

МАКРОВОДОРОСЛИ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ: БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЗНАЧЕНИЕ

(С.А. Судник, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ», директор НОЦ им. проф. Н.С. Гаевской)

Водоросли – древнейшие представители растительного мира, играющие важную роль в экологии морей, особенно их прибрежной зоны. Водоросли – ключевые организмы Балтийского моря, продуцирующие первичное органическое вещество, служат пищей и укрытием для многочисленных беспозвоночных, создают среду обитания для рыб, особенно молоди, места нереста, являются субстратом для прикрепления сидячих животных (эпифитона), кладок яиц водных животных [2, 4, 14].

В данном обзоре речь пойдет о бентосных макроводорослях (относятся к макрофитам). Они способны обитать на твердых грунтах, прикрепляясь к ним специальными органами (ризоидами, подошвами, присосками), или на мягких илисто-песчаных грунтах, формируя пласты и скопления неприкрепленных водорослей [2].

В целом, в Балтийском море насчитывают более 450 видов макроводорослей [1]. Несмотря на низкую солёность Балтики (7–8 PSU), в российском секторе Юго-Восточной Балтики зафиксировано около 35 видов макроводорослей: 13 – зеленых водорослей (отдел Chlorophyta), 11 – красных водорослей (багрянок) (отдел Rhodophyta), 11 – бурых водорослей (Phaeophyceae – класс охрофитовых водорослей, отдел Ochrophyta), 1 вид харовых водорослей (отдел Charophyta); из них около 16 видов относятся к регионально редким, а еще пять – к видам, находящимся под угрозой исчезновения или, возможно, исчезнувшим видам (в обзоре упоминаются также ряд водорослей заливов) [4, 5, 16]. Градиент солёности от пролива Большой Бельт к центральной Балтике приводит к резкому сокращению видового разнообразия макроводорослей: при падении солёности до 8 PSU число видов уменьшается примерно на 50 %, а до 7 PSU – на 75 % [38].

Балтийское море отличается изменчивым биоразнообразием макроводорослей: на мелководье (0–3 м) преобладают мелкие однолетние зеленые водоросли и виды бурых водорослей, красные водоросли редки и необильны; в сублиторали (3–10 м), больше на каменистых грунтах, чаще встречаются многолетние красные и бурые водоросли, доминируют виды багрянок. В целом, обширные заросли многолетних водорослей развиты на скалистых участках Швеции, Финляндии и Эстонии, на илистых пляжах Польши и Латвии количество видов и их обилие меньше [4-6, 38].

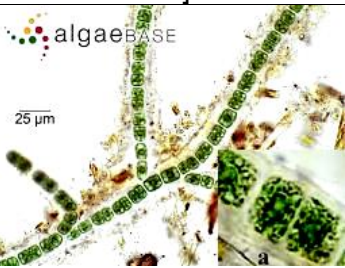
Основные группы и виды водорослей Балтийского моря

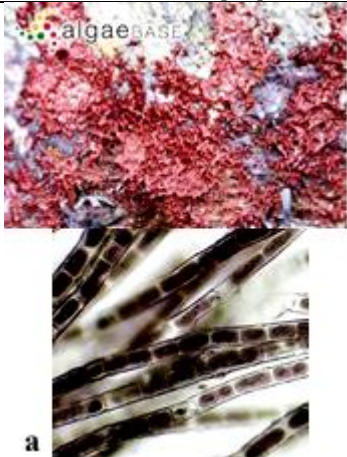
В таблице приведено описание некоторых характерных видов макроводорослей российской части Юго-Восточной Балтики по четырем таксономическим отделам; указаны их размеры, типичные глубины обитания,

предлагаемый статус охраны в водах российской части юго-восточной Балтики, данные по промыслу и практическому применению.

Таблица – Макроводоросли российской части Юго-Восточной Балтики (ЮВБ) и ее заливов [1, 4-6, 12, 13, 17, 24, 27, 28, 34-39]

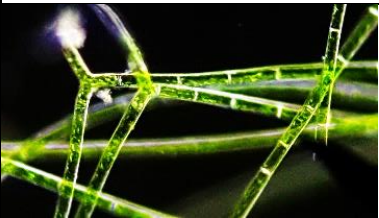
Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
Отдел Красные водоросли (Rhodophyta)							
<i>Gaillona rosea</i> (Roth) Athanasiadis – гаиллона розовая		до 2–6 см	до 0,5 м	вероятно, категория 3 – редкий вид	не обилён (проектное покрытие – 1 %)	промысел отсутствует	используется в биоиндикации
<i>Bangiadulcis atropurpurea</i> (Roth) Agardh. (<i>Bangia atropurpurea</i> (Roth) C. Agardh – бангиядильцис чёрно-пурпурный)		до 10 см	до 0,2 м	широко распространён в ЮВБ (на 2012 г.)	биомасса в целом – до 0,2 кг/м ²		может быть источником антиоксидантов; применяться в очистке сточных вод
<i>Ceramium tenuicorne</i> (Kutzing) Waern (C. <i>gobii</i> Waern.) – церамиум тонкорогий		до 5–10 см	0–5 м	обычный (широко распространён)	встречается на водорослях, теле гидробионтов		используется в биоиндикации, в биотестировании

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Ceramium virgatum</i> Roth. (<i>C. nodulosum</i> (Lightfoot.) Duduzeau; <i>C. rubrum</i> C. Agardh.) – церамиум красный	 а – корковый слой покрывает слоевище [19, 24]	до 30 см	0–3 м	категория 3 – редкий вид			используется в декоре интерьеров
<i>Chroodactylon ornatum</i> (C. Agardh) Basson	 а – часть нити, увелич. [24, 39]	до 0,4 см	до 6 м	категория 3 – редкий вид	эпифитно на других макроводорослях это не обилие		используется в биоиндикации
<i>Coccotylus truncatus</i> (Pallas) M. J. Wynne, J.N. Heine – коккотилиус усеченный	 [24]	до 10 см	2–12 м	категория 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения	частота встречаемости, проективное покрытие и биомасса малы		сырьё для каррагинанов
<i>Furcellaria lumbricalis</i> (Turner) Lamouroux – фурцеллярия червеобразная	 [22]	до 30 см	5–9 м	категория 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения	массовый на отдельных участках на глубине до 5 м, составляет ~60–73 %	Балтика: сбор тралом (Эстония; квоты)	источник фуруцеллярана (вид каррагинана), используется как стабилизатор в пищевой, косметической отраслях

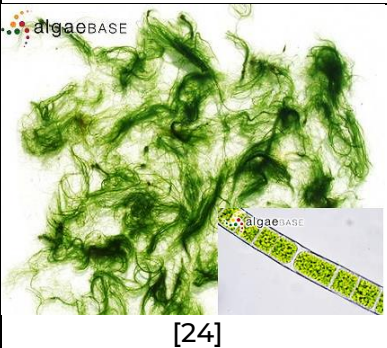
Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
					биомассы ассоциаций		
<i>Hildenbrandia rubra</i> (Sommerfelt) Meneghini – гильденбрандия красная	 [23]	толщина слоевища – менее 0,5 мм	0–30 м	категория 3 – редкий вид	обильный вид	промысел отсутствует	может использоваться в биоиндикации
<i>Vertebrata fucoides</i> (Hudson) Kuntze – полисифония чернеющая	 а - членики образованы перичентральными клетками [24]	до 25–30 см	0–10 м	обычный (широко распространён)	сухая фитомасса может достигать 1503 г/м ²		сырьё для каррагинанов; в биоиндикации; в кормовых добавках и удобрениях
<i>Rhodochorton purpureum</i> (Lightfoot) Rosenvinge – родохортон пурпурный	 а	до 5–10 мм	до 28 м	статус не ясен	–		фикобилиновые пигменты могут использоваться в качестве источников антиоксидантов, в пищевой, парфюмерной, медицинской промышленности; модельный объект для изучения процессов ангидробиоза

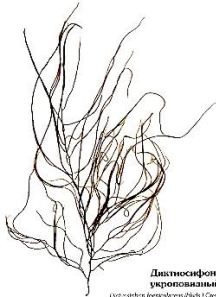
Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
	а – вид нитей [24, 31]						
<i>Rhodomela confervoides</i> (Hudson) P.C. Silva – родомела обыкновенная	 а – апикальные клетки [31]	до 30 см	до 15 м				бромфенолы могут использоваться в медицине, фармацевтике, пищевой промышленности (защита продуктов от порчи)
Отдел Зелёные водоросли (Chlorophyta)							
<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kützinger – кладофора сборная	 [24]	до 50–100 см (ветвящиеся нитки)	0–5 м	обычный (широко распространён)	образует густые заросли на литорали	промысел отсутствует	в косметологии, фармацевтике (источник антимикробных и антиоксидантных средств), сельском хозяйстве (удобрения), кормовых добавках, производстве (биоуголь, разлагаемые пластики, материалы для оптоэлектроники и другие продукты), строительстве (повышает пластичность бетона), в качестве субстрата в аквакультуре, в биоиндикации

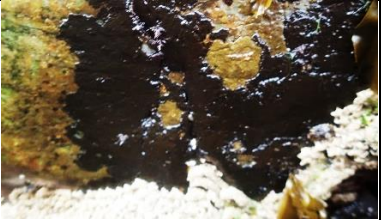
Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Cladophora rupestris</i> (L.) Kützinger – кладофора скальная	 [26]	до 20 см	до 15 м	в водах ЮВБ категория 3 – редкий вид	до 1450 г сухой массы/м ² (Финский залив); в составе водорослевых матов могут занимать площади до 30 га, толщиной более 1 м	промысел отсутствует	в пищевой промышленности (белковые добавки), биотехнологии (производство биоразлагаемых материалов), очистке сточных вод, изготовление кормовых добавок, биогаза, в строительстве
<i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützinger – кладофора шаровидная	 [24]		–				
<i>Gayralia oxysperma</i> (Kützinger) K. L. Vinogradova ex Scagel et al.	 [26]	до 14 см	литораль	категория 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения	находка (2016 г.) – литоральная ванна, Балтийская коса (N 54° 38' 16.3", E 19° 52' 39.0")		может использоваться в медицине, фармацевтической, косметической промышленности, производстве пищевых добавок, в составе удобрений в сельском хозяйстве, в производстве биотоплива
<i>Pringsheimiella scutata</i> (Reinke) Marschew – прингсхеймиелла щитовидная	 [32]	–	эпифит	статус не ясен	–		–

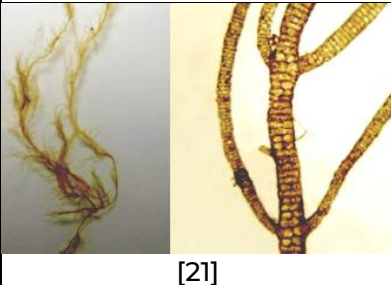
Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Rhizoclonium implexum</i> (Dillwyn) Kützinger – ризоклониум переплетённый	 [26]	ширина нитей шириной до 60 мкм	до 3 м	характерен для заливов, категория 3 – редкий вид	не обилён		–
<i>Syncoryne reinkei</i> Nielsen et Pedersen	 [25]	–	до 6 м	характерен для заливов, статус не ясен			–
<i>Ulothrix subflaccida</i> Wille – улотрикс	 а [24, 31]	до неск. сантиметров	в приливно-отливной зоне	категория 3 – редкий вид	не обилён	промысел отсутствует	в биоиндикации, медицине, пищевой, парфюмерной промышленности (альгиновая кислота)
<i>Ulothrix zonata</i> (Web et Mohr) Kützinger – улотрикс опоясанный	 [24]	до 30–70 см		характерен для опреснённых заливов, статус не ясен	в составе водорослевых матов могут занимать площади до 30 га, толщиной более 1 м		возможно применение в очистке загрязнённых вод, в качестве кормовых добавок, источника физиологически активных веществ, в научных исследованиях

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen – ульва травяная	 а, б – таллом увелич., клетки [24, 36]	до 60 см	в мелководных и открытых местах	категория 3 – редкий вид	–		в биоиндикации, сельском хозяйстве (удобрения, стимуляторы роста), марикультуре (кормовые добавки), медицине, косметологии, получение фикоколлоидов (от пищевой промышленности до машиностроения).
<i>Ulva intestinalis</i> L. – ульва кишечная	 а – клетка с хроматофором [26, 31]	до 20 см	0–3 м	обычный (широко распространён)	в составе приливной биомассы водорослей	в Балтике не промысловый; в водах Атлантики – сбор для еды и удобрений	пищевой продукт (<i>U. intestinalis</i> , во многих странах) и в пищевой промышленности; в биоиндикации, аквариумистике, медицине, биоактивные полисахариды могут использоваться в биотехнологических процессах в косметологии, фармацевтике, производстве биотоплива, для обработки биологических отходов, в кормах для животных
<i>Ulva prolifera</i> O.F. Müller – ульва прорастающая	 [37]	до нескольких метров	до 1 м (3–5 м)		встречается в большом количестве	промысел отсутствует; культивируют в Японии, Корее и Китае	

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Urospora penicilliformis</i> (A.W. Roth) J.E. Areschoug – уроспора кисточковидная		до 5 см	до 5 м			промысел отсутствует	в пищу, в народной медицине (как иммуностимулятор), в художественно-прикладном творчестве (для создания красок)
Отдел Харовые водоросли (Charophyta)							
<i>Chara inconnexa</i> Allen – хара		до 4–11 см	до 2,5 м	единичные находки (Куршский залив); категория 3 – редкий вид	локальные заросли	промысел отсутствует	в качестве известняк содержащего удобрения; в пищевой промышленности (сахароварении); в медицине (лечебные грязи; объект для физиологических и биофизических исследований; пища для водоплавающих птиц.
Класс Бурые водоросли (Phaeophyceae), отдел Охрофитовые (Ochromphyta)							
<i>Battersia arctica</i> (Harvey) Draisma – баттерсия арктическая		до 2–8 (15) см	1–22 м (обильна с 3–7 м), на камнях и растениях	широко распространен в Балтике; в водах ЮВБ – 3 категория – редкий вид	в Балтике – от больших площадей до следовых количеств (в водах ЮВБ)	промысел отсутствует	в биоиндикации, научных исследованиях (генетических; изучение морфогенеза растений, экспериментальные работы по оценке воздействия стрессовых факторов)

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Dictyosiphon foeniculaceus</i> (Hudson) Greville – диктиосифон укроповидный	 [8]	до 20–30 см	до 2 м	статус не ясен	на камнях, эпифит на фукусе		объект научных исследований (полового размножения, выработки полового феромона), возможно использование в промышленности для получения альгинатов.
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngbye (<i>Ectocarpus confervoides</i> (Roth) Le Jolis) – эктокарпус стручковый	 [24]	1 – неск. см (искл. – 20 см)		локально редкий	эпифит, эпибионт		модельный организм для применения генетических и геномных подходов к бурым водорослям
<i>Elachista fucicola</i> (Velley) Areschoug – элахиста фукусовая	 элахиста на фукусе (слева) и отдельно (справа) [24]	чаще до 2 см	литораль, сублитораль	только в штормовых выбросах на фукусе – возможно, исчезнувший вид	эпифит на фукусе		–
<i>Fucus vesiculosus</i> L. – фукус пузырчатый	 а – часть веточки, увелич. [24]	до 15–150 см	0–10 м	в целом – ценозообразующий вид Балтийского моря; в водах ЮВБ: категория 0 – вероятно, исчезнувший вид	только в штормовых выбросах	Балтика: не используется (во всем регионе редок); Атлантика: вылавливается вручную для производства альгинатов	в сельском хозяйстве – удобрение и кормовая добавка в птицеводстве; сырьё для альгинатов – в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности; в биоиндикации; объект научных исследований гидроценозов Балтийского моря

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
<i>Halosiphon tomentosus</i> (Lyngb.) Jaasund – халосифон	 а – часть веточки, увелич. [24]	от 3 до 30 см	в Балтике – 1–15 м	категория 3 – редкий вид	доля вида в пробах макроводорослей в ЮВБ, в среднем – 18%	промысел отсутствует	может быть использован как удобрение для дюнных растений на косах, удобрение на нарушенных в результате строительных работ почвах.
<i>Pilayella littoralis</i> (L.) Kjellman – пилаелла прибрежная	 [30]	до 5 см	0–3 м (доминирует на глубине 0,5 м)	обычный (широко распространенный)	эпифит, эпибионт		в биоиндикации (признак эвтрофикации), в качестве биосорбента при очистке загрязненных тяжелыми металлами вод.
<i>Pseudolithoderma subextensum</i> (Waern) S. Lund – псевдолитодерма подрастанутая	 [26]	корковатая, толщ. на 1–2 мм.	до 0,5 м	категория 3 — редкий вид	на камнях		может использоваться в биоиндикации (чувствителен к органическому загрязнению)
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link – скитосифон коленчатый	 [24]	длинной чаще до 4–20 см	до глубины 2 м, на каменистых грунтах	статус в ЮВБ не ясен	формирует небольшие самостоятельные или смешанные заросли		в юго-восточной Азии молодые водоросли – в пищу; в народной медицине как общеукрепляющее средство (содержит витамины группы В, минеральные вещества, альгинаты), может использоваться в пищевой

Вид	Изображение	Размеры	Глубина обитания	Распространение вида	Обилие	Промысел (Балтика / другие моря)	Практическое значение
							промышленности, косметологии
<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh – сфацелярия усатая		длина до 50 мм	литораль	в Балтийском море широко распространен, в водах ЮВБ: категория 3 — редкий вид	на камнях, эпифит на фукусе		содержат каротин, хлорофилл а, фукоксантин, сульфатированные полисахариды – возможно использование в аквакультуре; в фармацевтике (производство биологически активных добавок); альгинаты применяют в пищевой промышленности
<i>Stictyosiphon tortilis</i> (Goby) Reinke – стиктиосифон скрученный		высота до 18 см	в Балтике – 0–17 м	в водах ЮВБ: категория 3 — редкий вид	эпифит на фукусе		может использоваться в биоиндикации (чувствителен к органическому загрязнению); объект научных исследований (цитология)

Красные водоросли (*Rhodophyta*)

Красные водоросли в юго-восточной Балтике представлены различными формами: тонкими нитчатыми (преобладают), пластинчатыми, корковидными. Из них важнейшие – многолетние виды, образующие густые заросли на каменистом дне. *Furcellaria lumbricalis* (фурцеллярия червеобразная [11]) в целом в Балтийском море способна формировать плотные ковры из прикрепленных и свободно лежащих слоев (вид составляет до 60–70 % биомассы отдельных сообществ) [38], чего из-за отсутствия благоприятных условиях для вида не происходит в водах ЮВБ. *Vertebrata fucoides* (полисифония чернеющая) также значима, как и фурцеллярия и во многих участках единственного местообитания фурцеллярии, полисифония заменила фурцеллярию. *Ceramium tenuicorne* (церамиум прямостоячий) – менее массовый вид. *Chroodactylon ornatum* (хроодактилон) – отмечается гораздо реже, в следовых количествах. Виды *F. lumbricalis*, *C. tenuicorne*, *Ceramium virgatum*, *Coccotylus truncatus* и *Vertebrata fucoides* встречаются в штормовых выбросах [7].

Красные водоросли – объекты изучения: они – хорошие индикаторы экологического состояния среды, в том числе Балтийского моря, источники ценных полисахаридов каррагинанов, используемых в пищевой промышленности в качестве стабилизаторов и структурирующих добавок при изготовлении кондитерских, мясных и молочных изделий, изучаются также с связи с их способностью связывать ионы металлов (например, стронция и цезия), что позволяет рассматривать красные водоросли как основу для разработки лекарственных препаратов с радиопротекторным действием [4-6, 12, 13, 34, 35].

Зеленые водоросли (*Chlorophyta*)

Зелёные нитчатые водоросли – обычные обитатели мелководий Балтийского моря. В российском секторе Юго-Восточной Балтики широко распространены *Cladophora glomerata* (кладофора сборная) и *Cladophora rupestris* (кладофора скальная) (встречаются на камнях, водорослях, теле гидробионтов), виды «морского салата» *Ulva intestinalis* и *Ulva prolifera* (на камнях, песке водорослях), а также *Urospora penicilliformis* (уроспора кисточковидная) (на камнях, гидробионтах). На малых глубинах (0–3 м) доминируют *C. glomerata* и *U. intestinalis* – они быстро растут при высоком уровне питательных веществ и даже при варьирующей солёности и прозрачности воды могут образовывать богатые заросли вдоль берега [3-7, 10, 15].

Зеленые водоросли известны как источник питания для рыб и беспозвоночных, при этом их чрезмерное разрастание может привести к эвтрофикации водоёма, нарушению экологического баланса.

Как правило, зеленые водоросли в Балтике не имеют коммерческого промысла, но в целом, имеют практическое значение в разных сферах. Зарослевые формы видов родов *Cladophora* и *Ulva* сигнализируют о среде, насыщенной биогенными элементами, уровень обилия видов кладофоры и ульвы учитывается при оценке эвтрофности вод. Так, большой зеленый прилив с *Ulva prolifera* в Циндао, Китай в 2008 г. нанес ущерб рыболовству примерно на 100 млн. долларов [3]. С другой стороны исследования показали, что виды рода *Cladophora* показывает хорошие биоаккумулирующие свойства – их часто рекомендуют для удаления ионов металлов из воды, они – инструмент для биоремедиации загрязнённых водоёмов, стоков животноводческих комплексов (активно вбирает в себя азот и фосфор). В кладофоре содержится значительное количество биологически активных соединений для фармацевтической, нутрицевтической, пищевой и косметической промышленности. В сельском хозяйстве кладофору применяют в качестве кормовой добавки для коров, кроликов и птицы, в составе высокоминерализованных удобрений. В медицине запланировано создание на основе кладофоры новых материалов для производства биосовместимых имплантатов и перевязочных материалов, получение из нее каротиноидов биологически активных веществ – антиоксидантов. В аквариумистике и аквакультуре принято использование кладофоры в качестве фильтра воды и субстрата для мальков рыб и креветок в нерестовых отсадниках, а также – декоративное применение.

Виды *C. glomerata*, *C. rupestris*, *Cladophora sericea*, *U. penicilliformis*, *U. intestinalis* и *U. prolifera* встречаются в выбросах на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря [8].

Для *Ulva intestinalis* в Балтийском море польские альгологи предлагают выращивание, с использованием ярусной технологии, в мелководных прибрежных районах, характеризующихся высокой концентрацией питательных веществ. Предварительные расчеты показывают, что выращивание макроводорослей на юго-востоке и востоке Балтийского моря (Польша, Латвия, Эстония) довольно затратны. В зависимости от принятых входных параметров, себестоимость 1 кг свежей ульвы колеблется от 0,23 €/кг (при продуктивности 87 т/га) до 1,0 €/кг (при урожайности в 9,8 т/га) [3].

Бурые водоросли (*Phaeophyceae*)

Бурые водоросли Балтики представлены почти исключительно тонкими нитчатыми и пластинчатыми формами. В водах российской части юго-восточной части Балтийского моря из видов семейства *Fucaceae* (фукусовые) *Fucus vesiculosus* (фукус пузырчатый) и его эпифит *Elachista fucicola* (семейство *Elachistaceae*) теперь считаются возможно, исчезнувшими видами. В прибрежье остались лишь мелкие бурые водоросли: *Pilayella littoralis*, *Sphacelaria cirrosa*, *Battersia arctica* и др. Они обычно распространены на глубинах до 3–5 м, могут расти в условиях пониженной прозрачности после шторма, являются индикаторами эвтрофикации [4–7].

Практического промыслового значения бурые водоросли Балтики не имеют, однако в соседних морях (Атлантика) их активно собирают для производства альгинатов.

Рассчитанная ориентировочная удельная стоимость производства 1 кг свежего фукуса в Балтике составляет около 2,34 €/кг [3].

В целом, виды бурых водорослей из вод российской части юго-восточной Балтики возможно применять в биоиндикации (есть виды, сигнализирующие об эвтрофикации, есть – чувствительные к органическому загрязнению), в качестве биосорбента для очистки загрязненных тяжелыми металлами вод, в качестве сырья для получения биологически активных добавок, альгинатов, используемых в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности; в сельском хозяйстве – для производства удобрений (в том числе для дюнных растений на косах, а также на нарушенных в результате строительных работ почвах – в составе охранных мероприятий) и кормовых добавок (в птицеводстве, животноводстве, аквакультуре); некоторые виды в их молодом состоянии возможно употреблять в пищу. Их используют в качестве объектов научных исследований (гидроценозов Балтийского моря; при оценке процессов воздействия стрессовых факторов окружающей среды на морские экосистемы; изучение морфогенеза растений, полового размножения, выработки половых феромонов, ряда генетических вопросов, задач цитологии), в народной медицине.

Харовые водоросли (*Charophyta*)

Харовые пресноводно-солонатоводные водоросли рода *Chara* встречаются главным образом в эстуариях и прибрежье Куршского и Вислинского заливов, где солёность ниже, в открытой Балтике их нет. Здесь изредка находят *Chara inconnexa*. Современных находок на территории Калининградской области вида *Chara connivens* Salzm. ex A. Br. пока нет, требуются дополнительные исследования [5]. Такие виды обычно растут на глубинах до нескольких метров и служат важными биоиндикаторами чистоты воды.

Практического промысла харовых водорослей нет, но некоторые аквариумисты ценят их как декоративные растения, виды хары возможно использовать в качестве известь содержащего удобрения, а также в пищевой промышленности (например, в сахароварении); в медицине (в составе лечебных грязей; как объект физиологических и биофизических исследований), известны в качестве важной для пищи водоплавающих птиц.

Распространение макроводорослей и факторы, на него влияющие

Распространение видов макроводорослей в Балтике определяется солёностью, типом донного субстрата и экологическими факторами. С повышением солёности и наличием твёрдого субстрата обилие макрофитов нарастает: самые пёстрые сообщества развиты на побережьях шведской и финской Балтики, островов Аланд и Эстонии [38]. Например, у мыса Таран (Калининградская область) обнаружены развитые многовидовые сообщества морских водорослей-макрофитов с доминированием *Furcellaria lumbricalis* и *Vertebrata fucoides*, включающие также редкие виды (*Gaillona rosea*, *Battersia arctica*, *Sphacelaria cirrosa* и др.) [5]. В центральной Балтике (средние глубины) встречается выносливый прикреплённый *Furcellaria lumbricalis*, произрастающий на камнях вплоть до территорий с солёностью ~3.6 PSU [38]. Глубинная граница распространения макроводорослей на сублиторали Балтики из-за низкой прозрачности и слабого освещения обычно не превышает 10–13 м. После сильных штормов с изменением прибрежных субстратов сообщества могут смещаться в сторону мелководья: уцелевшие виды (многолетники) занимают минимально возможные глубины, а ниже распространяются лишь мелкие однолетники [4, 5].

В заливах с пониженной солёностью (Куршский, Вислинский) водорослей в целом меньше, но здесь можно найти пресноводные виды рода *Chara* и адаптированные разновидности: на 2021 г. в российской части Калининградского (Вислинского) залива отмечено 20 видов макроводорослей (преобладали виды зеленых водорослей: *Cladophora glomerata*, *Ulva intestinalis*, *Ulva prolifera* и др.), на литорали западного берега Куршского залива на 2016 г. зарегистрировано 20 видов макроводорослей (повсеместно встречались и доминировали *Cladophora fracta*, *Spirogyra* sp., локально встречались *Chara globularis*, *Ch. inconnexa*, *Hydrodictyon reticulatum*, *Oedogonium* sp., единично – *Stigeoclonium tenue*, впервые во флоре залива обнаружены *Chroodactylon ornatum*, *Vaucheria bursata*, *Chaetophora elegans*, *Chara inconnexa*) [6, 7].

На распределение и численность водорослей влияет комплекс факторов. Эвтрофикация особенно заметно изменяет состав их сообществ: избыток питательных веществ (азота, фосфора) усиливает рост быстрорастущих мелких нитчатых видов (*Cladophora*, *Ulva*, *Pilayella* и др.) и однолетних водорослей, тогда как многолетние красные и бурые постепенно вытесняются [38]. Прозрачность воды ограничивает глубину распространения водорослей по сублиторали: снижение прозрачности после штормов и наносов осадков приводит к сокращению нижней границы обитания макроводорослей (многолетники смещаются на меньшие глубины) [4, 5]. Штормы и эрозия разрушают скалистые места обитания водорослей и увеличивают донное заиление, что также неблагоприятно для развития крупных видов. Весьма значимо антропогенное загрязнение и сбросы: устьевые зоны рек (Куршский залив) испытывают увеличение эвтрофирующих стоков, что препятствует росту многолетников, например, в районе мыса Гвардейского влияние сточных вод (повышение сапробности) способствовало исчезновению когда-то обычных здесь видов *Fucus vesiculosus* и *Elachista fucicola* [5], но, в целом, это – следствие целого ряда факторов. Климатические изменения (изменение течений, температурные аномалии) влияют на сезонную динамику водорослевых сообществ, хотя их эффекты в Балтике изучены слабо.

Экологическое значение водорослей в гидробиоценозах

Водоросли играют важную роль в природных морских системах, формируя основу прибрежных и донных гидробиоценозов, выполняют следующие функции:

1. *Создание первичной продукции, кормовая база:* макроводоросли – ценнейшие производителями органического вещества в прибрежных зонах, создают энергетическую базу для всей экосистемы – источник пищи для различных групп беспозвоночных, в том числе ракообразных амфипод, изопод, ряда десятиногих раков, брюхоногих моллюсков и др., которые в свою очередь служат кормом для рыб.

2. *Формирование среды:* крупные виды создают трёхмерную структуру среды, в которой находят укрытие и субстрат беспозвоночные, личинки рыб, губки, моллюски и др., замедляют течение.

3. *Фильтрация воды:* заросли макрофитов осаждают взвешенные частицы, улучшая прозрачность воды, очищают воду от тяжелых металлов, ряда органических загрязнителей.

4. *Биоиндикация:* водоросли чувствительны к загрязнению и эвтрофикации, и по их видовому составу и количественному обилию можно судить о качестве водной среды.

5. *Защита от эрозии:* в заливах и на мелководьях крупные водоросли (фукоиды) стабилизируют донные отложения, препятствуя размыву.

Водоросли – неотъемлемая часть балтийских биотических сообществ, поддерживающих биологическое разнообразие и устойчивость морских экосистем.

Проблемы культивирования макроводорослей в Балтийском море

Основные проблемы для начала культивирования макроводорослей в центральной части Балтики:

- невозможность оценить поглощающую способность рынка для видов водорослей (например, *Ulva intestinalis*), отсутствие доказанных на практике технологий культивирования *U. intestinalis* и *Fucus vesiculosus* в условиях Балтии;
- юридические и законодательные барьеры для первых участников рынка;
- отсутствие государственного финансирования водно-экологических услуг, которые будут оказывать фермы по выращиванию морских водорослей.

Ulva intestinalis (ульва кишечная) выращивается в коммерческих целях в Японии. Зрелые листья собирают из окружающей среды для получения спор, которые затем высевают на сети и переносят в места выращивания, а при достижении ювенильных растений 1-2 см – на площадки целевой культуры, где они растут в течение всего года и собирают 2-3 раза в каждый из двух периодов.

Хотя в Европе предпринимаются попытки культивировать различные виды ульвы, как в окружающей среде, так и в наземных условиях, по данным на 2023 год испытания с *U. intestinalis* ограничиваются в основном лабораторными исследованиями. Поэтому, технологии, предназначенной для коммерческого выращивания этого вида в Балтийском море, еще не существует. Тем не менее, два полевых эксперимента, связанных с культивированием *U. intestinalis*, были выполнены – один в Финском заливе (Российская часть) и один в Пуцкой бухте (Польша). Их цель заключалась в оценке потенциала макроводорослей по удалению избыточных питательных веществ для противодействия эвтрофикации [3].

Заключение

Балтийское море богато водорослями разных таксономических групп, выполняющими важные экологические функции: производят значительную часть кислорода и органического вещества, создают «подводные леса», поддерживая разнообразие морской фауны. Кроме того, водоросли – эффективные биоиндикаторы состояния воды и могут служить сырьём для ряда производств. Сохранение биоразнообразия водорослей Балтики требует особого внимания: многие многолетние виды страдают от антропогенных факторов, и их утрата чревата изменением всей экосистемы. Введение в районах промысла ограничений (например, *Furcellaria lumbricalis* добывается по квотам) и проведение мониторингов состояния водорослевых зарослей помогают контролировать нагрузку [32]. Для Калининградской области отмечается необходимость создания охраняемых природных территорий (ООПТ) в зонах обитания редких видов (например, мыс Таран) [4]. Таким образом, комплекс мер по защите среды и рациональному использованию водорослей позволит сохранить важный компонент биоразнообразия Балтики и устойчивость её экосистемы.

Использование методов биоиндикации показало: частота встречаемости и преобладание по фитомассе таких β -мезосапробных видов, как *Cladophora glomerata*, *Ulva intestinalis*, *Ulva prolifera* свидетельствует о том, что акваторию российской части Балтийского моря можно отнести к водам слабо (умеренно) загрязненным [5].

В целом известно, что макроводоросли могут аккумулировать мусор и загрязнители (макро-, мезо- и микропластик, нефтяные углеводороды, тяжелые металлы и др.), и появление их штормовых выбросов на морских пляжах ухудшает рекреационную привлекательность пляжей. В то же время выбросы макроводорослей могут служить ценным сырьем для целого ряда производств. Штормовые выбросы макроводорослей (*Fucus vesiculosus*, *Furcellaria lumbricalis* и др.), также как и фитомассу водорослей обрастаний, можно и нужно изымать и использовать в качестве удобрения в дюнном комплексе и на нарушенных в результате строительных работ почвах побережья (например, для *F. lumbricalis* получено, что содержание тяжелых металлов в талломах не превышало установленные нормы ГОСТ Р 54000-2010 (для сапропелей)). Однако, промышленное использование макроводорослей из выбросов требует строгой оценки качества сырья и, конечно, прогноза возможных объемов поступления [5, 6].

Промысел прибрежных водорослей, плавающих в воде, дорогостоящее мероприятие: затруднительно, возможно, нерентабельно в прибрежной полосе в курортный сезон применять разработанные для промысловых водорослей механические методы сбора на маломерных судах, используя насос и сита. Необходимо разработать и применять технологии сбора плавающих талломов макроводорослей и их выбросов на берегу на пляжах и технологии сбора фитообрастаний [5].

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность научным сотрудникам лаборатории морской экологии Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН канд. биол. наук Александре Анатольевне Володиной (также - доцент Образовательно-научного кластера "Института медицины и наук о жизни (МЕДБИО)", Балтийский федеральный университет им. И. Канта) и Марике Армановне Герб за профессиональную консультацию, ценные комментарии и замечания.

Список источников:

1. Биота Балтийского моря. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://loodusveeb.ee/ru/themes/baltiyskoe-more/biota-baltiyskogo-morya> (дата обращения: 27.07.2025)
2. Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). – Москва : Изд-во ВНИРО, 2007. – 114 с.
3. Володина А.А. Макроводоросли – обрастатели новых берегозащитных укреплений. Презентация. [Электронный ресурс]. URL: <https://ocean-and-we.ru/docs/presentation/> (дата обращения: 30.07.2025)
4. Володина А.А., Герб М.А. Макрофиты прибрежной зоны российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградская область) // Известия КГТУ. – 2013. – № 28. – С. 129–135.
5. Володина А.А., Герб М.А. Водоросли, рекомендуемые для включения в новое издание Красной книги Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Естественные и медицинские науки. – 2018. – № 3. – С. 74–85. ISSN: 2500-3208.
6. Володина А.А., Герб М.А., Зверева А.Ю., Горлач А.А. Макрофиты российской части Калининградского / Вислинского залива (бассейн Балтийского моря) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2022. №4. С. 64—80. doi:10.5922/gikbfu-2022-4-6
7. Герб М.А., Володина А.А. Макроводоросли западного берега Куршского залива // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". – Калининград, 2017. – Вып. 13. – С. 16–31.
8. Горбунова Ю.А., Есюкова Е.Е. Выбросы макроводорослей и морских трав на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря // Известия КГТУ. – 2020. – № 59. – С. 24–34.
9. Диктиосифон укроповидный (*Dictyosiphon foeniculaceus* (Huds.) Grev.). Статья на сайте [Aquaristics.ru](https://www.aquaristics.ru). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aquaristics.ru/nature/seaweed/dictyosiphon-foeniculaceus> из категории «Природа: Морские водоросли» (дата обращения: 29.07.2025).
10. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод : [науч. изд.] : в 2 т.; Камч. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии (КамчатНИРО). – Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2009. – Т. 1. – 218 с. ISBN 978-5-902210-25-2.
11. Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Ленинградской области. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://kpr.lenobl.ru/deiatelnost/organizaciya-i-funkcionirovanie-osobo->

ohranyaemyh-prirodnih-territorij/krasnaya-kniga-leningradskoj-oblasti/perechen-obektov-rastitelnogo-mira-vnesennyh-v-krasnuyu-knigu-leningra/ (дата обращения: 29.07.2025)

12. Подкорытова Е.А., Хожаенко Е.В., Ковалев В.В. Каррагинаны как новые субстанции для лекарственных средств с радиопротекторным действием // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 5(2). – С. 1021–1024.

13. Подкорытова А.В., Игнатова Т.А. Морские красные водоросли – неиссякаемый источник биологически активных веществ для медицины и фармацевтики // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 188. – С. 151–165.

14. Протасов А.А. Перифитон как экотопическая группировка гидробионтов / Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2010. – №1. – Т. 3. – С. 40–56.

15. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. – Киев: Генеза, 2004. – 682 с. ISBN 9665043587.

16. Универсальная школьная энциклопедия. – Москва, 2004. – Т. 1. – 528 с. ISBN 5-94623-053-0.

17. Харчук И.А. Химический состав красной микроводоросли *Porphyridium purpureum* при переводе в состояние ангидробиоза // Морський екологічний журнал. – 2012. – № 3. – Т. XI. – С. 98–102.

18. *Battersia arctica*. Overview. Finnish Biodiversity Info Facility. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fajfi.fi%2Fen%2Ftaxon%2FMX.213358&psig=AOvVaw30EErYIYxgd4tMvFyfpEWm&ust=1753872669361000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBgQjhxqFwoTCPI5ooDz4Y4DFQAAAAAdAAAAABAW> (дата обращения: 29.07.2025).

19. *Ceramium virgatum* Roth (author: Tomas Figura). Taxon – image. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biolib.cz/en/taxonimage/id147030/?taxonid=129701&type=1> (дата обращения: 04.08.2025).

20. Chemerisa E.V. et al. How charophytes (Streptophyta, Charales) survive in severe conditions of the permafrost area in Far North-East Asia // Limnologia. – 2020. – № 83. – 13 p. DOI: 10.1016/j.limno.2020.125784

21. Chromista (Kingdom) - Царство Хромиста. [Электронный ресурс]. URL: <https://thepresentation.ru/biologiya/chromista-kingdom-tsarstvo-hromista> (дата обращения: 05.08.2025).

22. *Furcellaria lumbricalis* photo. Biopix. [Электронный ресурс]. URL: http://www.biopix.com/furcellaria-lumbricalis_photo-107279.aspx (дата обращения: 04.08.2025).

23. *Hildenbrandia rubra*. NatureGate. 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://luontoportti.com/en/t/3255/punalaikkuleva> (дата обращения: 28.07.2025).

24. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.algaebase.org> (дата обращения: 29.07.2025).

25. Gunnarsson K., Nielsen R. Culture and field studies of Ulvellaceae and other microfilamentous green seaweeds in subarctic and arctic waters around Iceland // Nova Hedwigia. – 2016. – Vol. 103. – Issue 1–2. – P. 17–46.

26. iNaturalist. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.inaturalist.org> (дата обращения: 27.07.2025).

27. Kipp R.M., McCarthy M., Fusaro A., Bartos A. *Bangia atropurpurea* (Dillwyn) Lyngbye: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database. 2025, Gainesville, FL, and NOAA Great Lakes Aquatic Nonindigenous Species Information System, Ann Arbor, MI. [Электронный ресурс]. URL: https://nas.er.usgs.gov/queries/greatlakes/FactSheet.aspx?Species_ID=1700&Potential=N (дата обращения: 29.07.2025).

28. Kulikowski T., Jakubowska-Lehrmann M., Krupska J., Psuty I., Szulecka O. Guide to macroalgae cultivation and use in the Baltic Sea Region. National Marine Fisheries Research Institute. Gdynia, 2021. – 104 p.
29. Küpper F.C. et al. Arctic marine phytobenthos of northern Baffin Island // Journal of Phycology. – 2016. – №52. – P. 532–549. DOI: 10.1111/jpy.12417
30. *Pylaiella littoralis*. Изображение, автор Р. Boissel. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flickr.com/photos/24580998@N08/48972787628> (дата обращения: 29.07.2025).
31. *Rhodochorton purpureum* (Lightfoot) Rosenvinge, 1900; *Rhodomela confervoides* (Hudson) P.C. Silva, 1952. *Ulothrix subflaccida* Wille. *Ulva intestinalis* Linnaeus, 1953. *Ulva prolifera* O.F. Müller, 1778. Algae Outer Hebrides. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.outerhebridesalgae.uk/marine/marine-species.php?id=110> (дата обращения: 05.08.2025).
32. Selivanova O.N., Zhigadlova G.G. Marine Benthic Algae of the Commander Islands (Pacific Coast of Russia) with Checklist Revised in 2012. Hindawi Publishing Corporation. ISRN Oceanography. 2013. – Vol. 8. – 12 p. DOI:10.5402/2013/470185
33. *Sphacelaria arctica*. Ruskokivitupsu. Статья на сайте NatureGate. 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://luontoportti.com/t/2783/ruskokivitupsu> (дата обращения: 29.07.2025).
34. Trius A., Sebranek J.G. Carrageenans and their use in meat products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 1996. – Vol. 36, № 1/2. – P. 69–85.
35. Tuvikenea R., Truusa K., Vaherb M., Kailasb T., Martinc G., Kersenc P. Extraction and quantification of hybrid carrageenans from the biomass of the red algae *Furcellaria lumbricalis* and *Coccotylus truncates* // Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. – 2006. – T. 55. – №1. – P. 40–53.
36. *Ulva flexuosa* Wulfen 1803. Seaweeds of the South African South Coast. [Электронный ресурс]. URL: http://southafrseaweeds.uct.ac.za/descriptions/green/ulva_flexuosa.php (дата обращения: 05.08.2025).
37. *Ulva prolifera*. Agricultural and Biological Sciences. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/ulva-prolifera> (дата обращения: 05.08.2025).
38. Weinberger F., Paalme T., Wikström S.A. Seaweed resources of the Baltic Sea, Kattegat and German and Danish North Sea coasts // Botanica Marina. – 2020. – 63(1). – P. 61–72.
39. Wołowski K., Kowalska J., Hindák F. *Chroodactylon ornatum* (Rhodophyta, Porphyridiales) occurring in Poland and Slovakia // Biologia, Bratislava. – 2007. – 62(6). P. 646–649. DOI: 10.2478/s11756-007-0131-3.