Рост населения планеты является основным фактором выбросов углекислого газа, а также истощения природных ресурсов [1]. Истощение природных ресурсов и полезных ископаемых, в свою очередь, приводит к замедлению экономического роста во многих странах [2]. Для устойчивого развития необходимо рациональное обращение с ресурсами, а также минимизация отходов, поскольку их захоронение или сжигание сопровождается загрязнением плодородных почв, атмосферы и водных объектов.

Водные растения являются высоко инвазивными, плавающими растениями, и активный рост их количества в природе может привести к критическим экологическим и экономическим последствиям. К ним относятся: нарушения в процессах орошения, выращивания рыбы, генерации гидроэнергии и рекреационных мероприятиях, а также загрязнения источников питьевой воды. С учетом вышеизложенного, возникает потребность в удалении таких растений из водоемов, что может сопровождаться высокими расходами. Однако при использовании биомассы водных растений в качестве биотоплива, пищевых и кормовых добавок, фармацевтических и косметических препаратов, предполагаемые затраты можно превратить в инвестиции. Водные растения могут производить значительное количество биологически активных веществ, а по своей активности зачастую превосходят наземные виды.

В последние годы развитие промышленности во многих странах идет в направлении максимального внедрения «зеленых» технологий в рамках построения биоэкономики [3]. В Европе для рационализации использования биомассы все чаще рассматривается концепция биоэкономики замкнутого цикла (БЗЦ). БЗЦ как идея циркулярной экономики предполагает достижение экономической и экологической устойчивости за счет максимальной целенаправленной рециркуляции потоков ресурсов, а также путем минимизации образования отходов и их утилизации в конце срока службы [4]. Считается, что использование биомассы в БЗЦ в таких отраслях, как пищевая, кормовая и нутрицевтическая, будет способствовать снижению выбросов углекислого газа и сокращению парникового эффекта. Россия занимает одну из лидирующих позиций в мире по сбору водных растений [5]. В качестве источников биомассы для комплексной переработки могут быть использованы водоросли, водные растения (макрофиты) и их метаболиты [6].

Одним из перспективных направлений переработки биомассы водных растений и макроводорослей является получение биологически активных веществ для пищевой, кормовой и нутрицевтической промышленности. В научной литературе недостаточно освещен потенциал макрофитов экосистемы Балтийского моря для выделения из них комплексов биологически активных веществ, что определяет актуальность данного направления исследований. Целью настоящего исследования является изучение видового многообразия, особенностей произрастания и потенциала производства биологически активных веществ макрофитов экосистемы Балтийского моря для применения в пищевой, кормовой и нутрицевтической промышленности.

## 2. Объекты и методы

Настоящее исследование представляет собой систематический обзор научной литературы, посвященной изучению макрофитов экосистемы Балтийского моря и их потенциала для применения в пищевой промышленности. Основное внимание уделено водорослям (*Rhodophyta*, *Chlorophyta*, *Ochrophyta*) и прибрежно-водным растениям (рдест, ряска, телорез), произрастающим в Калининградской области и в прилегающих акваториях Балтийского моря.

Систематический поиск научной литературы был произведен с использованием следующих поисковых систем: для международных публикаций применялись Scopus, Web of Science, PubMed, для русскоязычных источников — eLIBRARY.RU, CyberLeninka, для дополнительного поиска — Google Scholar. Сбор данных осуществлялся на русском и английском языках по ключевым фразам: «ма-

крофиты/macrophytes», «водоросли/algae», «Балтийское море/Baltic Sea», «прибрежно-водные растения/coastal aquatic plants», «рдест/asbestos», «ряска/duckweed», «телорез/theloresis», «биологически активные свойства/biologically active properties», «пищевая промышленность/food industry».

В ходе работы были проанализированы полные тексты статей, соответствующих критериям поиска. Статьи, не относящиеся к теме исследования, отклонялись после изучения названия и аннотации.

Критерии включения:

- 1) статьи, опубликованные в рецензируемых журналах;
- 2) публикации, содержащие экспериментальные или аналитические данные о химическом составе, биологической активности и методах переработки макрофитов;
- 3) тематика научной литературы — макрофиты экосистемы Балтийского моря и их потенциал для применения в пищевой промышленности;
- 4) работы, содержащие данные о методах переработки и применении макрофитов в пищевой, кормовой или фармацевтической промышленности.

Критерии исключения:

- 1) исследования, не соответствующие тематике настоящего обзора/не относящиеся к изучаемому предмету
- 2) статьи с недостоверными или непроверенными данными.

Основными источниками данных стали: научные статьи из международных и российских журналов; патенты на технологии переработки макрофитов; монографии и диссертации, посвященные водным растениям; отчеты и базы данных, такие как FAO Fishery и региональные экологические исследования.

Географический фокус исследования сосредоточен на Балтийском море и водоемах Калининградской области.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Макроводоросли Балтийского моря

Макроводоросли Балтийского моря являются перспективным сырьем для получения ценных биологически активных соединений, поскольку они быстро растут, легко размножаются и не требуют специальных площадей или ресурсов для накопления биомассы. Значительные объемы водорослей могут быть обнаружены на берегу (штормовые выбросы), то есть получены без затрат на их добычу. В Балтийском море макрофиты представлены тремя отделами — *Rhodophyta* (красные водоросли), *Chlorophyta* (зеленые водоросли) и *Ochrophyta* (охрофитовые водоросли). В Таблице 1 представлены виды водорослей, обнаруживаемых исследователями на побережье Балтийского моря.

Таблица 1. Водоросли, обнаруживаемые на побережье Балтийского моря [7–11]

Table 1. Algae found on the Baltic Sea coast [7–11]			
Отдел	Род	Вид	
<i>Rhodophyta</i>	<i>Bangia</i>	<i>Bangia atropurpurea</i>	
	<i>Ceramium</i>		<i>Ceramium virgatum</i>
			<i>Ceramium tenuicorne</i>
	<i>Coccotylus</i>		<i>Coccotylus truncatus</i>
	<i>Furcellaria</i>		<i>Furcellaria lumbricalis</i>
	<i>Polysiphonia</i>		<i>Polysiphonia fucoides</i>
<i>Chlorophyta</i>	<i>Cladophora</i>		<i>Cladophora glomerata</i>
			<i>Cladophora rupestris</i>
			<i>Cladophora sericea</i>
	<i>Ulva</i>		<i>Ulva intestinalis</i>
			<i>Ulva lactuca</i>
<i>Ochrophyta</i>		<i>Ulva prolifera</i>	
	<i>Urospora</i>		<i>Urospora penicilliformis</i>
	<i>Fucus</i>		<i>Fucus vesiculosus</i>
	<i>Pilayella</i>		<i>Pilayella littoralis</i>

Ввиду высокой степени загрязнения Балтийского моря тяжелыми металлами, водоросли не рекомендуются употреблять в пищу в природном виде. Поэтому получение различных продуктов на их основе, связанных с глубокой переработкой сырья, как, например, экстракция непосредственно комплексов биологически активных веществ, является наиболее подходящим способом использования их потенциала [7].

Зеленые, красные и охрофитовые водоросли обладают противогрибковыми, антибактериальными, цитостатическими, противовирусными, глистогонными свойствами [7,8], их экстракты могут подавлять рост бактерий, дрожжей и грибов [12,13].

Основными компонентами химического состава водорослей являются углеводы. Некоторые вещества углеводной природы уникальны, содержатся только в водорослях и обуславливают их высокий биопотенциал, часто это относится к полисахаридам. Липиды морских водорослей отличаются благоприятным жирнокислотным профилем за счет содержания омега-3 полиненасыщенных жирных кислот альфа-линоленовой, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой, однако общее невысокое содержание жира не позволяет использовать водоросли как сырье для выделения липидных БАВ [10,14].

Наиболее распространенными углеводами зеленых водорослей являются целлюлоза, крахмал, маннан, гетерогликан, ульван, ксилан; для красных водорослей характерны целлюлоза, флоридский крахмал, агар, каррагенан, ксилан, галактан. Общее количество полисахаридов может варьироваться от 4 до 76% сухого веса биомассы водорослей [15].

В последнее время особый интерес вызывает ульван — уникальный сульфатированный полисахарид, содержащий остатки рамнозы и глюконовой кислоты, выделяемый из водорослей рода *Ulva* и обладающий целым рядом биологически активных свойств. Сообщается об антиоксидантных, противовирусных, антигиперлипидемических, антиканцерогенных, иммуномодулирующих свойствах ульвана [16–20]. Ульван обладает мощной антимикробной активностью против *Klebsiella pneumoniae* и *Candida albicans* при минимальной ингибирующей концентрации 8 мкг/мл. Исследования на животных показали, что ульван облегчает течение артрита и воспалительных заболеваний кишечника. Исследования на животных показали, что ульван облегчает течение артрита и воспалительных заболеваний кишечника, снижая тяжесть симптомов, предотвращая сморщивание толстой кишки и повреждение тканей [21–23]. Имеются сведения о противовирусных свойствах ульвана для лечения SARS-CoV2 [24].

Полученные из биомассы водорослей рода *Ulva* полисахариды обладают пребиотическими свойствами. В исследовании Krangkratok W. и коллег сообщается о получении из ульвана водорослей *Ulva* ульванолигосахаридов (УОС). Показан пребиотический эффект УОС при их влиянии на рост молочнокислых бактерий *Lactobacillus acidophilus* и *Lactobacillus plantarum*. УОС способствовали росту этих микроорганизмов активнее, чем коммерческий пребиотик галактоолигосахарид, при этом подавляли рост патогенных микроорганизмов *Bacillus cereus* и *Escherichia coli*. Исследование продемонстрировало, что УОС могут быть использованы в качестве пребиотической добавки, которая имеет значительный потенциал для пищевой и комбикормовой промышленности [25]. В исследовании Liu Zh. и соавторов [26] показано положительное влияние полисахаридов, экстрагированных из биомассы *U. lactuca*, на метаболизм фекальных микроорганизмов человека: *Bacteroides vulgatus* и *Bacteroides thetaiotaomicron*.

Sun Y. и соавторами [27] сообщается об экстрагировании биоактивного ульвана из биомассы водорослей *Ulva prolifera*. Высушенные и измельченные в порошок образцы погружали в 0,2 М HCl на 24 ч для предварительной обработки с последующей фильтрацией и автоклавной экстракцией раствором карбоната натрия. После очистки и лиофилизации исследовали фракционный состав экстракта, в котором были обнаружены следующие углеводы: галактоза (9,43%), глюкоза (73,17%), ксилоза (9,63%) и манноза. Антиоксидантные свойства и биосовместимость полученного экстракта при применении его в качестве биоактивного ингредиента в 3D-культуре клеток были оценены и подтверждены с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии и визуализации с применением флуоресцентного микроскопа. Таким образом, экстракт, полученный из биомассы водорослей *Ulva prolifera*, обладает большим потенциалом для использования в биомедицине. Антиоксидантные свойства экстракта *Ulva prolifera* описаны также Feng Y. и соавторами [28]. По мнению исследователей, водоросли имеют существенный потенциал для использования в качестве терапевтического средства для профилактики и лечения кишечных заболеваний, вызванных окислительным стрессом.

Актуальным вопросом для пищевой и фармацевтической промышленности является получение гликолипидов. Гликолипиды образованы одним или несколькими остатками моносахаридов,

связанными гликозидными связями с липидными группами, моноацильными или диаллилглицеринами. Гликолипиды, выделенные из морских объектов, обладают разнонаправленной биологической активностью, например, противовирусной, противоопухолевой, антимикробной [29].

В статье Sun Y. и соавторов [30] сообщается об исследовании, в ходе которого с помощью ультразвуковой метанольной экстракции, последующего разделения и хроматографической очистки из водорослей рода *Bangia* были выделены два гликолипида. Их активность в отношении свободных радикалов DPPH составила около 60% при 1600 мкг/мл, а общая антиоксидантная способность была выше, чем у Trolox. Один из выделенных гликолипидов обладал увлажняющей активностью и был близок к сорбиту и альгинату натрия. Гликолипиды могут найти применение в качестве увлажнителей и антиоксидантов в пищевых продуктах.

Kulikova Y. с коллегами [10] исследовали химический состав и антиоксидантную активность спиртовых экстрактов водорослей родов *Cladophora*, *Polysiphonia*, *Ulva* и *Furcellaria*, собранных на побережье Балтийского моря. Авторы отмечают высокое содержание в углеводном составе водорослей таких сахаров, как фукоза и галактоза. Содержание фукозы составило 6,49, 4,13, 2,71 и 2,32% в биомассе водорослей *Furcellaria*, *Polysiphonia*, *Cladophora* и *Ulva* соответственно, а содержание галактозы — 2,51, 1,18, 1,85 и 1,66% соответственно. Наибольшая антиоксидантная активность, установленная по DPPH-методу (90,38 мг/мл), была отмечена для экстракта биомассы *Furcellaria*, антиоксидантная активность экстрактов *Cladophora*, *Ulva* и *Polysiphonia* составила 136,61, 314,74 и 1069,21 мг/мл соответственно.

Фукоза и галактоза обладают рядом важных биологических свойств. Описаны антиканцерогенные, противовоспалительные и гепатопротекторные свойства фукозы, а также ее регенерирующие, заживляющие, увлажняющие и омолаживающие свойства для кожи [31]. Доказано, что добавление фукозы в детские смеси способствует более полноценному психическому развитию и формированию иммунитета у младенцев [32]. Галактоза обладает доказанным иммуномодулирующим, антиоксидантным и противовирусным действием [10,33].

Антиоксидантные и антимикробные свойства водорослей также связаны с разнообразными пигментами, содержащимися в биомассе. Водоросли являются фотосинтезирующими организмами, пигменты позволяют морским водорослям поглощать свет, необходимый для фотосинтеза на глубинах с различной степенью освещенности. Эти пигменты можно разделить на три основные группы, которые включают хлорофиллы, фикобилипротеины и каротиноиды и обладают различной пользой для здоровья. Доминирующими пигментами зеленых водорослей являются хлорофиллы a, b, α-, β-, γ-каротин, ксантофиллы, красные — хлорофилл a, ксантофиллы, α-, β-каротин, фикоэритрин, фикоцианин [34–37].

В исследовании Punampalam R. и соавторов [38] сообщается об извлечении очищенных фикобилипротеинов из водоросли *Bangia atropurpurea*. R-фикоэритрин и R-фикоцианин были выделены и очищены методом гель-фильтрации с помощью Sephadex G-200. Содержание R-фикоэритрина составило 54,8% от общего количества экстрагированного белка, R-фикоцианина — 16%. Установлена высокая антиоксидантная активность R-фикоэритрина, превышающая активность синтетического антиоксиданта ионола.

Исследователями [8] изучено общее содержание каротиноидов, хлорофиллов a и b, антиоксидантная, антимикробная активность экстрактов водорослей видов *Ulva intestinalis*, *Furcellaria lumbricalis*, *Cladophora rupestris*, собранных на побережье Балтийского моря. Установлено, что суммарное содержание каротиноидов в экстрактах *S. rupestris*, *F. lumbricalis* и *U. intestinalis* составляет соответственно 1,26; 0,2 и 0,81 мг/г. Содержание хлорофилла a — 5,65; 1,5 и 5,87 мг/г, хлорофилла b — 5,14; 0,55 и 2,63 мг/г соответственно. Исследование антиоксидантной активности экстрактов методом DPPH показало, что ее значение составляет для экстракта *S. rupestris* 5,82%, для *F. lumbricalis* — 2,42%, для *U. intestinalis* — 3,32%. При оценке антимикробной активности экстрактов методом диффузии в агаровую лунку была установлена активность всех экстрактов в отношении *Bacillus subtilis*. Анализ содержания тяжелых металлов показал их безопасные уровни в экстрактах водорослей в сравнении с исходной массой. Водоросли рекомендованы к использованию в производстве пищевых продуктов, кормов, нутрицевтиков, фармацевтических препаратов и т. д.

В статье Keramane B. и соавторов [39] сообщается об экстрагировании смеси этанола и воды биологически активных веществ из биомассы водорослей *Ulva lactuca*, *Ulva intestinalis* и *Ceramium virgatum*. Установлено общее содержание фенолов в экстрактах на уровне

15,95, 16,51 и 14,64 мг эквивалента галловой кислоты/г соответственно. Антиоксидантная активность экстрактов по методу Trolox составила 0,28, 0,27 и 0,25 ммоль эквивалента тролокса/г экстракта соответственно. Измеренная по методу с DPPH антиоксидантная активность экстрактов *U. lactuca*, *U. intestinalis* и *C. virgatum* составила 271,3, 248,9 и 123,5 мг/мл (количество антиоксиданта, необходимое для снижения концентрации DPPH на 50%) соответственно. Таким образом, установлена высокая антиоксидантная активность экстракта *C. virgatum*. Антибактериальную активность экстрактов в отношении *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae* и *Candida albicans* проявили все исследованные экстракты. Наибольшую активность продемонстрировал экстракт *C. virgatum* — его минимальная ингибирующая концентрация составила 2,5 мг/мл, наибольшая активность установлена в отношении *S. typhi* минимальной ингибирующей концентрацией 1,16 мг/мл. По мнению авторов, эта активность может быть обусловлена фикоэритрином, который является наиболее распространенным белково-пигментным комплексом в красных водорослях. Экстракт зеленой водоросли *U. lactuca* продемонстрировал более высокую антибактериальную активность, чем экстракт *U. intestinalis*, что может быть связано с более высоким содержанием в *U. lactuca* сульфатированных полисахаридов. Более активен был экстракт *U. lactuca* в отношении *S. typhi* и *E. coli* (2,08 и 5,16 мг/мл соответственно).

Антимикробные свойства выявлены у ряда биологически активных веществ, выделенных из охрофитовых водорослей *Fucus vesiculosus*. Полигидроксилированный фукофлоретол, выделенный

из норвежского *F. vesiculosus*, показал ингибирование *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, в то время как каротиноид фукоксантин подавлял размножение четырех морских бактерий в его естественных концентрациях от 0,5 до 10 мг/см<sup>2</sup> на поверхности водорослей [40]. Показана антимикробная активность галактолипидов и флоротаннинов, входящих в состав мембран и клеточных стенок *F. vesiculosus* [41]. В исследовании Neavides E. и соавторов показана ингибирующая активность экстракта *F. vesiculosus* в отношении штамма метициллинрезистентного золотистого стафилококка [42].

Сообщается о противоопухолевых свойствах экстракта балтийского *F. vesiculosus* в отношении клеток рака поджелудочной железы [42,43]. Экстракт был изготовлен из слоевищ *F. vesiculosus*, собранного в прибрежных районах западной части Балтийского моря. Ацетоное извлечение высушивали и затем разделяли с помощью жидкофазной хроматографии для выделения фракций, обладающих наибольшей антипролиферативной активностью. Фракции с наибольшей активностью способствовали сильному подавлению жизнеспособности различных линий клеток рака поджелудочной железы за счет ингибирования клеточного цикла пролиферирующих клеток. Важным является то, что экстракт не проявлял цитотоксическую активность в отношении незлокачественных клеток. Такая противоопухолевая активность экстракта может проявляться за счет флоротаннинов, фукоидана и фукоксантина, при этом некоторые исследователи особенно выделяют роль флоротаннинов [42]. Данные свидетельствуют о том, экстракт *F. vesiculosus* представляет собой многообещающий новый противоопухолевый препарат.

Таблица 2. Основные виды прибрежно-водных растений Калининградской области [7]

Table 2. Main species of coastal aquatic plants of the Kaliningrad region [7]

№ п/п	Наименование видов растений	Наиболее частые места обитания
1	Семейство рдестовые ( <i>Potamogetonaceae</i> ), род рдест ( <i>Potamogeton</i> ) — один из самых многочисленных гидрофитов в водоемах Калининградской области, представлен 17 видами и двумя гибридами; могут использоваться в виде удобрений и для кормовых целей	
1.1	Рдест курчавый ( <i>P. crispus</i> L.)	Стоячие водоемы (озера, старицы, мелиоративные каналы, пруды), районы Калининградского залива с соленостью 4,3–4,9‰
1.2	Рдест пронзеннолистный или стеблеобъемлющий ( <i>P. perfoliatus</i> L.)	Стоячие и медленно текущие водоемы (пруды, озера, карьеры, медленно текущие реки), районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
1.3	Рдест гребенчатый ( <i>P. pectinatus</i> L.)	Различные водоемы: от мелких прудов до крупных рек и озер, районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
1.4	Рдест длиннейший ( <i>P. praelongus</i> L.)	Различные водоемы: от мелких прудов до крупных рек и озер; встречается реже рдеста гребенчатого
1.5	Рдест плавающий ( <i>P. natans</i> L.)	Стоячие водоемы или водоемы с медленным течением
1.6	Рдест блестящий ( <i>P. lucens</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
2	Семейство рясковые ( <i>Lemnaceae</i> ), род ряска ( <i>Lemna</i> )	
2.1	Ряска малая ( <i>L. minor</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–4,9‰
2.2	Ряска трехдольная ( <i>L. trisulca</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–4,9‰
2.3	Ряска горбатая ( <i>L. gibba</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
3	Семейство рясковые ( <i>Lemnaceae</i> ), род многокоренник ( <i>Spirodela</i> )	
3.1	Многокоренник обыкновенный ( <i>S. polyrrhiza</i> (L.) Schleid.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3‰
4	Семейство рясковые ( <i>Lemnaceae</i> ), род вольфия ( <i>Wolffia</i> )	
4.1	Вольфия бескорешковая ( <i>W. arrhiza</i> (L.) Horkel ex Wimm.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–4,9‰
5	Семейство роголистниковые ( <i>Ceratophyllaceae</i> ), род роголистник ( <i>Ceratophyllum</i> ) — в Калининградской области установлено произрастание двух видов, образуют часто «непроходимые» заросли, создающие препятствие для движения водного транспорта	
5.1	Роголистник погруженный или темно-зеленый ( <i>C. demersum</i> L.)	Медленно текущие воды прудов, озер, мелиоративных каналов и рек, а также районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
6	Семейство лютиковые ( <i>Ranunculaceae</i> ), род калужница ( <i>Caltha</i> ) — самое распространенное растение Калининградской области; зеленые части растения, в том числе бутоны; ядовиты, но при соответствующей обработке могут быть использованы в пищу и с лекарственными целями	
6.1	Калужница болотная ( <i>C. palustris</i> L.)	В пресноводных водоемах всех типов, встречается на болотистых низинных лугах
7	Семейство лютиковые ( <i>Ranunculaceae</i> ), род водяной лютик, шелковник ( <i>Batrachium</i> ) — в водоемах Калининградской области встречается семь видов и несколько гибридов шелковников	
7.1	Шелковник волосистый ( <i>R. trichophyllum</i> (Chaix.) van den Bos.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–4,8‰
7.2	Шелковник водяной ( <i>Batrachium aquatile</i> )	Стоячие и медленно текущие воды рек, озер, прудов, а также небольшие болота с застойной водой
7.3	Шелковник обильноцветущий или щитковидный ( <i>B. floribundum</i> )	Стоячие и медленно текущие воды рек, озер, прудов, а также небольшие болота с застойной водой
7.4	Шелковник плавающий ( <i>B. fluitans</i> )	В устье Немана и Калининградского залива
8	Семейство сланоягодниковые ( <i>Haloragaceae</i> ), род уруть ( <i>Myriophyllum</i> )	
8.1	Уруть колосистая ( <i>M. spicatum</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,3–5,3‰
8.2	Уруть муточатая ( <i>M. verticillatum</i> L.)	Районы Калининградского залива с соленостью 4,8–5,3‰

Таким образом, красные, зеленые и охрофитовые водоросли, в особенности родов *Bangia*, *Furcellaria*, *Polysiphonia*, *Cladophora*, *Ulva*, *Fucus*, являются богатыми источниками биологически активных веществ антиоксидантной, антимикробной, противовирусной, антиканцерогенной, иммуномодулирующей направленности.

### 3.2. Прибрежно-водные растения Калининградской области

Высшие водные растения, преобладающие в водоемах Калининградской области, представлены преимущественно однодольными видами [7]. Среди них более 80 % приходится на гидрофиты (истинно-водные растения), которые для нормального прохождения жизненного цикла требуют постоянного контакта своего вегетативного тела с водной средой. В Таблице 2 представлены наиболее часто встречаемые виды гидрофитов, обнаруживаемые исследователями в водоемах Калининградской области.

Многие из приведенных выше прибрежно-водных растений доступны для сбора в природных условиях, интенсивно размножаются, образуя значительное количество биомассы, которая не имеет достаточного применения в различных областях промышленности, в сельском и лесном хозяйстве, рыбоводстве, медицине и др. Гидрофиты имеют высокую пищевую ценность и являются перспективным сырьем для выделения какнутрицевитиков, так и парафармацевтиков. В Таблице 3 представлен общий химический состав некоторых видов прибрежно-водных растений, которые встречаются в Калининградской области.

Таблица 3. Химический состав некоторых видов прибрежно-водных растений, % от абсолютно сухого веса [44–49]

Table 3. Chemical composition of some species of coastal aquatic plants, % of absolutely dry weight [44–49]

Растение	Протеин	Клетчатка	Жир	Безазотистые экстрактивные вещества	Зола
Рдест курчавый ( <i>P. crispus</i> L.)	22	13	2	49	14
Рдест пронзеннолистный ( <i>P. perfoliatus</i> L.)	12	17	1	60	10
Рдест плавающий ( <i>P. natans</i> L.)	14	22	4	50	10
Рдест блестящий ( <i>P. lucens</i> L.)	14	18	2	55	12
Ряска малая ( <i>L. minor</i> L.)	26	25	5	27	18
Ряска трехдольная ( <i>L. trisulca</i> L.)	30	21	3	24	22
Вольфия бескорешковая ( <i>W. arrhiza</i> (L.) Horkel ex Wimm.)	50,9	31,3	6,1	—	11,7
Роголистник темно-зеленый ( <i>C. demersum</i> L.)	18	11	1	46	23

Анализ литературных данных по химическому составу рдестов, роголистника, ряски и других прибрежно-водных растений показывает, что большинство из них содержат 12–51 % сырого протеина, 12–31 % клетчатки, 1–6 % жира, 24–60 % безазотистых экстрактивных веществ и 12–23 % минеральных веществ. В данных гидрофитах обнаружены биологически активные вещества (БАВ), которые проявляют антиоксидантные, антибактериальные, альгидные, фунгицидные и инсектицидные свойства, что представляет широкий интерес для получения биопрепаратов с заданными свойствами. В составе эфирного масла рдеста выявлено около 160, а в масле роголистника — 270 низкомолекулярных летучих органических соединений [50]. Среди них наиболее ценным выступает манол, обладающий противовирусной активностью и представляющий интерес для медицинской и парфюмерной промышленности [50]. По способности к биосинтезу манолола рдест может быть отнесен к группе растений-концентраторов.

Учеными Астраханского ГУ разработана технология выделения водно-спиртовых экстрактов из рдеста пронзеннолистного (*P. perfoliatus* L.), представляющих комбинацию БАВ [51]. Установлено, что рдест туполистный и роголистник темно-зеленый обладают антиоксидантной активностью и антибактериальным действием в отношении как грамотрицательной (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), так и грамположительной микрофлоры (*Bacillus subtilis*) [50,51]. Полученные растительные экстракты из *P. perfoliatus* L. могут быть использованы в качестве самостоятельных антибактериальных компонентов, и как источники БАВ с различными свойствами при изготовлении лечебно-профилактических напитков специального назначения, а также при производстве моющих средств [51].

Мукатовой М. Д. с соавторами запатентован способ комплексной переработки рдеста пронзеннолистного для получения в зависимости от назначения рдестина, рдестата аммония или рдестата натрия и кормовой продукции на основе травяного остатка [52]. Для этой цели пресноводную траву обрабатывают 1%-ным раствором соляной кислоты при температуре 70 °С в течение 3 ч, после чего промывают водой до достижения значения pH 7. Затем фильтрованием отделяют травяную массу и проводят экстракцию пектиновых веществ в 3 стадии 1%-ным раствором оксалата аммония при температуре 50 °С и гидромодуле 1:6 в течение 8 ч. Экстракт в первом варианте осаждают спиртом для получения рдестата аммония, во втором осаждают 10%-ным раствором соляной кислоты до достижения значения pH 2,5, получая рдестин. В третьем варианте экстракт после осаждения соляной кислотой обрабатывают 10%-ным раствором соды с получением рдестата натрия. Полученные после фильтрования в трех вариантах рдестат аммония, рдестин и рдестат натрия промывают водой, подвергают сушке при температуре 45 °С.

Для получения натуральной пищевой добавки — концентрата хлорофилла — Мукатова М. Д. с соавторами [53] предлагает измельчать и сушить рдест пронзеннолистный (*P. perfoliatus* L.), после чего проводить двойную экстракцию продолжительностью по 8 часов каждая, используя смесь гексана с этиловым спиртом в соотношении 9:1 при температуре 25–40 °С. Затем смесь следует фильтровать, отгонять растворитель, и полученный хлорофилл смешивать с маслом или раствором NaOH в этаноле. Хлорофилл оказывает воздействие на кровь, сходное с действием гемоглобина. Единственное различие в строении молекул заключается в том, что в центре хелатного комплекса хлорофилла находится атом магния, а в гемоглобине — атом железа. Хлорофилл стимулирует иммунную систему, ускоряет обмен веществ и образование грануляции эпителия при язвах и ранах, обладает гипотензивным, защитным действием при поражениях ионизирующим излучением [53].

В последнее десятилетие ряска рассматривается в научной среде как один из наиболее перспективных гидрофитов благодаря широкому возможностям ее применения. Наиболее перспективные из них — производство биотоплива (биогаза, биомасла, биоэтанола, биоводорода и др.), белков и химикатов [54,55]. Ряска все чаще признается высококачественным источником белка, а такие виды, как *L. minor* и *W. arrhiza*, содержащие до 40 % белка в пересчете на сухой вес, сопоставимы по этому показателю с традиционными растительными источниками (например, с соевыми бобами) [46,56]. Актуально изучение ее потенциала для очистки сточных вод, сельскохозяйственных и промышленных стоков, при этом одновременно возможна ее переработка в ценную биомассу для корма животных, а также получение биоудобрений или биотоплива [55]. Применение прибрежно-водных растений в пищевых или кормовых целях предполагает потенциальные риски для человека и животных, связанные со способностью гидрофитов поглощать и концентрировать загрязняющие вещества из окружающей среды, что зависит от места их произрастания и качества воды. Поэтому перед включением указанных растений в пищевые продукты требуется их предварительная обработка.

Семейство *Lemnaceae*, включающее различные виды ряски, в водоемах Калининградской области представлено не менее чем пятью видами из родов ряска (*Lemna*), многокоренник (*Spirodela*) и вольфия (*Wolffia*) [7]. Каждый вид ряски обладает уникальными характеристиками, которые делают их пригодными для различных направлений использования. Например, *Lemna* показывает эффективность при очистке сточных вод [57]. *Spirodela*, имеющая более крупные листья, идеально подходит для производства биомассы и биоэнергетического сырья. Напротив, более мелкие виды, такие как *Wolffia*, считаются более перспективными для использования в фармацевтической и пищевой промышленности благодаря высокому содержанию белка и быстрому росту [49,55,58,59]. Разнообразие свойств представителей семейства рясковых требует осознанного выбора вида в зависимости от целей и биологических характеристик.

Ряска известна своим быстрым ростом, высокой способностью усваивать питательные вещества и способностью адаптироваться к различным средам, включая сточные воды и пруды. Такие виды, как *Wolffia* и *Lemna*, могут удваиваться в течение нескольких дней при благоприятных условиях, что делает ряску экономически целесообразной для производства биомассы [60]. Средой для ее культивирования может выступать свиной и коровий навоз, разбавленный куриный помет, пищевые отходы, анаэробно сброженные сточные воды молочного производства [55]. Данное сырье в больших количествах присутствует на территории Калининградской области благодаря активному развитию сельского хозяйства за последние 10 лет, что делает актуальным исследование по выращиванию этой водной травы [60,61].

Использование ряски в качестве кормовой добавки для животных актуально из-за высокого содержания белка и минеральных веществ и ввиду малого содержания грубых волокон. По сравнению с наземными растениями, ряска содержит меньшее количество целлюлозы, поэтому лучше усваивается животными и особенно полезна для молодняка [62]. Кроме того, это растение не продуцирует ядовитых алкалоидов, содержит большое количество пигментов, к которым относятся  $\beta$ -каротин, ксантофилл, хлорофилл.

Трава является ценным ресурсом для ферментативного производства янтарной и молочной кислот [55]. Последняя является универсальным соединением, которое может быть преобразовано в пировиноградную кислоту, эфиры молочной кислоты, 1,2-пропандиол и акриловую кислоту [63]. По сравнению с другими источниками биомассы, такими как кукурузная солома, жом сахарного тростника и пищевые отходы, ряска показывает сопоставимую эффективность в производстве молочной кислоты [55]. Кроме того, ряска обладает дополнительным преимуществом: она растет на сточных водах, обеспечивая двойную выгоду — очистку сточных вод и одновременное производство биомассы. Эта характеристика делает ряску более перспективным и экологически безопасным вариантом, чем традиционные культуры, используемые для производства органической кислоты.

Ряска служит ценным источником белка, в том числе незаменимых аминокислот для питания человека [55,64]. Среди последних в ряске малой (*Lemna minor* L.) обнаружены в большем количестве незаменимые моноаминомонокарбоновые (39,71 мг/г) и заменимые моноаминодикарбоновые (32,43 мг/г), далее — заменимые моноаминомонокарбоновые (25,34 мг/г) и диаминомонокарбоновые (11,60 мг/г) и другие аминокислоты. Их отдельных представителей в общей сумме идентифицированных аминокислот преобладают аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аргинин, лейцин, аланин, валин и лизин [64]. Данные, полученные Никифоровым А. А. с соавторами [64], позволяют характеризовать ряску малую как полноценный источник комплекса протеиногенных аминокислот. Белки из ряски можно извлекать с использованием как традиционных (щелочные и кислотные процессы экстракции), так и новых технологий. К новым технологиям относится, в частности, ультразвуковая обработка, повышающая эффективность экстракции [55,65,66].

Биомасса ряски богата также сложными углеводами. Учеными предложены способы извлечения пектинов из ряски *Lemna minor*, которые полностью соответствуют характеристикам, предъявляемым к студнеобразователям, и могут быть использованы в пищевой промышленности [67]. Технология предусматривает извлечение пектина из замороженной при температуре минус 25 °С ряски *Lemna minor*. Процесс включает выдержку сырья в подкисленной воде (pH 1–2) на водяной бане при температуре 80–100 °С в течение 1–3 часов, последующую фильтрацию и осаждение пектиновых веществ 96%-ным раствором этилового спирта в соотношении 1:2–4. Далее смесь выдерживают при температуре 2–4 °С в течение 12 часов, затем полученный раствор отфильтровывают через бумажный фильтр и полученный осадок высушивают на воздухе при комнатной температуре.

Известны случаи непосредственного употребления в пищу ряски горбатой (*Lemna gibba*) и вольфии шаровидной (*Wolffia globosa*) жителями Мексики, Таиланда, Бирмы, Лаоса и Гватемалы, где она используется в качестве овоща и приправы. В России, несмотря на значительное распространение ряски в отдельных водоемах, ее практически не употребляют в пищу. В практике общественного питания зафиксировано использование ряски для приготовления салатов, супов, паст и «зеленого» масла. Тем не менее, ряска стала многообещающим ингредиентом благодаря своей высокой пищевой ценности, а также содержанию БАВ. Как ценный источник белка, ряска выступает потенциальным источником для замены яичного желтка на растительной основе, показывая хорошую усвояемость и биодоступность, при этом имитируя внешний вид яичного желтка [68]. Добавление 2% порошка ряски в мороженое увеличивает содержание в нем белка и клетчатки на 8% и 13% соответственно [69]. Аналогичным образом, было показано, что включение порошка ряски в закуски и хлеб улучшает их пищевую ценность, повышая содержание белка на 51%, незаменимых аминокислот — на 147% и пищевых волокон — на 83% [55,70]. Предложены способы выделения хлорофилла из ряски и применения его экстракта для приготовления зефира функционального назначения. Потребность человека в хлорофилле составляет 100 мг/сут. Внесение полученных добавок из ряски обеспечивает более 30% от суточной нормы потребления хлорофилла.

Благодаря высокому содержанию витамина  $B_{12}$  ряска может рассматриваться как растительная альтернатива красному мясу [71]. Антиоксидантные свойства этой травы еще больше позиционируют ее экстракты как натуральные удлинители срока годности мяс-

ных продуктов [72]. Однако зеленый цвет, возможные изменения в консистенции, pH готового продукта из-за введения в продукт ряски могут влиять на восприятие потребителями вкуса и качества. Но, несмотря на эти особенности, питательные и оздоровительные преимущества ряски значительны. Актуальной представляется задача сосредоточить будущие исследования на совершенствовании рецептур и расширении применения ряски и продуктов на ее основе в пищевой промышленности с целью повышения потребительского принятия и привлекательности таких продуктов.

Интерес к прибрежно-водным растениям, в том числе в контексте их использования в пищу, неуклонно растет. Гидрофиты, в особенности родов рдест (*Potamogeton*) и ряска (*Lemna*), являются богатыми источниками белка, сложных углеводов и биологически активных веществ антиоксидантной и антимикробной направленностей.

### 3.3. Характеристика *Stratiotes aloides* L.

Монотипный род *Stratiotes* включает в себя единственный оставшийся вид *S. aloides* L. и является представителем семейства *Hydrocharitaceae*, которое принадлежит к отряду *Alismatales*. В РФ носит название телорез алозвидный или телорез обыкновенный. Ранее насчитывалось до двадцати различных видов рода *Stratiotes* [73,74].

Свободно плавающий в водоемах со слабым течением водный макрофит является многолетним растением с розеткой многочисленных, широколинейных, жестких, по краям шиповато-игловатых листьев длиной до 40 см и шириной до 4 см, верхушкой высывающегося из воды [75]. Листья способны сильно поранить купающегося человека, это и дало название растению. В зависимости от сезона растения появляются на поверхности водоема или погружаются в толщу воды. *S. aloides* L. был определен как вегетативно-малолетний, поликарпический, укореняющийся, розеточный, стolonно-турионный, вегетативно-подвижный, надводноцветущий, мезотрофный, условно-пресновольный, детрито-пелофильный гидатофит [75–78].

Вид *S. aloides* L. широко распространен в водоемах Евразии. Его популяции в целом довольно стабильны на большей части их современного ареала [73], в том числе и на территории Калининградской области. В регионе насчитывается 339 основных водотоков общей протяженностью 5180,8 км, 945 осушительных межхозяйственных проводящих каналов общей протяженностью 3384 км, 150 озер и прудов площадью 61,0 км<sup>2</sup> [75]. Основу растительности многочисленных каналов, образующих густую сеть, составляют обширные заросли элодеи канадской, рдестов, кубышки желтой и кувшинки, шейхцерии, телореза обыкновенного, водокраса обыкновенного, ежеголовника, болотницы. Водные и наземные растения с узкой экологической валентностью страдают из-за быстрых изменений условий окружающей среды, в то время как растения с амфибийным характером имеют преимущество, поскольку они способны развиваться и адаптироваться к текущим условиям при росте как в воде, так и на суше [79]. Все это позволяет рассматривать *S. aloides* L. как перспективный малоиспользуемый сырьевой источник. В связи с этим представляет интерес изучить химический состав этого растения, включая его биологически активные вещества.

В исследованиях А. Н. Ефремова в соавторстве [80,81] установлено в фитомассе *S. aloides* L. (водоемы бассейна Среднего Иртыша) высокое содержание клетчатки, жиров, сырого протеина и золы. Масовая доля аминокислот составила 5,0%, в их составе преобладают глутаминовая кислота, изолейцин, фенилаланин, лейцин, валин (Таблицы 4 и 5).

Установлено содержание витаминов в фитомассе *S. aloides* L. (Таблица 6).

Количество жирорастворимых витаминов установлено: Е (5,9±0,9 мкг/г), А (1,3 ± 0,2 мкг/г). Данные можно использовать для обоснования использования рассматриваемого объекта как источника для получения витаминизированных премиксов к кормовым добавкам. Выявлено, что показатели качества крахмала *S. aloides* L. соответствуют требованиям нормативных документов,

Таблица 4. Общий химический состав воздушно-сухого вещества *S. aloides* L. [80]

Table 4. Total chemical composition of the air-dry substance *S. aloides* L. [80]

Компонент	Содержание, %
белок	12,8 ± 0,4
сырой протеин	14 ± 0,4
жир	0,9 ± 0,4
клетчатка	18 ± 2
зола	13 ± 2

Таблица 5. Аминокислотный состав *S. aloides* L.Table 5. Amino acid composition of *S. aloides* L.

Компонент	Содержание в воздушно-сухом веществе, %	Компонент	Содержание в воздушно-сухом веществе, %
Аспарагиновая кислота	0,40 ± 0,10	Тирозин	0,16 ± 0,04
Глутаминовая кислота	0,46 ± 0,09	Валин	0,56 ± 0,09
Серин	0,12 ± 0,03	Фенилаланин	0,50 ± 0,10
Гистидин	0,18 ± 0,04	Изолейцин	0,45 ± 0,09
Глицин	0,19 ± 0,04	Лейцин	0,60 ± 0,10
Треонин	0,11 ± 0,02	Лизин	0,20 ± 0,05
Аргинин	0,38 ± 0,09	Цистин	0,17 ± 0,04
Аланин	0,32 ± 0,08	Триптофан	0,10 ± 0,02
Метионин	0,10 ± 0,02	Всего АК	5,0

Таблица 6. Содержание водорастворимых витаминов в фитомассе *S. aloides* L. [80,81]Table 6. The content of water-soluble vitamins in the phytomass of *S. aloides* L. [80,81]

Компонент	Содержание, 10 <sup>-7</sup> г/100 г сухого вещества
B <sub>1</sub>	390 ± 10
B <sub>2</sub>	190 ± 10
B <sub>6</sub>	21 ± 1
C	770 ± 30

действующих в РФ (ГОСТ Р), что является одной из предпосылок возможного использования телореза алоэвидного (*S. aloides* L.) как источника крахмала.

Флавоноиды обладают противовоспалительными, капилляроукрепляющими, желчегонными, противолучевыми, противоопухолевыми и др. свойствами, поиск сырьевых источников для их получения с хорошей сырьевой базой является актуальной задачей. В качестве одного из таких источников может выступать *S. aloides* L. [82], в составе которого обнаружены такие флавоноиды, как рутин, лютеолин, кризоэриол.

Ряд исследований выявил, что *S. aloides* L. может быть перспективным источником для получения антоцианов (в первую очередь цианидина), лейкоантоцианов, дубильных веществ (танинов), сапонинов и антраценпроизводных углеводов [82,83].

В исследованиях установлено высокое содержание танинов в побегах *S. aloides* L. (3,1 ± 0,1%), что позволяет рассматривать его как потенциальный источник дубильных веществ, сопоставимый с такими официальными источниками, как крапива двудомная (*Urtica dioica* L.) и череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.), содержащие в своем составе танины в количестве 3,3 ± 0,17% и 5,10 ± 0,08 соответственно [84,85]. Отметим, что срок хранения высушенного сырья не влияет на содержание дубильных веществ, что важно, так как период сбора свежего *S. aloides* L. ограничен и чаще всего сырье заготавливается для дальнейшей переработки именно методом сушки.

Содержанию химических элементов в фитомассе *S. aloides* L. посвящена работа [86]. Установлено высокое количество таких важных макроэлементов, как магний, кальций и фосфор (мг/кг воздушно-сухого вещества): Mg (30850 ± 60), Ca (4490 ± 40), P (2910 ± 40). От содержания этих макроэлементов зависит качество кормов и эффективность производства животноводческой продукции [87].

### 3.4. Перспективы использования макрофитов

Макрофиты формируют растительные сообщества, занимающие значительные площади в водоемах с медленным течением. Эти со-

общества характеризуются высоким проективным покровом и быстрой скоростью накопления фитомассы. Макрофиты являются богатым источником пищевых и биологически активных веществ, что позволяет рассматривать их как перспективное и недооцененное сырье для создания биологически активных добавок, функциональных и специализированных пищевых продуктов, а также кормов для сельскохозяйственных животных с широким спектром физиологической активности [73,80,88–90].

Использование фитомассы макрофитов в кормовых целях обусловлено не только их богатым составом (полифенолы, каротиноиды, витамины, макро- и микроэлементы и др.), но и высокой ферментативной активностью (инвертазная — до 15770 ± 252,85 мг глюкозы на 0,2 г/сут. — обеспечивающая им большое количество простых углеводов; каталазная — до 45,25 ± 0,59 мл O<sub>2</sub>/г/мин — обуславливающая их антиоксидантные свойства). Исследования [88] установили, что использование фитомассы *S. aloides* L. в составе премикса в комбикормах способствует лучшему перевариванию и усвоению корма цыплятами. Это повлияло на лейкоцитарную формулу крови, ускорило рост цыплят и, как следствие, сократило сроки их выращивания.

Высокое содержание сырого протеина в составе макрофитов позволяет рассматривать объект исследования в качестве альтернативного источника пищевого белка. Альтернативные белки обладают значительным потенциалом для повышения качества рациона современного человека, а также соответствуют принципам экологичного и осознанного потребления. Согласно прогнозам, ожидается, что потребление альтернативных белков вырастет с нынешних 13 миллионов тонн в год до 97 миллионов тонн в год к 2035 году [91]. В обзоре [92] приводится обоснование использования в качестве источника растительного белка, в том числе и фитомассы съедобных водных растений, а также технологии извлечения белков из водных растений включая физические, химические/биохимические методы и их комбинации.

С ростом спроса на использование растительного белка такие источники, как водные растения и растительные побочные продукты или отходы, становятся популярными. В работах [93,94] рассматривается метод ферментативного гидролиза растительных биомасс как наиболее перспективный для получения не только легкоусвояемых растительных белков, но и для повышения пищевой ценности и придания уникального вкуса продуктам питания. Варьируя такие факторы, как выбор микроорганизмов, состав субстрата и условия ферментации, можно влиять на изменения в структуре белка для получения в том числе биоактивных пептидов.

### 4. Выводы

Таким образом, нетрадиционные пищевые растения, в том числе макрофиты экосистемы Балтийского моря, привлекают внимание исследователей из-за богатого химического состава. Однако существует необходимость в исследованиях усвояемости и биодоступности этих химических веществ в рационе животных и человека. Запасы этих водных растений достаточно велики в Балтийском море, в реках и озерах Калининградской области. После сбора растения быстро теряют влагу, а при ненадлежащем хранении и первичной переработке снижается их качество, что может ограничивать применение в пищевой промышленности. Последующие исследования могут способствовать повышению качественной и количественной оценки состава макрофитов водоемов Калининградской области. Поэтому необходимо провести дополнительные научные работы для подтверждения лекарственных и питательных свойств этого малоиспользуемого сырьевого источника. Впоследствии это может привести к целенаправленному выращиванию, заготовке и дальнейшему изучению потенциального применения макрофитов в пищевой, кормовой, медицинской и других отраслях промышленности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Maja, M.M., Ayano, S.F. (2021). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries. *Earth Systems and Environment*, 5, 271–283. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00209-6>
- Nawaz, M.A., Azam, A., Bhatti, M.A. (2019). Natural resources depletion and economic growth: Evidence from ASEAN countries. *Pakistan Journal of Economic Studies*, 2(2), 155–172.
- Rasoulnezhad, E., Taghizadeh-Hesary, F., Taghizadeh-Hesary, F. (2020). How is mortality affected by fossil fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions and economic factors in CIS region? *Energies*, 13(9), Article 2255. <https://doi.org/10.3390/en13092255>
- Solis, C.A., Mayol, A.P., San Juan, J.G., Ubando, A.T., Culaba, A.B. (2020). Multi-objective optimal synthesis of algal biorefineries toward a sustainable circular bioeconomy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463, Article 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012051>
- FAO (2023). World Food and Agriculture — Statistical Yearbook. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Ubando, A.T., Felix, C.B., Chen, W.-H. (2019). Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 299, Article 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>
- Володина, А.А., Герб, М.А., Зверева, А.Ю., Горлач, А.А. (2022). Макрофиты российской части Калининградского / Вислинского залива (бассейн

- Балтийского моря). *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки*, 4, 64–77. [Volodina, A.A., Gerb, M.A., Zvereva, A. Yu., Gorchach, A.A. (2022). Macrophytes of the Russian part of the Kaliningrad/Vistula Bay (Baltic Sea basin). *Vestnik IKBFU. Natural and Medical Sciences*, 4, 64–77. (In Russian)] <https://doi.org/10.5922/gikbfu-2022-4-6>
8. Tolpeznikaite, E., Bartkevics, V., Ruzauskas, M., Pilkaityte, R., Viskelis, P., Urbonaviciene, D. et al. (2021). Characterization of macro- and microalgae extracts bioactive compounds and micro- and macroelements transition from algae to extract.  *Foods*, 10(9), Article 2226. <https://doi.org/10.3390/foods10092226>
  9. Tolpeznikaite, E., Ruzauskas, M., Pilkaityte, R., Bartkevics, V., Zavanaviciute, P., Starkute, V. et al. (2021). Influence of fermentation on the characteristics of Baltic Sea macroalgae, including microbial profile and trace element content.  *Food Control*, 129(15), Article 108235. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108235>
  10. Kulikova, Y., Sukhikh, S., Kalashnikova, O., Chupakhin, E., Ivanova, S., Chubarov, B. et al. (2022). Assessment of the resource potential of baltic sea macroalgae.  *Applied Sciences*, 12, Article 3599. <https://doi.org/10.3390/app12073599>
  11. Rinne, H., Kostamo, K. (2022). Distribution and species composition of red algal communities in the northern Baltic Sea.  *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 269, Article 107806. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107806>
  12. Matin, M., Koszarska, M., Atanasov, A.G., Król-Szmajda, K., Artur Józwik, A., Stelmasiak A. et al. (2024). Bioactive potential of algae and algae-derived compounds: Focus on anti-inflammatory, antimicrobial, and antioxidant effects.  *Molecules*, 29(19), Article 4695. <https://doi.org/10.3390/molecules29194695>
  13. Čmiková, N., Galovičová, M., Miškeje, M., Borotová, P., Kluz, P., Kačániová, M. (2022). Determination of antioxidant, antimicrobial activity, heavy metals and elements content of seaweed extracts.  *Plants*, 11(11), Article 1493. <https://doi.org/10.3390/plants11111493>
  14. Luhlila, O., Paalme, T., Tanilas, K., Sarand, I. (2022). Omega-3 fatty acid and B12 vitamin content in Baltic algae.  *Algal Research*, 67, Article 102860. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102860>
  15. Balina, K., Ivanovs, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. (2020). Comprehensive literature review on valuable compounds and extraction technologies: The Eastern Baltic Sea Seaweeds.  *Environmental and Climate Technologies*, 24(2), 178–195. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0065>
  16. Li, C., Tang, T., Du, Y., Jiang, L., Yao, Z., Ning, L. et al. (2023). Ulvan and Ulva oligosaccharides: A systematic review of structure, preparation, biological activities and applications.  *Biore sources and Bioprocessing*, 10, Article 66. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00690-z>
  17. Romero, A.M., Morales, J.J.P., Klose, L., Liese, A. (2023). Enzyme-assisted extraction of Ulvan from the green macroalgae *Ulva fenestrata*.  *Molecules*, 28(19), Article 6781. <https://doi.org/10.3390/molecules28196781>
  18. Pari, R.F., Uju, U., Hardiningtyas, S.D., Ramadhan, W., Wakabayashi, R., Goto, M. et al. (2025). Ulva seaweed-derived Ulvan: A promising marine polysaccharide as a sustainable resource for biomaterial design.  *Marine Drugs*, 23(2), Article 56. <https://doi.org/10.3390/md23020056>
  19. Flórez-Fernández, N., Rodríguez-Coello, A., Latire, T., Bourguignon, N., Torres, M.D., Buján, M. et al. (2023). Anti-inflammatory potential of Ulvan.  *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(Part 4), Article 126936. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126936>
  20. Ou, J.-Y., Wei, Y.-J., Liu, F.-F., Huang, C.-H. (2023). Huang anti-allergic effects of Ulva-derived polysaccharides, oligosaccharides and residues in a murine model of food allergy.  *Heliyon*, 9(12), Article e22840. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22840>
  21. Khan, N., Sudhakar, K., Mamat, R. (2024). Eco-friendly nutrient from ocean: Exploring Ulva seaweed potential as a sustainable food source.  *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, Article 101239. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101239>
  22. Barakat, K.M., Ismail, M.M., Abou El Hassayeb, H.E., El Sersy, N.A., Elshobary, M.E. (2022). Chemical characterization and biological activities of Ulvan extracted from *Ulva fasciata* (Chlorophyta).  *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33, 829–841. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01103-7>
  23. Li, Y., Ye, H., Wang, T., Wang, P., Liu, R., Li, Y. et al. (2020). Characterization of low molecular weight sulfate Ulva polysaccharide and its protective effect against IBD in mice.  *Marine Drugs*, 18(10), Article 499. <https://doi.org/10.3390/md18100499>
  24. Pereira, L., Critchley, A.T. (2020). The COVID19 novel coronavirus pandemic 2020: Seaweeds to the rescue? Why does substantial, supporting research about the antiviral properties of seaweed polysaccharides seem to go unrecognized by the pharmaceutical community in these desperate times?  *Journal of Applied Phycology*, 32, 1875–1877. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02143-y>
  25. Krangkratok, W., Chantorn, S., Choosuan, P., Phomkaivon, N., La-ongkham, O., Kosawatpat, P. et al. (2023). Production of prebiotic ulvan-oligosaccharide from the green seaweed *Ulva rigida* by enzymatic hydrolysis.  *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 54, Article 102922. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102922>
  26. Liu, Z., Wang, M., Li, J., Guo, X., Guo, Q., Zhu, B. (2025). Differences in utilization and metabolism of *Ulva lactuca* polysaccharide by human gut *Bacteroides* species in the *in vitro* fermentation.  *Carbohydrate Polymers*, 351, Article 123126. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.123126>
  27. Yu, S., Sun, Y., Wang, Q., Wu, J., Liu, J. (2023). Extraction of bioactive polysaccharide from *Ulva prolifera* biomass waste toward potential biomedical application.  *International Journal of Biological Macromolecules*, 235, Article 123852. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123852>
  28. Feng, Y., An, Z., Chen, H., He, X., Wang, W., Li, X. et al. (2020). *Ulva prolifera* extract alleviates intestinal oxidative stress via Nrf2 signaling in weaned piglets challenged with hydrogen peroxide.  *Frontiers in Immunology*, 11, Article 599735. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.599735>
  29. Sun, Y.-Y., Dong, S.-S., Zhang, N.-S., Zhou, J., Long, Z.-K. (2021). Screening and isolation of glyceroglycolipids with anti-algal activity from several marine macroalgae.  *Journal of Applied Phycology*, 33(4), 2609–2616. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02466-4>
  30. Sun, Y., Mu, Y., Li, T., Wang, S., Li, Y., Liu, J. et al. (2024). Extraction, isolation and biological activity of two glycolipids from *Bangia fusco-purpurea*.  *Marine Drugs*, 22(4), Article 144. <https://doi.org/10.3390/md22040144>
  31. Pradhan, B., Patra, S., Nayak, R., Behera, C., Dash, S.R., Nayak, S. et al. (2020). Multifunctional role of fucoidan, sulfated polysaccharides in human health and disease: A journey under the sea in pursuit of potent therapeutic agents.  *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4263–4278. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.019>
  32. Zhu, Y., Wan, L., Li, W., Ni, D., Zhang, W., Yan, X. et al. (2020). Recent advances on 2'-fucosyllactose: Physiological properties, applications, and production approaches.  *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1, 2083–2092. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1850413>
  33. Hans, N., Malik, A., Naik, S. (2021). Antiviral activity of sulfated polysaccharides from marine algae and its application in combating COVID-19: Mini review.  *Biore source Technology Reports*, 13, Article 100623. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100623>
  34. Barzkar, N., Ivanova, S., Sukhikh, S., Malkov, D., Noskova, S., Babich, O. (2024). Phenolic compounds of brown algae.  *Food Bioscience*, 62, Article 105374. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105374>
  35. Cikoš, A.M., Šubarić, D., Roje, M., Babić, J., Jerković, I., Jokić, S. (2022). Recent advances on macroalgal pigments and their biological activities (2016–2021).  *Algal Research*, 65, Article 102748. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102748>
  36. Piotrowicz, Z., Tabisz, L., Leska, B., Messyasz, B., Pankiewicz, R. (2022). Comparison of the antioxidant properties of green macroalgae from diverse European water habitats by use of several semi-quantitative assays.  *Molecules*, 27(12), Article 3812. <https://doi.org/10.3390/molecules27123812>
  37. Freitas, M.V., Pacheco, D., Cotas, J., Mougá, T., Afonso, C., Pereira, L. (2022). Red seaweed pigments from a biotechnological perspective.  *Phycology*, 2(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/phycolgy2010001>
  38. Punampalam, R., Khoo, K.S., Sit, N.W. (2018). Evaluation of antioxidant properties of phycobiliproteins and phenolic compounds extracted from *Bangia atropurpurea*.  *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 14(2), 289–297. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v14n2.1096>
  39. Keramane, B., Sánchez-Camargo, A.P., Montero, L., Lainer, F., Bedjou, F., Ibanez, E. (2013). Pressurized liquid extraction of bioactive extracts with antioxidant and antibacterial activity from green, red and brown Algerian algae.  *Algal Research*, 76, Article 103293. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103293>
  40. Saha, M., Rempt, M., Grosser, K., Pohnert, G., Weinberger, F. (2011). Surface-associated fucoxanthin mediates settlement of bacterial epiphytes on the rockweed *Fucus Vesiculosus*.  *Biofouling*, 27, 423–433. <https://doi.org/10.1080/08927014.2011.580841>
  41. Buedenbender, L., Astone, F.A., Tasdemir, D. (2020). bioactive molecular networking for mapping the antimicrobial constituents of the Baltic brown alga *Fucus vesiculosus*.  *Marine Drugs*, 18(6), Article 311. <https://doi.org/10.3390/md18060311>
  42. Heavisides, E., Rouger, C., Reichel, A.F., Ulrich, C., Wenzel-Storjohann, A., Sebens, S. et al. (2018). Seasonal variations in the metabolome and bioactivity profile of *Fucus vesiculosus* extracted by an optimised, pressurised liquid extraction protocol.  *Marine Drugs*, 16(12), Article 503. <https://doi.org/10.3390/md16120503>
  43. Geisen, U., Zenthoef, M., Peipp, M., Kerber, J., Plenge, J., Managó, A. et al. (2015). Molecular mechanisms by which a *Fucus vesiculosus* extract mediates cell cycle inhibition and cell death in pancreatic cancer cells.  *Marine Drugs*, 13(7), 4470–4491. <https://doi.org/10.3390/md13074470>
  44. Ullah, H., Gul, B., Khan, H., Zeb, U. (2021). Effect of salt stress on proximate composition of duckweed (*Lemna minor* L.).  *Heliyon*, 7, Article e07399. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07399>
  45. Ullah, H., Gul, B., Khan, H., Akhtar, N., Rehman, K.U., Zeb, U. (2022). Effect of growth medium nitrogen and phosphorus on nutritional composition of *Lemna minor* (an alternative fish and poultry feed).  *BMC Plant Biology*, 22, Article 214. <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-022-03600-1>
  46. Sonta, M., Więcek, J., Szara, E., Rekiel, A., Zalewska, A., Batorska, M. (2023). Quantitative and qualitative traits of duckweed (*Lemna minor*) produced on growth media with pig slurry.  *Agronomy*, 13(7), Article 1951. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071951>
  47. Okwuosa, O.B., Eyo, J.E., Amadi-Ibiam, C.O. (2021). Growth and nutritional profile of duckweed (*Lemna minor*) cultured with different organic Manure.  *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 8(12), 7–11. <http://doi.org/10.17148/IARJSET.2021.81202>
  48. Smith, K.E., Schäfer, M., Lim, M., Robles-Zazueta, C.A., Cowan, L., Fisk, L.D. et al. (2024). Aroma and metabolite profiling in duckweeds: Exploring species and ecotypic variation to enable wider adoption as a food crop.  *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, Article 101263. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101263>
  49. Hu, Z., Fang, Y., Yi, Z., Tian, X., Li, J., Jin, Y. et al. (2022). Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions.  *LWT*, 153, Article 112477. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112477>
  50. Крылова, Ю.В., Курашов, Е.А., Митрукова, Г.Г. (2016). Компонентный состав эфирного масла *Potamogeton perfoliatus* L. из Ладжского озера в начале периода плодоношения.  *Химия растительного сырья*, 2, 79–88. [Krylova, YU.V., Kurashov, E.A., Mitrukova, G.G. (2016). The component composition of *Potamogeton perfoliatus* L. essential oil from Lake Ladoga at the beginning of the fruiting period.  *Himiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2, 79–88. (In Russian)]. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021189>
  51. Новиченко, О.В. (2016). Биологически активные вещества высших водных растений *Potamogeton perfoliatus* L. и *Zostera noltii*: состав, свойства, применение.  *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 1(67), 137–142. [Novichenko, O.V. (2016). Biologically active substances of higher aquatic plants *Potamogeton perfoliatus* L. and *Zostera noltii*: Composition, properties, application.  *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(67), 137–142. (In Russian)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-137-142>

52. Патент 2447675C2. Способ комплексной переработки пресноводной травы рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*) / Мукатова М. Д., Салиева А. Р. Опубл. 20.04.2012. [Mukatova M. D., Salieva A. R. The method of complex processing of freshwater grass is the pierced-leaved rdest (*Potamogeton perfoliatus*). Patent RF 2447675C2. 2012. (In Russian)]
53. Патент 2496813C2. Способ получения хлорофилла из высших водных растений / Мукатова М. Д., Кабанин М. И., Салиева А. Р. Опубл. 27.10.2013. [Mukatova M. D., Kabanin M. I., Salieva A. R. Method of obtaining chlorophyll from higher aquatic plants. Patent RF 2496813C2. 2013. (In Russian)]
54. Wang, S., He, G., Liu, Y., Wang, Y., Ma, Y., Fu, C. et al. (2024). A P1-like MYB transcription factor boosts biosynthesis and transport of C-glycosylated flavones in duckweed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 277(2), 134–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134138>
55. Ujong, A., Naibaho, J., Ghalamara, S., Tiwari, B.K., Hanon, S., Tiwari, U. (2024). Duckweed: Exploring its farm-to-fork potential for food production and bio-refineries. *Sustainable Food Technology*, 3(1), 54–80. <http://doi.org/10.1039/d4fb00288a>
56. Prosidee, K., Oonsivilai, R., Tira-aumphon, A., Singthong, J., Onnmetta-aree, J., Oonsivilai, A. (2023). Optimum aquaculture and drying conditions for *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. *Heliyon*, 9, Article e19730. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19730>
57. Xu, Y., Ma, S., Huang, M., Peng, M., Bog, M., Sree, S.K. et al. (2015). Species distribution, genetic diversity and barcoding in the duckweed family (Lemnaceae). *Hydrobiologia*, 743, 75–87. <http://doi.org/10.1007/s10750-014-2014-2>
58. Kutschera, U., Niklas, K.J. (2014). Darwin-wallace demons: Survival of the fastest in populations of duckweeds and the evolutionary history of an enigmatic group of angiosperms. *Plant Biology*, 17(s1), 24–32. <https://doi.org/10.1111/plb.12171>
59. Hemalatha, M., Mohan, S.V. (2022). Duckweed biorefinery – Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production. *Bioresour Technol*, 346, Article 126499. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126499>
60. Министерство сельского хозяйства Калининградской области: животноводство. Электронный ресурс: <https://mcx.gov39.ru/zhivotnovodstvo/>. Дата обращения 10 марта 2025 г. [Ministry of Agriculture of the Kaliningrad region: animal husbandry. Retrieved from: <https://mcx.gov39.ru/zhivotnovodstvo/>. Accessed March 10, 2025 (In Russian)]
61. Калининградская область. Хозяйство. Сельское хозяйство. Электронный ресурс: <https://bigenc.ru/kaliningradskaja-oblast-khoziaistvo-sel-skoe-khoziaistvo-2d43c7>. Дата обращения 10 марта 2025. [Kaliningrad region. Farming. Agricultural industry. Retrieved from: <https://bigenc.ru/kaliningradskaja-oblast-khoziaistvo-sel-skoe-khoziaistvo-2d43c7>. Accessed March 10, 2025 (In Russian)]
62. Патент № 2399298. Способ переработки бурых водорослей / Герасименко Н. И. Опубл. 20.09.2010. Бюл. № 33. [Gerasimenko N. I. A method for processing brown algae. Patent RF, no. 2399298. 2010. (In Russian)]
63. Liu, Y., Xu, H., Wang, Y., Tang, X., He, G., Wang, S. et al. (2020). A submerged duckweed mutant with abundant starch accumulation for bioethanol production. *Global Change Biology Bioenergy*, 12(12), 1078–1091. <http://doi.org/10.1111/gcbb.12746>
64. Никифоров, Л.А., Белоусов, М.В., Фурса, Н.С. (2011). Изучение аминокислотного состава ряски малой (*Lemna minor* L.). *Бюллетень сибирской медицины*, 10(5), 74–77. [Nikiforov, L.A., Belousov, M.V., Fursa, N.S. (2011). Study of amino-acid structure *Lemna minor* L. *Bulletin of Siberian Medicine*, 10(5), 74–77. (In Russian)]
65. Duangjarus, N., Chaiworapuek, W., Rachtanapun, C., Ritthiruangdej, P., Charoensiddhi, S. (2022). Antimicrobial and functional properties of duckweed (*Wolffia globosa*) protein and peptide extracts prepared by ultrasound-assisted extraction. *Foods*, 11(15), Article 2348. <https://doi.org/10.3390/foods11152348>
66. Nitiwuttithorn, C., Wongsasulak, S., Vongsawadi, P., Yongsawatdigul, J. (2024). Effects of alkaline and ultrasonication on duckweed (*Wolffia arrhiza*) protein extracts' physicochemical and techno-functional properties. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1343615. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1343615>
67. Патент 2694969C1. Способ получения пектиновых веществ из ряски *Lemna minor* / Политаева Н. А., Смятская Ю. А., Опарина А. М. Опубл. 18.07.2019. [Politaeva N. A., Smyatskaya Y. A., Oparina A. M. A method for obtaining pectin substances from *Lemna minor* duckweed. Patent RF 2694969C1. 2019. (In Russian)]
68. Vu, G., Xiang, X., Zhou, H., McClements, D.J. (2023). Lutein-fortified plant-based egg analogs designed to improve eye health: Formation, characterization, in vitro digestion, and bioaccessibility. *Foods*, 12(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/foods12010002>
69. Yahaya, N., Hamdan, N.H., Zabidi, A.R., Mohamad, A.M., Suhaimi, M.L.H., Johari, M.A.A. et al. (2022). Duckweed as a future food: Evidence from metabolite profile, nutritional and microbial analyses. *Future Foods*, 5, Article 100128. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100128>
70. On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chuppeerach, C. et al. (2023). *Wolffia globosa*-based nutritious snack formulation with high protein and dietary fiber contents. *Foods*, 12(14), Article 2647. <https://doi.org/10.3390/foods12142647>
71. Sela, I., Meir, A.Y., Brandis, A., Krajalnink-Brown, R., Zeibich, L., Chang, D. et al. (2020). *Wolffia globosa* – *Mankai* plant-based protein contains bioactive vitamin B<sub>12</sub> and is well absorbed in humans. *Nutrients*, 12(10), Article 3067. <https://doi.org/10.3390/nu12103067>
72. Rocchetti, G., Rebecchi, A., Zhang, L., Dallolio, M., Del Buono, D., Freschi, G. et al. (2023). The effect of common duckweed (*Lemna minor* L.) extract on the shelf-life of beef burgers stored in modified atmosphere packs: A metabolomics approach. *Food Chemistry: X*, 20, Article 101013. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101013>
73. Efremov, A.N., Sviridenko, B.F., Toma, C., Mesterházy, A., Murashko, Y.A. (2019). Ecology of *Stratiotes aloides* L. (Hydrocharitaceae) in Eurasia. *Flora*, 253, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.03.009>
74. Cook, C.D.K., Urmi-König, K. (1983). A revision of the genus *Stratiotes* (hydrocharitaceae). *Aquatic Botany*, 16(3), 213–249. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90035-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90035-9)
75. Ефремов, А.Н., Свириденко, Б.Ф. (2008) Экобиоморфа телореза обыкновенного *Stratiotes abides* L. (Hydrocharitaceae) в Западно-Сибирской части ареала. *Биология внутренних вод*, 3, 29–34. [Efremov, A.N., Sviridenko, B.F. (2008). Ecobiomorph of the common watercreeper *Stratiotes abides* L. (Hydrocharitaceae) in the West Siberian part of its range. *Biologiya Vnutrennikh Vod*, 3, 29–34. (In Russian)]
76. Бобров, Ю.А. (2017). Жизненные формы водных трав Северо-Востока Европейской России. *Arctic Environmental Research*, 17(2), 104–112. [Bobrov, Yu. A. Growth forms of Aquatic herbs in the Northeast of European Russia. *Arctic Environmental Research*, 17(2), 104–112. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.104>
77. Ефремов, А.Н., Филоненко, А.В., Свириденко, Б.Ф. (2015). Анатомия и морфология репродуктивных органов *Stratiotes aloides* L. (Hydrocharitaceae). *Биология внутренних вод*, 4, 1223. [Efremov, A.N., Filonenko, A.V., Sviridenko, B.F. (2015). Anatomy and morphology of the reproductive organs of *Stratiotes aloides* L. (Hydrocharitaceae). *Biologiya Vnutrennikh Vod*, 4, 12–23. (In Russian.)] <https://doi.org/10.7868/S0320965215040051>
78. Turner, B., Hameister, S., Hudler, A., Bernhardt, K.-G. (2021). Genetic diversity of *Stratiotes aloides* L. (Hydrocharitaceae) stands across Europe. *Plants*, 10(5), Article 863. <https://doi.org/10.3390/plants10050863>
79. Germ, M., Gaberščik, A. (2025). Water or dry land – that is not a question for amphibious plant species. *International Journal of Limnology*, 61, Article 1. <https://doi.org/10.1051/limn/2024025>
80. Ефремов, А.Н., Бельгибаева, А.М., Алехина, Е.А., Филимонова, М.В., Свириденко, Б.Ф., Шалыгин, С.П. и др. (2012). Компонентный состав *Stratiotes aloides* (Hydrocharitaceae) в водоемах бассейна Среднего Иртыша. *Химия растительного сырья*, 4, 161–166. [Efremov, A.N., Belgibaeva, A.M., Alyokhina, E.A., Filimonova, M.V., Sviridenko, B.F., Shalygin, S.P. et al. (2012). Composition structure of *Stratiotes aloides* (Hydrocharitaceae) in water bodies of the Medium Irtysh basin. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 161–166. (In Russian)]
81. Ефремов, А.Н., Алехина, Е.А., Иминова, Д.Е., Омаргалиева, Н.К. (2016). К вопросу о содержании аминокислот и водорастворимых витаминов у некоторых представителей семейства Hydrocharitaceae. *Химия растительного сырья*, 1, 85–91. [Efremov, A.N., Alyokhina, E.A., Pimenova, D.E., Omargalieva, N.K. (2016). On the question of the amino acids and water-soluble vitamins content in some species of the family Hydrocharitaceae. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 85–91. (In Russian)]. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201601924>
82. Алехина, Е. А. Ефремов, А.Н., Емельянова, О.А. (2018). Растения семейства Hydrocharitaceae – новый источник дубильных веществ? *Химия растительного сырья*, 3, 179–184. [Alyokhina, E. A. Efremov, A.N., Yemelyanova, O.A. (2018). Are the plants of the family Hydrocharitaceae a new source of tannins? *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 3, 179–184 (In Russian)]. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033723>
83. Kotelnaya, Ya.I., Alekhina, E.A., Efremov, A. N. Bolotova Ya, V., Guselnikova, M.V., Nilolaenko S. A. et al. (2019). Notes on the saponins in the plants of the family Hydrocharitaceae. *Botanica Pacifica: A Journal of Plant Science and Conservation*, 8(1), 57–61. <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08101>
84. Исаякина, Н.В., Коломиец, Н.Э., Абрамеч, Н.Ю., Марын, А.А. (2022) Исследование травы крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), произрастающей в некоторых районах Европейской части России и Сибири. *Химия растительного сырья*, 3, 127–138. [Isaykina, N.V., Kolomiets N. E., Abramets, N. Yu., Maryin, A.A. (2022) Study of stinging nettle herb (*Urtica dioica* L.), growing in some areas of the European part of Russia and Siberia. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 3, 127–138. (In Russian)]. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310873>
85. Рябинина, Е.И., Зотова, Е.Е., Пономарева, Н.И. (2012). Потенциометрическое определение дубильных веществ в лекарственном растительном сырье. *Фармация*, 2, 8–10. [Ryabinina, E.I., Zotova, E.E., Ponomareva, N.I. (2012). Potentiometric determination of tannins in medicinal plant raw materials. *Farmatsiya*, 2, 8–10. (In Russian)]
86. Ефремов, А.Н., Иминова, Д.Е., Алехина, Е.А., Дюсембаев, С.Т. (2017). Содержание химических элементов в фитомассе некоторых представителей семейства Hydrocharitaceae. *Химия растительного сырья*, 1, 107–111. [Efremov, A.N., Iminova, D.E., Alyokhina, E.A., Dyusembaev, S.T. (2017). The content of chemical elements in biomass of some species of the Hydrocharitaceae family. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 107–111. (In Russian)]. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017011294>
87. Байкалова, Л.П., Горбачев, И.А. (2019). Влияние видового состава трав на содержание макроэлементов и кормовых единиц в пастбищных кормах. *Вестник КРАСГАУ*, 11(152), 90–97. [Baykalova, L.P., Gorbachev, I.A. (2019). The influence of species composition of grasses on the content of macroelements and fodder units in pasture feed. *Bulletin of KrasGAU*, 11(152), 90–97 (In Russian)]. <https://doi.org/10.36718/1819-4056-2019-11-90-97>
88. Рабинович, Г.Ю., Васильева, Е.А. (2024). Создание и перспективы использования препаратов для кормопроизводства и животноводства. *Аграрный научный журнал*, 8, 95–102. [Rabinovich, G. Yu., Vasilyeva, E.A. (2024). Creation and prospects for the use of drugs for feed production and livestock livestock farming. *The Agrarian Scientific Journal*, 8, 95–102 (In Russian)]. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i8pp95-102>
89. Рабинович, Г.Ю., Васильева, Е.А. (2019). Разработка премикса с адаптогенными свойствами и его апробация. *Достижения науки и техники АПК*, 33(8), 72–76. [Rabinovich, G. Yu., Vasilyeva, E.A. (2019). Development and testing of premix with adaptogenic properties. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 33(8), 72–76. (In Russian)]. <https://doi.org/10.24411/0255-2451-2019-10816>
90. Lima, N.P., Maciel, G.M., Pinheiro, D.F., Ribeiro I. S., Lima, N.F., Liviz, C.A.M. et al. (2025). Innovative protein sources from freshwater and marine environments – A comprehensive review. *Measurement: Food*, 17, Article 100215. <https://doi.org/10.1016/j.meaf.2025.100215>

91. Morach, B., Witte, B., Walker, D., von Koeller, E., Grosse-Holz, F., Rogg, J. et al. (2021). Food for thought: The protein transformation. *Industrial Biotechnology*, 17(3), 125–135. <https://doi.org/10.1089/ind.2021.29245.bwi>
92. Li, Y., Xiang, N., Zhu, Y., Yang, M., Shi, C., Tang, Y. et al. (2024). Blue source-based food alternative proteins: Exploring aquatic plant-based and cell-based sources for sustainable nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 147, Article 104439. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104439>
93. Raja, K., Kadirvel, V., Subramanian, T. (2022). Seaweeds, an aquatic plant-based protein for sustainable nutrition – A review. *Future Foods*, 5, Article 100142. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100142>
94. Farid, M.S., Anjum, R., Yang, Y., Tu, M., Zhang, T., Pan, D. et al. (2024). Recent trends in fermented plant-based analogues and products, bioactive peptides, and novel technologies-assisted fermentation. *Trends in Food Science and Technology*, 149, Article 104529. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104529>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<b>Ульрих Елена Викторовна</b> — доктор технических наук, профессор, кафедра инжиниринга технологического оборудования, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-99-53-40 E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-4107-7277">http://orcid.org/0000-0003-4107-7277</a>	<b>Elena V. Ulrikh</b> , Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-99-53-40 E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-4107-7277">http://orcid.org/0000-0003-4107-7277</a>
<b>Ключко Наталия Юрьевна</b> — кандидат технических наук, доцент, кафедра пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-56-48-07 E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-6708-9674">http://orcid.org/0000-0002-6708-9674</a>	<b>Nataliya Yu. Klyuchko</b> , Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-56-48-07 E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-6708-9674">http://orcid.org/0000-0002-6708-9674</a>
<b>Агафонова Светлана Викторовна</b> — кандидат технических наук, доцент, кафедра пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-56-48-07 E-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-5992-414X">http://orcid.org/0000-0002-5992-414X</a> * автор для контактов	<b>Svetlana V. Agafonova</b> , Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-56-48-07 E-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-5992-414X">http://orcid.org/0000-0002-5992-414X</a> * corresponding author
<b>Землякова Евгения Сергеевна</b> — кандидат технических наук, доцент, кафедра пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-93-53-50 E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-0974-3914">http://orcid.org/0000-0002-0974-3914</a>	<b>Evgeniya S. Zemlyakova</b> , Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-93-53-50 E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-0974-3914">http://orcid.org/0000-0002-0974-3914</a>
<b>Сухих Станислав Алексеевич</b> — доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-960-903-62-81 E-mail: stas-asp@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-7910-8388">http://orcid.org/0000-0001-7910-8388</a>	<b>Stanislav A. Sukhikh</b> , Doctor of Technical Sciences., Associate Professor, Head of Laboratory, Immanuel Kant Baltic Federal University 236041, 14, Nevsky str., Kaliningrad, Russia Tel.: +7-960-903-62-81 E-mail: stas-asp@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-7910-8388">http://orcid.org/0000-0001-7910-8388</a>
<b>Качанова Анжелика Валерьевна</b> — аспирант, кафедра пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-56-48-07 E-mail: asunyaykina54@gmail.com ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0006-1290-0577">http://orcid.org/0009-0006-1290-0577</a>	<b>Anzhelika V. Kachanova</b> , Graduate Student, Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-56-48-07 E-mail: asunyaykina54@gmail.com ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0006-1290-0577">http://orcid.org/0009-0006-1290-0577</a>
<b>Федорова Олеся Сергеевна</b> — студент, кафедра пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-4012-56-48-07 E-mail: olesya.student.fedorova@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0006-8226-1408">http://orcid.org/0009-0006-8226-1408</a>	<b>Olesya S. Fedorova</b> , Student, Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-4012-56-48-07 E-mail: olesya.student.fedorova@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0006-8226-1408">http://orcid.org/0009-0006-8226-1408</a>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The authors are equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.