

УДК 574.58 (282.2)
DOI 10.52575/2712-9047-2026-8-1-72-91
EDN KJODLB

Структурная организация сообществ фитоперифитона и макрозообентоса рек южного побережья Онежского озера

С.Ф. Комулайнен , И.А. Барышев 

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук,
Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
E-mail: komsf@mail.ru; i_baryshev@mail.ru

Поступила в редакцию 03.12.2025; поступила после рецензирования 30.01.2026;
принята к публикации 12.02.2026

Аннотация. Исследование фитоперифитона и макрозообентоса рек южного побережья Онежского озера выявило ключевые факторы, определяющие их распределение и особенности структуры сообществ. Проанализированы физико-химические параметры воды, гидрографические и гидрологические характеристики. В фитоперифитоне обнаружено 80 таксонов водорослей (4 отдела): по численности преобладают диатомовые (Bacillariophyta, до 97 %; доминируют *Melosira varians* и *Aulacoseira islandica*), по биомассе лидируют нитчатые зеленые (*Cladophora glomerata*). Биомасса водорослей – 0,01–12 мкг/см², численность – $0,1 \times 10^4$ – 270×10^4 кл./см². В макрозообентосе – 122 вида беспозвоночных, из которых 92 вида – насекомые. Численность макрозообентоса: 640–5275 экз./м² (среднее значение 2547,1; медиана 1900). Биомасса: 0,17–30,0 г/м² (среднее значение 9,73; медиана 3,62). На порогах доминируют *Aphelocheirus aestivalis* (Hemiptera) и *Hydropsyche contubernalis* (Trichoptera), на плесах – комары-звонцы (Chironomidae: *Stictochironomus crassiforceps* и *Cladotanytarsus* sp.) и поденки (Ephemeroptera) *Ephemera vulgata*. По индексам Сладечека и TDI водотоки – олигосапробные (чистые); по индексу сапробности (1,51–2,50) – β-мезосапробные (умеренное загрязнение). Структура сообществ определяется гидрографическими и гидрологическими характеристиками участков.

Ключевые слова: реки, видовой состав, диатомовые водоросли, донные беспозвоночные, обилие, сапробность, экология

Финансирование: обеспечение исследований осуществлялось за счет средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий FMEN – 2022-0007.

Для цитирования: Комулайнен С.Ф., Барышев И.А. 2026. Структурная организация сообществ фитоперифитона и макрозообентоса рек южного побережья Онежского озера. *Полевой журнал биолога*, 8(1): 72–91. DOI: 10.52575/2712-9047-2026-8-1-72-91 EDN: KJODLB

Structural Organization of Phytoperiphyton and Macrozoobenthos Communities of Rivers on the Southern Coast of Lake Onega

Sergey F. Komulaynen , Igor A. Baryshev 

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
11 Pushkinskaya St, Petrozavodsk 185910, Russia
E-mail: komsf@mail.ru; i_baryshev@mail.ru

Received December 3, 2025; Revised January 30, 2026; Accepted February 12, 2026

Abstract. The article presents the results of a study of phytoperiphyton and macrozoobenthos in rivers on the southern coast of Lake Onega. Key factors determining their distribution and community structure are

described. The authors analysed physicochemical water parameters, as well as hydrographic and hydrological characteristics. The findings have revealed 80 algal taxa (four divisions), with diatoms prevailing in abundance (Bacillariophyta, up to 97%, *Melosira varians* and *Aulacoseira islandica* dominating), while filamentous greens (*Cladophora glomerata*) dominate in biomass. The algal biomass ranges between 0.01 and 12 µg/cm², with the abundance varying from 0.1 × 10⁴ to 270 × 10⁴ cells/cm². The macrozoobenthos comprises 122 invertebrate species, of which 92 are insects. Abundance: 640–5,275 ind./m² (mean 2,547.1; median 1,900). Biomass: 0.17–30.0 g/m² (mean 9.73; median 3.62). *Aphelocheirus aestivalis* (Hemiptera) and *Hydropsyche contubernalis* (Trichoptera) dominate in rapids, while Chironomidae (*Stictochironomus crassiforceps*, *Cladotanytarsus* sp.) and Ephemeroptera (*Ephemera vulgata*) prevail in pools. Based on the Sládeček and TDI indices, the streams were classified as oligosaprobic (clean); however, the saprobity index values (1.51–2.50) corresponded to β-mesosaprobic conditions (moderate pollution). The community structure is determined by the hydrographic and hydrological characteristics of the sites under study.

Keywords: rivers, species composition, diatom algae, benthic invertebrates, abundance, saprobity, ecology

Funding: The research was supported by the federal budget for the implementation of state assignments FMEN – 2022-0007.

For citation: Komulaynen S.F., Baryshev I.A. 2026. Structural Organization of Phytoperiphyton and Macrozoobenthos Communities of Rivers on the Southern Coast of Lake Onega. *Field Biologist Journal*, 8(1): 72–91. DOI: 10.52575/2712-9047-2026-8-1-72-91 EDN: KJODLB

Введение

Реки играют ключевую роль в поддержании глобального экологического равновесия, обеспечивая циркуляцию воды, питательных веществ и энергии между различными экосистемами планеты [Vörösmarty et al., 2010]. Исследования речных систем позволяют не только отслеживать изменения климата и антропогенное воздействие, но и разрабатывать стратегии устойчивого управления водными ресурсами. Охрана водотоков имеет решающее значение для благополучия человечества, поскольку они служат основными источниками пресной воды, поддерживают биоразнообразие и обеспечивают экосистемные услуги, от которых зависит жизнь более половины населения Земли [Lautze, Jonathan, 2014; Баженова, Костерова, 2023]. Без системного изучения и защиты рек невозможно обеспечить водную безопасность и экологическую устойчивость регионов в условиях растущего антропогенного давления и климатических изменений.

Для Северо-Запада России, обладающего исключительно густой и разветвленной гидрографической сетью, изучение водных экосистем приобретает особую научную актуальность. Высокая плотность водотоков разного порядка, многочисленных озер и обширных болотистых массивов формирует сложную, взаимосвязанную систему, требующую детального исследования. Сообщества организмов, населяющие водные объекты, представляют особый научный интерес как оперативные индикаторы изменений среды.

Среди всех типов пресных вод региона наиболее распространены малые реки (длиной до 100 км), которые, несмотря на скромные размеры, играют ключевую роль в формировании водного баланса территории, переносе вещества и энергии между наземными и водными экосистемами, а также в поддержании регионального биоразнообразия. Их изучение особенно важно ввиду ряда специфических черт, обуславливающих повышенную чувствительность к внешним воздействиям. Так, тесная гидрологическая связь малых рек с водосборной территорией обеспечивает прямой перенос в русло всех веществ и соединений, формирующихся на прилегающей суше, – от сельскохозяйственных удобрений и пестицидов до бытовых и промышленных стоков [Папаскири и др., 2023; Гареев и др., 2024].

В гидробиоценозах малых рек ведущую роль играют донные сообщества – фитоперифитон (прикрепленные водоросли-продуценты) и зообентос (беспозвоночные-участники

детритных цепей, индикаторы состояния донных отложений) [Allan, Castillo, 2007]. Эти сообщества представляют исключительный интерес для исследований, благодаря высокой чувствительности к антропогенным воздействиям. Анализ динамики этих сообществ дает возможность не только диагностировать текущее состояние водоема, но и прогнозировать его дальнейшие изменения [Семерной, 2005].

При очевидной научной и природоохранной значимости малые реки по-прежнему относятся к числу наименее изученных водных объектов как на территории России, так и за рубежом. Дефицит знаний обусловлен отсутствием долговременных наблюдений, нестандартизированностью методов оценки, слабой изученностью естественной динамики сообществ и нехваткой данных о восстановительном потенциале экосистем. Существенные проблемы в понимании функционирования малых рек ограничивают возможности прогнозирования их реакции на изменяющиеся условия среды. Это, несомненно, относится и к территории южного побережья Онежского озера, где исследования структурной организации фитоперифитона и макрозообентоса рек единичны.

Цель работы – комплексное изучение структуры и современного состояния донных биоценозов рек южного побережья Онежского озера.

Материал и методы исследования

Материал для исследования – пробы фитоперифитона и макрозообентоса – собирали во второй половине биологического лета (30.07.2024–02.08.2024 и 15.07.2025). Для рек региона этот период характеризуется стабилизацией температурного и водного режима с максимальным прогревом и минимальным расходом воды. В этот период более четко прослеживаются особенности формирования донных биоценозов на речных участках: порог и плес, верховье и устье. Для того чтобы оценить роль биотопической неоднородности, выбирали участки, отличающиеся по глубинам (0,1–0,7 м) и скоростям течения (0,1–1,0 м/с) и в разной мере подвергающиеся антропогенному воздействию.

Исследования были выполнены на 4 водотоках, русла которых расположены на южном побережье Онежского озера между истоком р. Свири и устьем р. Водлы. Материал был отобран на 7 станциях: станции 1 (60°51'06" с. ш. 35°33'16" в. д.) и 2 (60°47'00" с. ш. 35°23'35" в. д.) – расположены на р. Оште, станция 3 (60°50'09" с. ш. 35°45'48" в. д.) – на р. Водлице, станции 4 (60°51'19" с. ш. 35°59'49" в. д.) и 5 (60°42'20" с. ш. 35°59'44" в. д.) – на р. Мегре и станции 6 (61°10'40" с. ш. 36°43'01" в. д.) и 7 (61°15'25" с. ш. 37°23'17" в. д.) – на р. Андоме (рис. 1).

Река Ошта имеет длину 39 км, площадь бассейна 374 км². Исток находится в Киргозере на высоте 141 м. Устье расположено в Онежском обводном канале. Общее падение реки составляет 108 м, средний уклон – 2,77 м/км. Минерализация воды – 207 мг/л, рН – 7,9, цветность – 22–25 град.

Река Водлица имеет длину 47 км, площадь бассейна 514 км². Истекает из Павшозера на высоте 201,6 м. Впадает в Водлицкое озеро на высоте 33 м. Падение реки составляет 168,6 м, уклон – 3,58 м/км. Минерализация воды – 170 мг/л, рН – 7,7, цветность – 30 град.

Река Мегра – 93 км длиной, с бассейном 1730 км². Начинается в Западном Мегрозере на высоте 238,8 м. Впадает в Онежское озеро. Падение – 205,5 м, уклон – 2,3 м/км. Озерность < 1,0 %. Минерализация воды – 35 мг/л, рН – 7,5, цветность – 365 град.

Река Андома – 156 км, площадь водосбора 2570 км². Исток в Гронтозере на высоте 228,3 м. Падение – 195 м, уклон минимальный – 1,25 м/км. Минерализация воды составляет 180 мг/л, рН – 6,4, цветность – 60–120 град.

Химический анализ воды был выполнен в лаборатории гидрохимии Института водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (ИВПС КарНЦ РАН). Цветность определена по платиново-кобальтовой шкале после фильтрации воды через мембрану 0,45 мкм (истинная цветность).

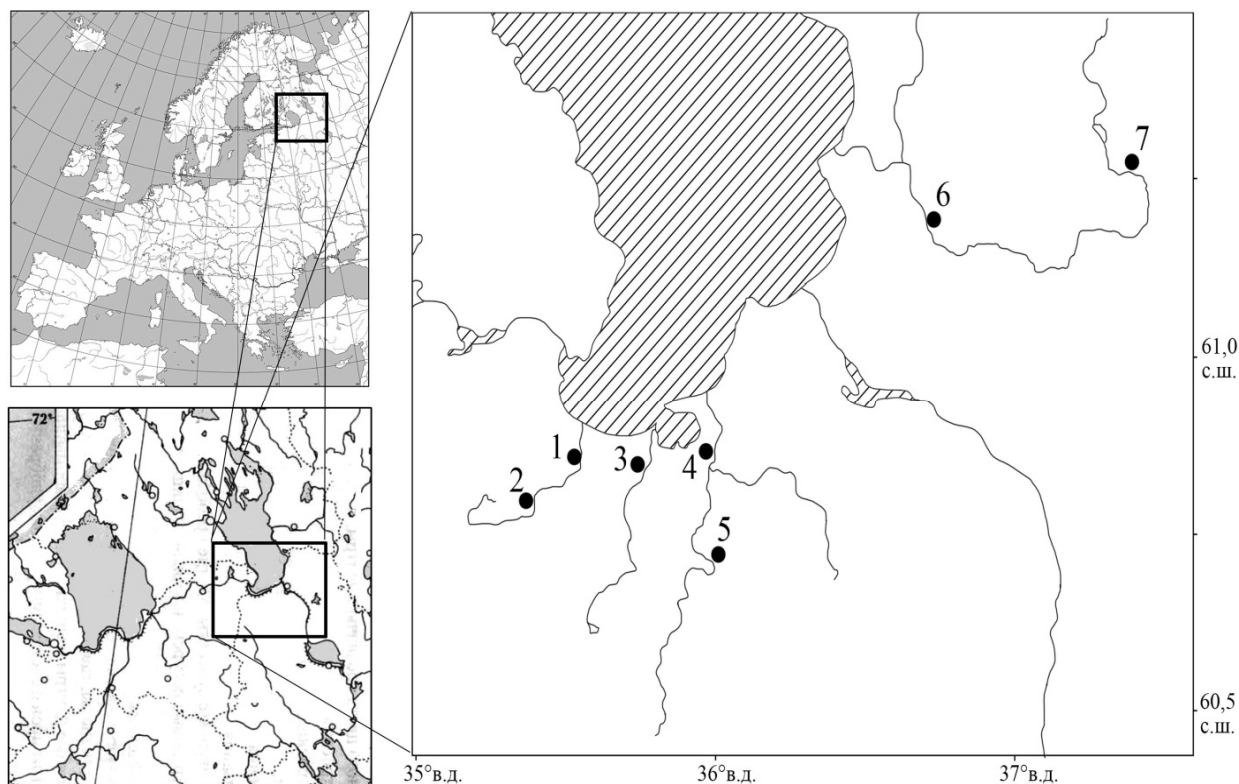


Рис. 1. Расположение станций отбора проб фитоперифитона и макрозообентоса на реках (1, 2 – Ошта; 3 – Водлица; 4, 5 – Мегра; 6, 7 – Андома) южного побережья Онежского озера (подробности см. в тексте)

Fig. 1. Location of stations for studying phytoplankton and macrozoobenthos on the rivers (1, 2 – Oshta; 3 – Vodlitsa; 4, 5 – Megra; 6, 7 – Andoma) on the southern coast of Lake Onega (see text for details)

Вода рек южной части водосбора (кроме р. Мегры) имеет более высокую минерализацию (170–207 мг/л) по сравнению с водотоками других частей бассейна Онежского озера, где она составляет от 11 до 60 мг/л [Kulik et al., 2023]. По соотношению главных ионов вода рек гидрокарбонатно-кальциевая. Речные воды района небогаты биогенными элементами, особенно фосфором (0,008 мг/л). Из соединений азота и фосфора преобладают органические. Из минеральных форм азота превалирует аммонийный. Органическое вещество воды рек аллохтонного происхождения за счет гумуса болот, почв и лесной подстилки, преимущественно стойкое к биохимическому окислению [Kulik et al., 2023]. Среди исследованных водотоков наибольшее содержание гумусовых веществ обнаружено в реке Мегре. Это объясняет отмеченные высокие величины цветности (до 400 град.) и окисляемости (40,4 мгО/л).

Южный берег Онежского озера преимущественно низкий, пологий, слабо изрезанный, поросший смешанным лесом, большей частью образован цепью песчаных дюн, достигающих местами высоты 15–18 м, за которыми часто располагаются болота. Верхняя часть рельефа представлена карбонатными породами, а нижняя, примыкающая к Онежскому озеру, подтоплена и заболочена. Общая площадь водосбора превышает 2,0 тыс. км² и характеризуется невысокой озерностью (менее 1,5 %). Заболоченность территории составляет в среднем около 6 %. Преобладают низинные болота, которые образуются при зарастании озерных экосистем и заболачивании суши, когда на поверхность выходят грунтовые воды. Водохозяйственная освоенность района слабая, только река Андома испытывает антропогенную нагрузку на своем водосборе. Характер водосбора определяет гидрохимические особенности рек.

На каждой из семи станций отобрано по пять проб фитоперифитона и по три пробы макрозообентоса. Общее количество обработанных проб – 56.

Пробы фитоперифитона отбирались с камней и макрофитов, следуя отработанной методике [Крылов и др., 2025]. Прикрепленный материал смывался водой, счищался скальпелем или зубной щеткой, а у мягких водных растений, кроме того, отжимались стебли. Для отбора проб макрозообентоса на порогах и перекатах (станции 5–7) использовали количественную гидробиологическую рамку площадью 0,04 м². Мягкие грунты речных плесов (станции 1–4) облавливали гидробиологическим скребком, шириной 0,2 м с протягом 0,2 м (площадь сбора 0,04 м²) [Крылов и др., 2025].

Классификация таксонов водорослей приведена по схеме, принятой в «Süsswasserflora von Mitteleuropa», с уточнением названий некоторых видов согласно современным сводкам.

Для оценки роли отдельных таксонов в формировании группировок фитоперифитона вычисляли частоту встречаемости (pF) и доминирования (DF), среднее относительное разнообразие видов (Spr %), обилие по численности (N) и биомассе (B). Виды с удельным относительным обилием $\geq 10\%$ в конкретной реке или на ее отдельных участках отнесены к доминирующему комплексу. Стабильность структуры фитоперифитона определяли с использованием индексов видового разнообразия, качество воды и их трофность – по методу Пантле и Букка и с применением трофического диатомового индекса – TDI. Экологическая характеристика и географическая приуроченность дана в основном по работе С.С. Бариновой с соавторами [2006] и дополнена сведениями из других работ. При кластерном анализе использовали данные об относительном обилии водорослей. Группирование рек проводили по алгоритму евклидовой дистанции методом Варда (Ward's method).

Для определения структуры доминирования зообентоса использовали классификацию Чельцова-Бebutова в модификации В.Я. Леванидова: доминанты – относительное обилие по численности (или биомассе) $\geq 15,0\%$, субдоминанты – 5,0–14,9 %, второстепенные – 1,0–4,9 %, третьестепенные – $< 1,0\%$ [Леванидов, 1977; Тиунова и др., 2013]. Трофические группы (функциональные группы по питанию) выделяли в соответствии с известными классификациями [Merritt et al., 1996; Cummins et al., 2005]: измельчители (shredders), коллекторы-фильтраторы (filtering collectors), коллекторы-собиратели (gathering collectors), хищники (predators) и соскребатели (scrapers). Индексы разнообразия рассчитаны по следующим формулам.

Индекс Симпсона:

$$1 - D = 1 - \sum p_i^2,$$

где $p_i = n_i / N$ – относительная численность i -го вида (n_i – численность вида, N – общая численность).

Индекс Шеннона (нат/экз.), соответственно:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i,$$

Выравненность:

$$E = H' / \ln(S),$$

где S – число видов.

Расчеты выполнены на основе численности макрозообентоса в пробах.

Для определения значений индексов разнообразия, а также статистических расчетов использовали программу PAST 4.11 [Hammer et al., 2001]. При указании значений обилия и индексов после знака « \pm » приведена стандартная ошибка.

Результаты исследования

Фитоперифитон. В фитоперифитоне исследованных водоемов определено 80 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 21 семейству и 4 отделам: Cyanophyta – 6 (6,6 %), Bacillariophyta – 51 (69,2 %), Chlorophyta – 22 (23,6 %) и Euglenophyta – 1 (0,6 %). Список выявленных таксонов приведен в таблице 1.

Таблица 1
 Table 1

Таксономический состав фитоперифитона рек южного побережья Онежского озера
 Taxonomic composition of the phytoplankton of rivers on the southern coast of Lake Onega

Таксоны / Таха	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
Отдел Cyanoprokaryota (Cyanophyta)							
Семейство Nostocaceae							
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet et Flahault	–	–	+	+	–	–	–
<i>Dolichospermum lemmermannii</i> (Richter) Waecklin et al.	–	–	–	+	–	+	–
<i>Dolichospermum solitarium</i> (Klebahn) Waecklin et al.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Anabaena</i> sp.	+	+	–	–	–	–	–
Семейство Oscillatoriaceae							
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont	–	–	+	+	+	–	–
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	–	–	–	+	–
Отдел Bacillariophyta							
Семейство Stephanodiscaceae							
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	+	+	+	–	–	–	–
Семейство Melosiraceae							
<i>Melosira varians</i> Agardh	+	+	+	+	+	+	+
Семейство Aulacoseiraceae							
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	–	–	–	–	–	+	+
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simonsen	+	+	+	+	+	+	+
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	–	–	+	+	–	+	+
Семейство Fragilariaceae							
<i>Diatoma tenuis</i> Agardh	–	–	–	–	–	+	–
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	–	–	+	–	–	+	+
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	–	–	–	–	–	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	–	–	–	+	+	+	+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres	+	+	+	+	+	+	+
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+	+	–	+	+	–	–
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	–	–	–	–	–	+	–
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	–	–	+	+	+	+	+
Семейство Eunotiaceae							
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst	+	+	+	+	+	+	+
<i>Eunotia serra</i> var. <i>tetraodon</i> (Ehrenberg) Nörpel	–	–	–	–	–	+	+
Семейство Achnantheaceae							
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow	–	–	+	–	–	–	–
<i>Achnanthes linearis</i> (W. Smith) Grunow	–	–	–	–	–	+	+
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+	+	+	+	+	+
Семейство Naviculaceae							
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	+	–	–	+	–	+	+
<i>Navicula curtisterna</i> Lange-Bertalot	+	+	–	–	–	+	+
<i>Navicula dicephala</i> (Ehrenberg) W. Smith	–	–	–	–	–	+	+
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	–	–	+	–	–	+	+
<i>Stauroneis kriegerii</i> Patrick	–	–	–	+	–	–	–
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	+	+	–	+	+	–	–
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	–	–	+	–	–	–	–
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	–	–	–	–	–	–	+

Продолжение таблицы 1
Continuation of Table 1

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Cymbella amphicephala</i> Naegeli	+	+	+	–	–	–	+
<i>Cymbella hebridica</i> (Grunow) Cleve	–	–	–	–	+	–	–
<i>Cymbella helvetica</i> Kützing	–	–	–	–	+	–	–
<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner	–	–	–	–	+	–	+
<i>Cymbella naviculiformis</i> (Auerswald) Cleve	–	–	+	–	–	–	–
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	–	–	–	–	–	–	+
<i>Cymbella silesiaca</i> Blesch	+	+	+	–	+	–	+
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	–	–	–	+	–	–	–
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	+	+	+	+	–	–	+
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	–	–	+	–	–	–	–
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> Hustedt	–	–	–	–	+	–	–
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	+	+	+	+	–	+	+
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	–	–	+	–	–	–	+
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	+	–	+	–	–	–	+
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst	+	+	+	–	–	–	+
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	–	–	–	+	–	–	–
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch.) Ehrenberg	–	–	+	+	–	–	+
Семейство Bacillariaceae							
<i>Nitzschia linearis</i> (Ag.) W. Smith	–	–	–	–	–	+	+
Семейство Epithemiaceae							
<i>Denticula tenuis</i> var. <i>tenuis</i> Kützing	+	+	–	–	–	+	+
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	+	+	+	–	+	–	+
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	–	–	–	–	–	–	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	+	+	+	–	+	+	+
Семейство Surirellaceae							
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith	–	–	–	+	–	–	–
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	–	–	–	+	–	–	–
Отдел Euglenophyta							
Семейство Euglenaceae							
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	–	–	–	+	–	–	–
Отдел Chlorophyta							
Семейство Palmellaceae							
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	–	–	–	–	–	+	+
Семейство Hydrodictyaceae							
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	+	–	–	–	–	+	–
Семейство Chlorellaceae							
<i>Ankistrodesmus falactus</i> (Cordat) Ralfs	–	–	–	+	–	+	–
Семейство Scenedesmaceae							
<i>Scenedesmus bijugatus</i> Kützing	+	–	–	+	–	+	–
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	–	–	–	+	–	–	–
Семейство Microsporaceae							
<i>Microspora amoena</i> (Kützing) Rabenhorst	–	–	–	–	–	+	+
Семейство Cladophoraceae							
<i>Cladophora glomerata</i> (Linnaeus) Kützing	+	+	+	+	+	+	+
Семейство Oedogoniaceae							
<i>Oedogonium</i> sp.	+	+	+	–	–	–	–
Семейство Spirogyraceae							
<i>Spirogyra</i> sp.	+	+	+	–	–	–	–

Окончание таблицы 1
 End of Table 1

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
Семейство Mougeotiaceae							
<i>Mougeotia</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+
Семейство Desmidiaceae							
<i>Closterium cynthia</i> De Notaris	–	–	–	–	–	+	–
<i>Closterium diana</i> e Ehrenberg ex Ralfs	–	–	–	+	+	+	–
<i>Closterium intermedium</i> Ralfs	–	–	+	+	+	–	–
<i>Closterium parvulum</i> Nägeli	–	–	–	+	–	+	–
<i>Pleurotaenium minutum</i> (Ralfs) Hilse	–	–	–	–	–	+	–
<i>Cosmarium margaritifera</i> m Meneghini ex Ralfs	–	–	–	+	–	–	–
<i>Cosmarium pachydermum</i> P. Lundell	–	–	–	+	–	–	–
<i>Cosmarium protractum</i> (Nägeli) De Bary	–	–	–	–	–	+	–
<i>Cosmarium punctulatum</i> Brébisson	–	–	–	+	–	–	–
<i>Cosmarium reniforme</i> (Ralfs) W. Archer	–	–	–	+	–	–	–
<i>Cosmarium undulatum</i> Corda ex Ralfs	–	–	+	+	–	–	–
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen	–	–	–	–	–	+	–

Примечание. Здесь и далее – подробнее о станциях отбора проб см. текст и рисунок 1.

Note. Here and further – for more information on the research stations, see text and Figure 1.

Отдел Bacillariophyta, включающий 51 вид из 25 родов из 10 семейств, определяет видовое богатство альгофлоры. Кроме того, отмечено высокое разнообразие пеннатных диатомей. Центрические диатомовые (семейства Melosiraceae, Stephanodiscaceae и Aulacoseiraceae) по числу видов занимают подчиненное положение в группировках обрастаний. В альгофлоре перифитона рек определено 5 видов из родов *Melosira*, *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Среди них наиболее постоянны в альгоценозах обрастаний были *Melosira varians* и *Aulacoseira islandica*.

Зеленые водоросли (Chlorophyta) представлены 22 видами, относящимися к 20 родам из 13 семейств, уступают по видовому богатству лишь диатомеям. Основу видового богатства составляют малочисленные представители семейства Desmidiaceae (12 видов, 15,0 % от полного видового списка). Наиболее постоянны в альгоценозах перифитона нитчатые зеленые водоросли: *Cladophora glomerata* (pF = 74,5 %), *Oedogonium* sp., (pF = 54,5), *Bulbochaete* sp., (pF = 36,4 %) и *Mougeotia* sp. (pF = 54,5 %).

Структура группировок перифитона в исследованных водотоках достаточно постоянна и однообразна. В перифитоне всех рек встречены 13 видов: *Melosira varians*, *Aulacoseira islandica*, *Fragilaria capucina*, *Eunotia pectinalis*, *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella silesiaca*, *Amphora ovalis*, *Gomphonema parvulum*, *Epithemia adnata*, *Rhopalodia gibba*, *Cladophora glomerata* и *Mougeotia* sp. Эти виды, а также *Oedogonium* sp., *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa* и *Eunotia pectinalis* составляли более 10 % хотя бы в одной из проб.

Однако реально структуру перифитона определяло заметно меньшее число видов, доминировавших не в отдельных пробах, а на исследованных участках в целом (табл. 2). На 7 исследованных участках отмечены 6 видов, которые доминировали по численности на одном или нескольких участках (*Aulacoseira islandica*, *Melosira varians*, *Fragilaria capucina*, *Fragilaria ulna*, *Cocconeis placentula*, *Rhopalodia gibba* и *Cladophora glomerata*), и 8 видов (*Melosira varians*, *Fragilaria capucina*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*, *Epithemia adnata*, *Cladophora glomerata*, *Oedogonium* sp. и *Mougeotia* sp.), доминировавших по биомассе. Их постоянное присутствие в альгоценозах на исследованных участках рек свидетельствует о сходстве условий формирования фитоциеноза.

Таблица 2
Table 2

Структура фитоперифитона рек южного побережья Онежского озера
Phytoplankton structure in rivers on the southern coast of Lake Onega

Водотоки (станции) / Watercourses (stations)	S, n	N, 10 ⁴ кл./см ² / N, 10 ⁴ cells/cm ²	B, мкг/см ² / B, µg/cm ²	Доминирующие виды / Dominant species	
				по численности / by abundance	по биомассе / by biomass
Ошпа (1)	20	138 (0,1–270)	1,8 (0,01–4,2)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Epithemia adnata</i> , <i>Cladophora glomerata</i> , <i>Oedogonium</i> sp., <i>Mougeotia</i> sp.
Ошпа (2)	24	190 (0,1–120)	2,3 (0,01–12)	<i>Melosira varians</i> , <i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Melosira varians</i> , <i>Epithemia adnata</i> , <i>Cladophora glomerata</i> , <i>Oedogonium</i> sp.
Водлица (3)	33	136 (0,1–180)	0,13 (0,01–3,5)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Cladophora glomerata</i> , <i>Mougeotia</i> sp.
Мегра (4)	77	51 (0,1–220)	0,8 (0,01–2,4)	<i>Melosira varians</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Fragilaria ulna</i>	<i>Melosira varians</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cladophora glomerata</i>
Мегра (5)	23	75 (0,1–121)	2,0 (0,01–7,3)	<i>Melosira varians</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Fragilaria ulna</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cladophora glomerata</i>	<i>Melosira varians</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cladophora glomerata</i>
Андома (6)	39	104 (0,1–172)	0,3 (0,01–3,4)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Melosira varians</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Mougeotia</i> sp.
Андома (7)	38	60 (0,1–60)	0,3 (0,01–6,8)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Epithemia adnata</i> , <i>Cladophora glomerata</i>

Примечание. S – число видов; N – численность, B – биомасса. Для численности и биомассы приведены средние значения, в скобках – их колебания.

Note. S – number of species; N – abundance, B – biomass. For abundance and biomass, average values are given, with their variations in parentheses.

Неоднородность субстрата, колебания скорости течения обуславливают характерную для фитоперифитона мозаичность и дискретность. Даже при высоком сходстве видового состава, отмечаемого для каждого из выбранных участков, биомасса группировок заметно варьирует. Размах колебаний численности водорослей достигает нескольких порядков, изменяясь от $0,1 \times 10^4$ до 270×10^4 кл./см². Ее максимальные значения в перифитоне, как правило, наблюдались на плесах за счет мелкоклеточных планктонных форм. Биомасса изменялась от 0,01 до 12 мкг/см² субстрата, но ее средние значения были достаточно близки. Максимальные значения биомассы, которую формировали нитчатые зеленые водоросли, отмечены на верхней поверхности крупных устойчивых валунов при достаточно высоких скоростях течения (около 1 м/с). По численности диатомовые водоросли доминировали на всех участках (до 97,0%), несмотря на высокую биомассу нитчатых водорослей в отдельных пробах (до 99% суммарной).

Сравнение структуры фитоперифитона водотоков показало ее достаточно высокую степень сходства (рис. 2). Тем не менее на дендрограмме при использовании данных о максимальной численности (N_{max}) и биомассе (B_{max}) выделяются два кластера: первый (А) объединяет пороги, а второй (В) – плесы.

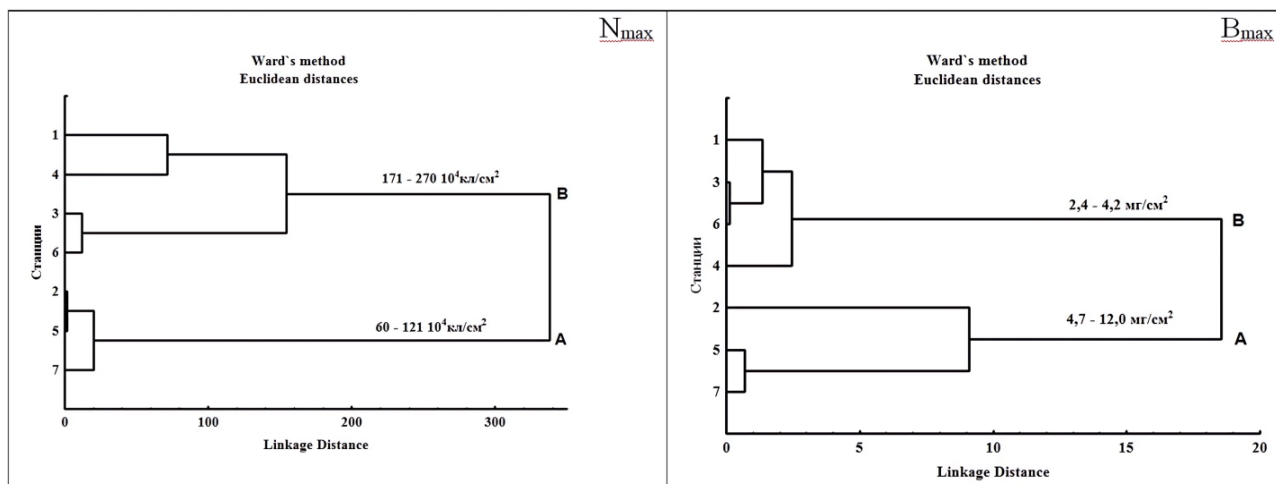


Рис. 2. Дендрограмма сходства фитоперифитона водотоков южного побережья Онежского озера: N_{max} – максимальная численность и B_{max} – максимальная биомасса; А и В – кластеры, сформированные на основе сходства данных; приведены диапазоны численности и биомассы фитоперифитона в соответствующих кластерах

Fig. 2. Dendrogram of similarity of the phytoplankton in the river streams on the southern coast of Lake Onega: N_{max} – maximum abundance and B_{max} – maximum biomass; A and B – clusters formed based on data similarity; the ranges of phytoplankton abundance and biomass in the corresponding clusters are provided

Экологический анализ фитоперифитона позволил выявить соотношение группировок водорослей, различающихся по отношению к основным характеристикам исследованных водотоков (рН, соленость, органическое загрязнение, температура и др.), а также по способности обитать в потоке и по требовательности к концентрации кислорода в воде.

Большая часть выявленных в альгофлоре перифитона видов – это бентосные в широком смысле формы, т. е. связанные с субстратом (46,0–85,2 % от общего количества таксонов), и планкто-бентосные виды (26,0–32,5 %). Многие из них (34,0–42,5 %) относятся к прикрепленным (перифитонным) формам [Wetzel, 1979]. В исследованных водотоках среди них нитчатые зеленые, а также разнообразные диатомеи родов *Tabellaria*, *Cocconeis*, *Symbella*, *Eunotia*, *Gomphonema* и ряда других. Среди 17 доминирующих видов как минимум 11, несомненно, относятся к этой группе.

По приуроченности к температурному режиму преобладали индифферентные виды (61,9 %), не имеющие строгой температурной специализации. Также отмечены эвритермные виды, толерантные к широким колебаниям температуры, и холодноводные виды.

Среди видов-индикаторов кислотности водной среды (55 таксонов) преобладали алкалофилы (43,6 %). Разнообразие ацидофилов (21,8 %) и индифферентов (29,1 %) значительно меньше. Это отличает структуру фитоперифитона в реках южного побережья от ранее исследованных рек бассейна Онежского озера [Комулайнен, 2023]. Отмечено снижение роли комплекса видов (*Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis*), характерного для гумифицированных водных экосистем.

По отношению к минерализации 73,7 % из перечня индикаторных видов (57 таксонов) – это индифференты, т. е. типичные обитатели пресных вод. Галофилы, предпочитающие воды с повышенной минерализацией, составляли только 10,5 % видов-индикаторов солёности воды. Доля галофобов в альгофлоре более заметна (15,8 %), а в структуре доминирующего комплекса они составляют около 20 %.

Среди индикаторов загрязнения воды органическими веществами преобладали эврисапробы (58,1 %) – водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивавшиеся в слабо- и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабозагрязненных вод – сапроксенов – значительно меньше (32,3 %). Сапрофилы, преобладающие в водах с сильным органическим загрязнением, в альгофлоре наименее заметны – 9,7 %, а среди доминантов они отсутствуют.

В составе фитоперифитона выявлено значительное число индикаторов сапробности (72 таксона водорослей), что достаточно для корректного сапробиологического анализа. В составе альгоценозов обрастаний выявлены виды, приуроченные к зонам от ксеносапробной до альфасапробной. Обитатели чистых вод – ксено-, олигосапробионты и обитатели переходной зоны между олиго- и β-мезосапробной – выявлены в количестве 63 и формируют 87,5 % от общего числа выявленных видов-индикаторов сапробности. Остальные виды-индикаторы одинаково хорошо развиваются как в чистых, так и загрязненных водах. По причине малочисленности данных видов их роль в формировании структуры обрастаний несущественна.

Значения индекса Сладечека и трофического диатомового индекса (TDI) изменяются соответственно от 0,52 до 0,85 и от 2,18 до 2,95. Это объясняется доминированием в перифитоне ксено-, ксено-олиго- и олигосапробных видов и позволяет отнести воды исследованных водотоков к олигосапробной зоне.

Макрозообентос. В составе макрозообентоса рек южного побережья Онежского озера обнаружен 121 таксон (включая виды и таксоны более высокого ранга) беспозвоночных, относящихся преимущественно к типам Annelida (15 видов; 12,5 %), Mollusca (10 видов; 8,3 %) и Arthropoda (96 видов; 79,2 %), в т. ч. среди Arthropoda: класс Arachnida – 4 и класс Insecta – 92. Список выявленных таксонов приведен в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Таксономический состав макрозообентоса рек
южного побережья Онежского озера
Taxonomic composition of the macrozoobenthos of rivers
on the southern coast of Lake Onega

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
Тип Annelida							
Класс Clitellata							
<i>Cognettia glandulosa</i> (Michaelson)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Enchytraeidae</i> sp.	–	+	–	–	–	–	–
<i>Lamprodrilus isoporus</i> Michaelson	–	+	–	–	–	–	–
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède	+	–	+	+	–	–	–
<i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller)	+	+	–	–	–	–	–
<i>Nais simplex</i> Piguet	+	–	–	–	–	–	–
<i>Ophidonais serpentina</i> (Müller)	+	–	–	–	–	–	–
<i>Potamothrix</i> sp.	–	+	–	–	–	–	–
<i>Propappus volki</i> (Michaelson)	–	–	–	+	–	–	–
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen	–	–	–	–	–	–	+
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus)	–	+	–	–	–	–	–
<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparède	–	–	+	–	–	–	–
<i>Tubifex</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus)	–	–	–	+	+	–	–
Тип Mollusca							
Класс Bivalvia							
<i>Euglesa</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Pisidium</i> sp.	+	+	+	–	–	–	+
<i>Sphaerium westerlundii</i> Clessin	+	–	–	+	–	–	–

Продолжение таблицы 3
 Continuation of Table 3

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
Класс Gastropoda							
<i>Ancylus fluviatilis</i> O.F. Müller	–	–	–	–	–	+	–
<i>Cincinna</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Gyraulus</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Gyraulus stelmachotius</i> (Bourguignat)	–	–	–	+	–	–	–
<i>Lymnaea</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Planorbis</i> sp.	–	–	+	–	–	–	–
<i>Valvata (Tropidina) pusilla</i> Martinson	–	+	–	–	–	–	–
Тип Arthropoda							
Класс Arachnida							
<i>Lebertia dubia</i> Thor	–	+	–	–	–	–	–
<i>Mixobates uncatatus</i> (Sokolow)	+	–	–	–	–	–	–
<i>Torrenticola amplexa</i> (Koenike)	–	–	–	–	–	+	–
Hydrachnidia spp.	–	–	–	–	+	–	–
Класс Insecta							
Отряд Hemiptera							
<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (Fabricius)	–	–	–	+	+	+	+
Отряд Ephemeroptera							
<i>Baetis fuscatus</i> (Linnaeus)	–	–	–	–	+	+	+
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet)	–	–	–	–	+	–	–
<i>Baetis vernus</i> Curtis	–	–	–	–	–	+	+
<i>Brachycercus harrisella</i> Curtis	–	+	–	–	–	–	–
<i>Caenis horaria</i> (Linnaeus)	–	–	+	+	–	–	–
<i>Caenis macrura</i> Stephens	–	–	–	–	+	+	–
<i>Centroptilum luteolum</i> Müller	–	–	+	–	–	–	–
<i>Ephemera lineata</i> Eaton	–	+	+	–	+	–	–
<i>Ephemera vulgata</i> Linnaeus	–	+	–	+	–	–	–
<i>Ephemerella notata</i> Eaton	–	–	–	–	+	–	–
<i>Heptagenia dalecarlica</i> Bengtsson	–	–	–	–	+	–	–
<i>Heptagenia sulphurea</i> (Müller)	–	–	+	–	+	+	+
<i>Nigrobaetis digitatus</i> (Bengtsson)	–	–	–	–	+	–	–
<i>Paraleptophlebia submarginata</i> (Stephens)	–	–	–	–	+	–	–
<i>Serratella ignita</i> (Poda)	–	–	–	–	+	+	–
Отряд Plecoptera							
<i>Diura bicaudata</i> (Linnaeus)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Isogenus nubecula</i> Newman	–	–	–	–	–	–	+
<i>Isoperla difformis</i> (Klapálek)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Leuctra fusca</i> (Linnaeus)	–	+	–	–	–	+	+
<i>Leuctra</i> sp.	–	–	–	–	+	+	–
<i>Taeniopteryx nebulosa</i> (Linnaeus)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Xanthoperla apicalis</i> (Newman)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Sialis fuliginosa</i> Pictet	–	+	–	–	–	–	–
Отряд Megaloptera							
<i>Sialis sordida</i> Klingstedt	–	–	–	+	–	–	–

Продолжение таблицы 3
Continuation of Table 3

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
Отряд Trichoptera							
<i>Arctopsyche ladogensis</i> (Kolenati)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Athripsodes cinereus</i> (Curtis)	–	–	+	–	–	–	–
<i>Brachycentrus subnubilus</i> Curtis	–	–	–	–	+	–	–
<i>Ceraclea</i> sp.	+	–	+	–	–	–	–
<i>Ceratopsyche silfvenii</i> (Ulmer)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Hydropsyche contubernalis</i> McLachlan	–	–	–	–	+	+	–
<i>Hydropsyche pellucidula</i> (Curtis)	–	–	–	–	–	+	+
<i>Hydroptila</i> sp.	–	–	–	–	+	–	–
<i>Neureclipsis bimaculata</i> (Linnaeus)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Oxyethira</i> sp.	–	–	–	–	+	–	–
<i>Polycentropus flavomaculatus</i> (Pictet)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Psychomyia pusilla</i> (Fabricius)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Rhyacophila nubila</i> Zetterstedt	–	–	–	–	–	+	+
Отряд Coleoptera							
<i>Elmis aenea</i> (Müller) + <i>Elmis maugetii</i> Latreille	–	+	–	–	+	+	–
<i>Halipus</i> sp.	+	–	–	–	–	–	–
<i>Limnius volckmari</i> (Panzer)	–	+	–	–	+	+	+
<i>Oulimnius tuberculatus</i> (Müller)	–	+	+	–	–	–	+
Отряд Odonata							
<i>Onychogomphus forcipatus</i> Linnaeus	–	–	–	–	+	–	+
Отряд Diptera							
Семейство Simuliidae							
<i>Simulium morsitans</i> Edwards	–	–	–	–	+	–	–
<i>Simulium</i> sp.	–	–	–	–	–	–	+
Семейство Chironomidae							
<i>Ablabesmyia</i> sp.	+	–	+	+	–	–	–
<i>Chironomus plumosus</i> (Linnaeus)	–	–	+	–	–	–	–
<i>Cladotanytarsus</i> sp.	+	+	+	+	–	+	–
<i>Clinotanypus nervosus</i> (Meigen)	–	–	–	+	–	–	–
<i>Cricotopus bicinctus</i> (Meigen)	+	+	–	–	–	+	+
<i>Cryptochironomus obreptans</i> (Walker)	–	–	+	+	–	–	–
<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> (Zetterstedt)	–	–	–	+	–	–	–
<i>Diamesa</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–
<i>Epoicocladius flavens</i> (Malloch)	–	+	–	–	–	–	–
<i>Eukiefferiella</i> sp.	–	–	–	–	–	+	+
<i>Glyptotendipes glaucus</i> (Meigen)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Harnischia curtilamellata</i> (Malloch)	+	–	–	–	–	–	–
<i>Heterotrissocladius marcidus</i> (Walker)	–	+	–	+	–	–	–
<i>Microtendipes pedellus</i> (De Geer)	–	–	+	+	–	–	–
<i>Monodiamesa bathyphila</i> (Kieffer)	+	+	–	–	–	–	–
<i>Nanocladius balticus</i>	–	–	+	–	–	–	+
<i>Nilotanypus</i> group sp.	+	–	+	+	–	+	+
<i>Orthocladius</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–
<i>Paracladopelma camptolabis</i> (Kieffer)	–	–	–	+	–	–	–
<i>Parachironomus varus</i> (Goetghebuer)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Paralauterborniella nigrohalteralis</i> (Malloch)	+	–	+	–	–	–	–
<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meigen)	–	–	–	+	–	–	–

Окончание таблицы 3
 End of Table 3

Таксоны / Taxa	Станции отбора проб / Research stations						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Polypedilum nubifer</i> Skuse	+	+	–	–	–	–	–
<i>Polypedilum scalaenum</i> (Schrank)	–	–	+	–	–	+	–
<i>Potthastia gaedii</i> (Meigen)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Procladius</i> sp.	+	+	–	–	–	–	–
<i>Psectrocladius bisetus</i> Goetghebuer	+	–	+	–	–	–	–
<i>Pseudorthocladius</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–
<i>Robackia demeijerei</i> (Kruseman)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Rheocricotopus robacki</i> (Beck & Beck)	–	–	–	–	–	+	+
<i>Rheotanytarsus</i> sp.	–	–	+	+	–	+	+
<i>Stempellinella</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–
<i>Stenochironomus gibbus</i> (Fabricius)	–	–	–	–	–	–	+
<i>Stictochironomus crassiforceps</i> (Kieffer)	+	+	+	+	–	–	–
<i>Synorthocladius semivirens</i> (Kieffer)	–	–	–	–	–	+	–
<i>Tanytarsus</i> sp.	+	+	+	–	–	+	+
Семейство Ceratopogonidae							
<i>Bezzia nobilis</i> (Winnertz)	–	+	+	+	–	–	–
<i>Mallochohelea</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
<i>Nilobezzia</i> sp.	–	+	+	–	–	–	–
Ceratopogonidae spp.	+	–	–	–	+	+	–
Семейство Athericidae							
<i>Atherix ibis</i> (Fabricius)	–	–	–	–	+	+	+
Семейство Pediciidae							
<i>Dicranota bimaculata</i> (Schummel)	–	+	–	–	+	+	+
<i>Pedicia</i> sp.	–	+	–	–	–	–	–
Семейство Limoniidae							
<i>Eloeophila</i> sp.	–	+	–	–	–	–	–
<i>Hexatoma</i> sp.	+	+	–	+	+	+	–
<i>Phylidorea</i> sp.	–	–	+	–	–	–	–
Семейство Tabanidae							
Tabanidae spp.	+	+	+	–	–	–	–

Кроме донных беспозвоночных в пробах отмечены личинки речной миноги *Lampetra fluviatilis* (Linnaeus, 1758), которую обычно не относят к макрозообентосу, хотя она и входит в донные сообщества на ранних стадиях развития (станции 4 и 6).

По численности в макрозообентосе порогов доминируют нимфы и имаго *Aphelocheirus aestivalis* (Hemiptera), а среди субдоминантов отмечены личинки *Hydropsyche contubernalis* (Trichoptera), *Simulium morsitans* (Simuliidae), *Rheocricotopus robacki* (Chironomidae), *Baetis fuscatus* (Ephemeroptera), личинки и имаго *Limnius volckmari* (Coleoptera). Второстепенными были *Hydropsyche pellucidula*, *Elmis maugetii*, *Isoperla difformis*, *Cricotopus bicinctus*, *Parachironomus varus*, *Nanocladius balticus*, *Leuctra* sp., *Orthocladius* sp., *Baetis rhodani*, *Spirosperma ferox*, *Rheotanytarsus* sp., *Serratella ignita*, *Caenis macrura*, *Simulium* sp., *Heptagenia sulphurea*, *Cladotanytarsus* sp. и *Robackia demeijerei*.

По биомассе на порогах доминируют *Aphelocheirus aestivalis*, *Hydropsyche contubernalis*, *Onychogomphus forcipatus* и *Hydropsyche pellucidula*. Среди второстепенных видов – *Rhyacophila nubila*, *Simulium morsitans*, *Limnius volckmari*, *Atherix ibis*, *Hexatoma* sp., *Arctopsyche ladogensis* и *Baetis fuscatus*.

На плесах по численности доминируют представители Chironomidae – *Stictochironomus crassiforceps* и *Cladotanytarsus* sp. К субдоминантам отнесены *Bezzia nobilis*, *Nilotanypus* sp. и *Tanytarsus* sp. Среди второстепенных видов – *Monodiamesa bathyphila*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Ablabesmyia* sp., *Polypedilum nubifer*, *Microtendipes pedellus*, *Euglesa* sp., Tabanidae spp., *Procladius* sp., *Polypedilum nubeculosum*, *Hexatoma* sp., *Paracladopelma camptolabis*, *Rheotanytarsus* sp., *Ephemera vulgata*, *Cryptochironomus obreptans*, *Oulimnius tuberculatus*, *Pisidium* sp., *Ephemera lineata* и *Ceraclea* sp.

По биомассе на плесах доминирует *Ephemera vulgata*, среди субдоминантов отмечены *Sphaerium westerlundi*, *Stictochironomus crassiforceps*, *Ephemera lineata*, Tabanidae spp., *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Cladotanytarsus* sp. Второстепенные – *Pisidium* sp., *Nilotanypus* sp., *Aphelocheirus aestivalis*, *Bezzia nobilis*, *Ablabesmyia* sp., *Hexatoma* sp., *Euglesa* sp., *Athripsodes cinereus*, *Tanytarsus* sp., *Cincinna* sp., *Oulimnius tuberculatus* и *Monodiamesa bathyphila*.

Численность бентоса варьировала по станциям от 640 до 5275 экз./м² (среднее значение 2547,1 экз./м², медиана 1900 экз./м²; квартили: Q1 – 1475, Q3 – 4075). Биомасса донных организмов составляла от 0,17 до 30,0 г/м² (среднее значение 9,73 г/м², медиана 3,62 г/м²; квартили: Q1 – 1,70, Q3 – 18,00). Численность и биомасса демонстрировали заметные различия между порогами и плесами (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Численность и биомасса крупных таксономических групп в макрозообентосе рек южного побережья Онежского озера
Abundance and biomass of large taxonomic groups in the macrozoobenthos of the rivers on the southern coast of Lake Onega

Таксоны / Таха	Численность, экз./м ² / Number, specimens/m ²		Биомасса, г/м ² / Biomass, g/m ²	
	Плес (n = 12) / Reach (n = 12)	Порог (n = 9) / Rapid (n = 9)	Плес (n = 12) / Reach (n = 12)	Порог (n = 9) / Rapid (n = 9)
Oligochaeta	88 (0–300)	92 (0–525)	0,09 (0,00–0,25)	0,07 (0,00–0,40)
Hirudinea	4 (0–50)	14 (0–50)	0,15 (0,00–1,75)	0,07 (0,00–0,25)
Bivalvia	79 (0–600)	72 (0–200)	1,67 (0,00–14,3)	0,42 (0,00–2,74)
Gastropoda	25 (0–200)	3 (0–25)	0,69 (0,00–7,25)	0,00 (0,00–0,03)
Hydracarina	0	11 (0–75)	0	0,01 (0,00–0,05)
Ephemeroptera	71 (0–250)	347 (25–700)	0,94 (0,00–2,95)	0,62 (0,01–2,01)
Plecoptera	4 (0–50)	189 (0–575)	0,01 (0,00–0,08)	0,31 (0,00–1,03)
Megaloptera	8 (0–50)	0	0,21 (0,00–2,45)	0
Odonata	0	14 (0–75)	0	2,28 (0,00–10,66)
Hemiptera	2 (0–25)	417 (0–1250)	0,01 (0,00–0,05)	3,68 (0,00–13,68)
Trichoptera	21 (0–75)	681 (0–2025)	0,03 (0,00–0,30)	6,69 (0,00–19,44)
Coleoptera	38 (0–100)	300 (50–775)	0,05 (0,00–0,21)	0,28 (0,06–0,80)
Simuliidae	0	419 (0–3125)	0	0,71 (0,00–5,86)
Chironomidae	1193 (125–2275)	978 (75–3000)	0,51 (0,05–1,11)	0,29 (0,04–0,62)
Ceratopogonidae	145 (0–925)	17 (0–75)	0,09 (0,00–0,48)	0,02 (0,00–0,06)
Прочие	77 (0–275)	50 (0–100)	0,43 (0,00–3,82)	0,75 (0,00–2,08)
Всего:	1755 (640–2975)	3603 (1000–5275)	4,87 (0,18–30,01)	16,20 (2,16–25,63)

Примечание: в скобках приведены максимальные и минимальные значения по станциям.
Note: maximum and minimum values for stations are given in brackets.

Анализ биологического разнообразия показал, что, хотя число видов в пробах на порогах заметно превышало таковое на плесах, остальные показатели, характеризующие биоразнообразие, были достаточно близки (табл. 5).

Таблица 5
 Table 5

Оценка биологического разнообразия макрозообентоса рек
 южного побережья Онежского озера
 Assessment of macrozoobenthos biodiversity in the rivers of the southern coast of Lake Onega

Показатели / Indicators	Все станции / All Stations	Пороги / Rapids	Плесь / Reaches
Число таксонов в пробе, n	9–25	14–25	9–20
Число таксонов на станции, n	24–39	29–39	24–32
Индекс Симпсона 1–D	0,80 ± 0,02	0,80 ± 0,04	0,80 ± 0,02
Индекс Шеннона H'	2,20 ± 0,07	2,20 ± 0,12	2,20 ± 0,08
Выравненность E	0,80 ± 0,02	0,70 ± 0,04	0,80 ± 0,02

Анализ трофической структуры макрозообентоса позволил определить, что ведущую роль в ее формировании, особенно в биотопе плесов, играют коллекторы-собиратели. Также велико участие коллекторов-фильтраторов, что в целом характерно для водотоков (табл. 6).

Таблица 6
 Table 6

Трофическая структура макрозообентоса рек южного побережья Онежского озера
 Trophic structure of the macrozoobenthos of the rivers on the southern coast of Lake Onega

Трофические группы / Trophic groups	Численность, % / Number, %		Биомасса, % / Biomass, %	
	Пороги / Rapids	Плесь / Reaches	Пороги / Rapids	Плесь / Reaches
Хищники	20,4	11,3	48,1	9,6
Измельчители	2,5	0,2	0,6	0,1
Соскребатели	1,4	2,6	0,7	14,5
Коллекторы-фильтраторы	34,4	29,1	42,7	38,0
Коллекторы-собиратели	41,2	56,8	7,9	37,8

Оценка степени органического загрязнения показала, что все обследованные участки рек относятся к β-мезосапробной зоне (значения индекса в пределах 1,51–2,50), что указывает на умеренное загрязнение органическими веществами с преобладанием окислительных процессов (табл. 7).

Таблица 7
 Table 7

Значения индекса сапробности по макрозообентосу для рек
 южного побережья Онежского озера
 Macrozoobenthos saprobity index values for the rivers on the southern coast of Lake Onega

Реки (станции) / Rivers (Stations)	Индекс сапробности / Saprobic Index
Ошта (1)	Недостаточно данных
Ошта (2)	1,84
Водлица (3)	2,07
Мегра (4)	1,79
Мегра (5)	1,78
Андома (6)	1,95
Андома (7)	1,61

Обсуждение

Таксономический состав сообществ и набор доминирующих видов в водотоках южного побережья Онежского озера типичны для речных экосистем европейского Севера России.

Преобладание отдела Bacillariophyta (47 видов, 24 рода, 8 семейств) и высокое разнообразие пennisных диатомей свидетельствуют о сходстве структуры фитоперифитона обследованной территории с пресноводными экосистемами Республики Карелия [Генкал и др., 2015]. Подобная структура определяется прежде всего географическим положением региона и особенностями ландшафта, в частности его заболоченностью. В составе фитоперифитона наиболее разнообразны диатомовые водоросли, а в макрозообентосе доминируют амфибиотические насекомые. Все определенные в составе группировок виды в той или иной пропорции постоянно встречаются в реках региона, что указывает на определяющую роль климата в формировании гидробиоценозов. Порожистый характер рек, который в целом соответствует зоне ритрали, обуславливает малое влияние размера водотока на структуру фитоперифитона и макрозообентоса. Поэтому во всех водотоках на большинстве исследованных участков доминирующий комплекс сформирован реофильными формами фитоперифитона и макрозообентоса.

Наблюдаемые изменения в структуре фитоперифитона и зообентоса на исследованных участках рек носят природный характер. Вследствие однородности экологических условий сформированный под их влиянием комплекс видов остается практически неизменным от истока до устья реки, что отличает водотоки Фенноскандии от «типичных» рек, рассматриваемых в концепции речного континуума [Vannote et al., 1980]. Кроме того, структура фитоперифитона и зообентоса в реках зависит от характера подстилающих грунтов, а для фитоперифитона еще от освещенности. Уровень гидрологической нагрузки, а также размеры и устойчивость субстрата определяют пятнистость распределения организмов и значительные перепады плотности населения.

Обилие организмов и плотность группировок сопоставимы с таковыми в других малых и средних реках региона [Барышев, 2023]. Несмотря на высокие скорости течения, сообщества донных организмов достигают довольно высокого уровня развития, и их обилие колеблется в пределах обычного природного фона. Эколого-географический анализ сообществ выявил преобладание широко распространенных видов, индифферентных к температуре и минерализации.

Комплексное изучение структуры речных биоценозов и гидрохимического режима представляет собой основу для решения ряда фундаментальных задач гидробиологии. Полученные данные вносят вклад в понимание биоразнообразия сообществ водных организмов и позволяют уточнить представления о биоресурсном потенциале водотоков южной части водосбора Онежского озера. Структура гидробиоценозов и рассчитанные биоиндикационные индексы достаточно четко отражают трофический статус рек, что подтверждает высокие индикаторные возможности сообществ гидробионтов. Сведения по различным экологическим группировкам дополняют друг друга, повышая объективность оценки экологического состояния водотоков. Собранный материал может быть использован при разработке подходов к биоиндикационной оценке качества воды и служит эталонной базой для мониторинга речных экосистем региона – особенно учитывая, что в ряде исследованных рек ранее гидробиологические наблюдения не проводились.

Вместе с тем следует учитывать, что непродолжительный срок наблюдений не позволяет считать выявленный видовой состав полным: вероятно, часть видов, активных в определенные сезоны или на отдельных стадиях развития, осталась незарегистрированной. Для уточнения видового состава и анализа сезонной динамики структуры, численности и биомассы сообществ необходимы дальнейшие исследования, охватывающие полный годовой цикл. Только на такой основе можно будет строить более обоснованные выводы об устойчивости и функциональной организации данных экосистем.

Изучение структуры гидробиоценозов целесообразно рассматривать как неотъемлемую часть мониторинга водных экосистем. Это особенно актуально, поскольку нормативные природоохранные документы уже предусматривают оценку ряда биотических показателей в комплексе с традиционными абиотическими параметрами. Виды, которые предсказуемо реа-

гируют на изменения таких параметров, как содержание биогенных элементов, значение рН, соленость и концентрация органических веществ, могут быть использованы в качестве биоиндикаторов, отражающих состояние водных экосистем.

Выводы

В водотоках южного побережья Онежского озера отмечено высокое видовое богатство фитоперифитона (80 таксонов водорослей) и макрозообентоса (121 таксон беспозвоночных). Доминирующую роль среди водорослей играют диатомовые – 69,2 % от общего числа таксонов.

Структура речных сообществ региона определяется ограниченным набором доминирующих видов. В фитоперифитоне диатомовые лидируют по численности (до 97 %), нитчатые зеленые – по биомассе; в макрозообентосе – и по численности, и по биомассе доминируют личинки амфибиотических насекомых. Преобладают бентосные и планкто-бентосные формы (фитоперифитон), коллекторы-собиратели и фильтраторы (макрозообентос). Сообщества сформированы реофилами и видами, индифферентными к температуре и минерализации.

Вариации численности и биомассы фитоперифитона и макрозообентоса обусловлены гидрологическими условиями; наибольшая пространственная дифференциация выявлена между сообществами порогов и плесов.

По сапробиологическим показателям водотоки относятся к олигосапробной (по фитоперифитону) и β-мезосапробной (по макрозообентосу) зонам, что соответствует II–III классам чистоты (практически чистые и умеренно загрязненные воды).

Результаты подтверждают «типичность» сообществ для европейского Севера России и обосновывают их использование как биоиндикаторов в мониторинге водных экосистем.

Список литературы

- Баженова О.П., Костерова В.В. 2023. Экосистемные услуги крупных сибирских рек (на примере р. Иртыш). *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*, 2: 20–28. DOI: 10.26110/ARCTIC.2023.119.2.002
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, Pilies Studio, 498 с.
- Барышев И.А. 2023. Макрозообентос рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 334 с.
- Гареев А.М., Ахмедьянов Д.И., Островская Ю.В., Шевченко А.М. 2024. Особенности формирования и изменчивости гидролого-экологических характеристик малых рек бассейна р. Урал в условиях влияния совокупности естественных и антропогенных факторов. *Водные ресурсы*, 51(5): 647–657. DOI: 10.31857/S0321059624050096
- Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М., Научный мир, 202 с.
- Комулайнен С.Ф. 2003. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 43 с.
- Комулайнен С.Ф. 2023. Фитоперифитон водотоков северного побережья Онежского озера. *Вопросы современной альгологии*, 1 (31): 28–41. DOI: 10.33624/2311-0147-2023-1(31)-28-41
- Крылов А.В., Барышев И.А., Безматерных Д.М. и др. 2024. Методы гидробиологических исследований внутренних вод. Ярославль, Филигрань, 592 с.
- Леванидов В.Я. 1977. Биомасса и структура донных биоценозов реки Кедровой. В кн.: Пресноводная фауна заповедника «Кедровая Падь». Владивосток, ДВНЦ АН СССР: 126–159.
- Папаскири Т.В., Бойценюк Л.И., Груздев В.С., Суслов С.В., Хрусталева М.А., Медведев К.Е. 2023. Влияние сельскохозяйственного использования земель на водосборах малых рек на загрязнение вод химическими элементами. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 66(5): 441–444. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_441
- Семерной В.П. 2005. Санитарная гидробиология. Ярославль, ЯрГУ, 203 с.
- Тиунова Т.М., Тесленко В.А., Макаренченко М.А., Сиротский С.Е. 2013. Структура сообществ донных беспозвоночных в экосистемах рек бассейна реки Тимптон (Южная Якутия). В кн.: Жизнь пресных вод. Владивосток, Биолого-почвенный институт ДВО РАН: 187–198.

- Allan J.D., Castillo M.M. 2007. Stream ecology: structure and function of running waters. 2nd edition. Dordrecht, Netherlands, Springer, 428 p.
- Cummins K.W., Merritt R.W., Andrade P.C. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1): 69. DOI: 10.1080/01650520400025720
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.
- Kulik N., Efremenko N., Strakhovenko V., Belkina N., Borodulina G., Gatalskaya E., Malov V., Tokarev I. 2023. Geochemical Features of River Runoff and Their Effect on the State of the Aquatic Environment of Lake Onego. *Water*, 15(5): 964. DOI: 10.3390/w15050964
- Lautze J. (ed.). 2014. Key Concepts in Water Resource Management: A Review and Critical Evaluation. New York, Routledge and Earthscan, 131 p.
- Merritt R.W., Wallace J.R., Higgins M.J. et al. 1996. Procedures for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee River-floodplain ecosystem. *Florida Scientist*, 59(4): 216.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell I.R., Cushing C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130–137.
- Vörösmarty C., McIntyre P., Gessner M.O. et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 468: 334. DOI: 10.1038/nature09549
- Wetzel R.G. 1979. Limnology. 2nd edition. Philadelphia, Saunders College Pub., 767 p.

References

- Bazhenova O.P., Kosterova V.V. 2023. Ecosystem services of large Siberian rivers (on the example of the Irtys river). *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*, 2: 20–28 (in Russian). DOI: 10.26110/ARCTIC.2023.119.2.002
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushey sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel Aviv, Publ. Pilies Studio, 498 p.
- Baryshev I.A. 2023. Makrozoobentos rek Vostochnoy Fennoskandii [Macrozoobenthos of the rivers of Eastern Fennoscandia]. Petrozavodsk, Publ. KarRC RAS, 334 p.
- Gareev A.M., Akhmedyanov D.I., Ostrovskaya Yu.V., Shevchenko A.M. 2024. Features of the formation and variability of hydro-ecological characteristics of small rivers in the Ural River basin under the influence of a combination of natural and anthropogenic factors. *Water Resources*, 51(5): 647–657 (in Russian). DOI: 10.31857/S0321059624050096
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulaynen S.F. 2015. Diatomovye vodorosli vodoemov i vodotokov Karelii [Diatoms of water bodies and watercourses of Karelia]. Moscow, Nauchnyy mir, 202 p.
- Komulaynen S.F. 2003. Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fitoperifitona v mal'kikh rekakh [Guidelines for the study of phytoperiphyton in small rivers]. Petrozavodsk, Publ. KarRC RAS, 43 p.
- Komulaynen S.F. 2023. Phytoperiphyton in watercourses rivers of the north coast of Onega Lake. *Issues of modern algology*, 1: 28–41 (in Russian). DOI: 10.33624/2311-0147-2023-1(31)-28-41
- Krylov A.V., Baryshev I.A., Bezmaternykh D.M. et al. 2024. Metody gidrobiologicheskikh issledovaniy vnutrennikh vod [Methods of hydrobiological studies of inland waters]. Yaroslavl, Filigran', 592 p.
- Levanidov V.Ya. 1977. Biomassa i struktura donnykh biotsenozov reki Kedrovoy [Biomass and structure of bottom biocenoses of the Kedrovaya River]. In: Presnovodnaya fauna zapovednika "Kedrovaya Pad" [Freshwater fauna of the Kedrovaya Pad Nature Reserve]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences: 126–159.
- Papaskiri T.V., Boytsenyuk L.I., Gruzdev V.S., Suslov S.V., Khrustaleva M.A., Medvedev K.E. 2023. The influence of agricultural land use in the catchments of small rivers on water pollution by chemical elements. *International Agricultural Journal*, 66(5): 441–444 (in Russian). DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_441
- Semernoy V.P. 2005. Sanitarnaya gidrobiologiya [Sanitary hydrobiology]. Yaroslavl, Publ. YaRGPU, 203 p.
- Tiunova T.M., Teslenko V.A., Makarchenko M.A., Sirotkiy S.E. 2013. Struktura soobshchestv donnykh bespozvonochnykh v ekosistemakh rek basseyna reki Timpton (Yuzhnaya Yakutiya) [Structure of benthic invertebrate communities in ecosystems of the Timpton River basin (Southern Yakutia)]. In: Zhizn' presnykh vod [Freshwater life]. Vladivostok, Biologo-pochvennyy institut DVO RAN: 187–198.

- Allan J.D., Castillo M.M. 2007. Stream ecology: structure and function of running waters. 2nd edition. Dordrecht, Netherlands, Springer, 428 p.
- Cummins K.W., Merritt R.W., Andrade P.C. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1): 69. DOI: 10.1080/01650520400025720
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.
- Kulik N., Efremenko N., Strakhovenko V., Belkina N., Borodulina G., Gatalskaya E., Malov V., Tokarev I. 2023. Geochemical Features of River Runoff and Their Effect on the State of the Aquatic Environment of Lake Onego. *Water*, 15(5): 964. DOI: 10.3390/w15050964
- Lautze J. (ed.). 2014. Key Concepts in Water Resource Management: A Review and Critical Evaluation. New York, Routledge and Earthscan, 131 p.
- Merritt R.W., Wallace J.R., Higgins M.J. et al. 1996. Procedures for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee River-floodplain ecosystem. *Florida Scientist*, 59(4): 216.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell I.R., Cushing C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130–137.
- Vörösmarty C., McIntyre P., Gessner M.O. et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 468: 334. DOI: 10.1038/nature09549
- Wetzel R.G. 1979. Limnology. 2nd edition. Philadelphia, Saunders College Pub., 767 p.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Комулайнен Сергей Федорович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, г. Петрозаводск, Россия

Барышев Игорь Александрович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, г. Петрозаводск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey F. Komulaynen, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia
ORCID: 0000-0002-5738-9489

Igor A. Baryshev, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia
ORCID: 0000-0002-3534-874X