

Научная статья
УДК 574.583:556.55
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-22-31>

Структурно-функциональные характеристики фитопланктона озера Вендюрского, испытывающего влияние форелевого хозяйства

Юлия Леонидовна Сластина^{1✉}, Галина Эдуардовна Здравовеннова²,
Валерия Сергеевна Смирнова³

¹⁻³Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук,
Петрозаводск, Россия, jls@inbox.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования фитопланктона небольшого озера Вендюрского (юг Карелии) в весенний подледный, летний и осенний сезоны 2020 г. Рассмотрена динамика количественных и структурных показателей водорослей озера в период действия форелевого хозяйства в сравнении с показателями предыдущих лет. Для изученного периода 2020 г. определено 122 таксона альгофлоры, принадлежащих к 8 отделам. Структуру альгоценозов по видовому богатству и количественному развитию можно охарактеризовать как диатомово-зеленую с включениями золотистых водорослей. Осенью массово на отдельных участках встречались представители цианобактерий. Численность фитопланктона в весенний подледный период изменялась от 612 тыс. кл./л до 2 188 тыс. кл./л, биомасса достигала 2,9 мг/л при минимальном значении 0,1 мг/л. Средняя численность фитопланктона за изученный летний период 2020 г. составляла $2\,216 \pm 796$ тыс. кл./л при максимальной величине 3 986 тыс. кл./л, средняя биомасса в озере составляла $1,325 \pm 0,504$ мг/л. Значения численности осеннего фитопланктона в среднем составляли $4\,934 \pm 1\,665$ тыс. кл./л при максимальной величине 7 832 тыс. кл./л; значения биомассы в среднем составляли $5,8 \pm 1,5$ мг/л при максимальной величине 7,9 мг/л. Согласно эколого-географической характеристике большинство обнаруженных в озере представителей альгофлоры являются широко распространенными пресноводными организмами, относящимися к планктонной флоре и предпочитающими нейтральную реакцию среды. Индекс Шеннона увеличивался от 2,8 в центре озера до 3,3 в районе форелевого хозяйства, что свидетельствует о хорошем видовом разнообразии. Коэффициент общности видового состава Т. Сёрнсена 0,8 указывает на однородность между фитопланктонными сообществами разных районов озера. Большинство выявленных видов-индикаторов сапробности относится к представителям β -мезосапробной и олиго-бета-мезосапробной зон (до 78 % от общего числа выявленных индикаторных видов). Значение индекса сапробности соответствовало 2 классу чистоты вод (чистая, α -олигосапробная зона), что обусловлено видовым составом доминирующего комплекса фитопланктона; однако величина биомассы указывает на принадлежность водоема к 3 классу чистоты вод (удовлетворительно чистая, β -мезосапробная зона).

Ключевые слова: озеро, форелевое хозяйство, фитопланктон, структура, сезон, динамика, видовое разнообразие, численность, биомасса

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук».

Для цитирования: Сластина Ю. Л., Здравовеннова Г. Э., Смирнова В. С. Структурно-функциональные характеристики фитопланктона озера Вендюрского, испытывающего влияние форелевого хозяйства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 22–31. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-22-31>.

Original article

Structural and functional characteristics of phytoplankton of Lake Vendyurskoe affected by trout farm

Yulia L. Slastina^{1✉}, Galina E. Zdorovennova², Valeria S. Smirnova³

¹⁻³Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia, jls@inbox.ru

Abstract. The paper presents the results of a study of the phytoplankton of small Lake Vendyurskoe (south of Karelia) in the spring ice period, in summer and autumn seasons of 2020. The dynamics of quantitative and structural indices of lake algae during the trout farm operation is considered in comparison with the indices of previous years. For the studied seasons of 2020 there were identified 122 taxa of algal flora belonging to 8 divisions. The structure of al-

gocenoses can be characterized by rich species diversity and quantitative development as diatom green structure with golden algae insertions. In autumn the representatives of cyanobacteria were encountered en masse in some areas. Phytoplankton abundance in the spring ice period varied within 612 thousand cells/l - 2188 thousand cells/l, the biomass reached 2.9 mg/l with a minimum value of 0.1 mg/l. Phytoplankton abundance for the studied summer period of 2020 averaged 2216±796 thousand cells/l with a maximum value of 3986 thousand cells/l, the average biomass in the lake did not exceed 1.325±0.504 mg/l. Phytoplankton abundance in autumn averaged 4934±1665 thousand cells/l with a maximum value of 7832 thousand cells/l; biomass averaged 5.8±1.5 mg/l with a maximum value of 7.9 mg/l. According to the ecological and geographical characteristics, most representatives of the algal flora found in the lake are widespread freshwater organisms belonging to the planktonic flora and preferring a neutral reaction of the environment. The Shannon index increased from 2.8 in the center of the lake to 3.3 in the trout farming area, which indicates good species diversity. The Sorensen index of 0.8 revealed the homogeneity between phytoplankton communities in different areas of the lake. Most of the identified types of saprobity indices belong to the representatives of the β-mesosaprobic and oligo-beta-mesosaprobic zones (up to 78% of the total number of identified indicator species). The saprobity index corresponded to the 2nd class of water purity (pure, α-oligosaprobic), which is due to the species composition of the dominant phytoplankton complex, however, the biomass indicates that the lake belongs to the 3rd class of water purity (satisfactorily clean, β-mesosaprobic).

Keywords: lake, trout farm, phytoplankton, structure, season, dynamics, species diversity, abundance, biomass

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state task of the Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, FRC “Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”.

For citation: Slastina Yu. L., Zdorovenova G. E., Smirnova V. S. Structural and functional characteristics of phytoplankton of Lake Vendyurskoe affected by trout farm // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2022;1:22-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-22-31>.

Введение

В результате хозяйственной деятельности и усиливающейся антропогенной нагрузки, в частности, в связи с интенсивным развитием форелеводства в Республике Карелия, а также под влиянием климатических изменений последних десятилетий сообщества фитопланктона водоемов суши существенно меняют свои структурные и функциональные характеристики [1–3]. Особенно быстро это происходит в небольших мелководных озерах. Несомненно, отклик на видовую сукцессию фитопланктона в процессе эвтрофирования водоема наблюдается и на других элементах трофической цепи, в итоге затрагивая функционирование ихтиофауны. Возрастающее загрязнение водных экосистем усиливает необходимость проведения как химического, так и биологического мониторинга водоемов. При этом биологические показатели имеют очевидные преимущества перед химическими. Альгологические исследования позволяют оценить сукцессионные изменения водной экосистемы даже при проведении ограниченных по времени наблюдений.

В данной работе рассмотрено современное состояние фитопланктона небольшого мелководного озера, расположенного в бассейне Онежского озера, в связи с функционированием в нем форелеводческой фермы.

Цель исследования – определить современное состояние фитопланктона оз. Вендюрского, выполнить анализ размерно-видовой структуры, дать эколого-географическую характеристику фитопланктона, изучить сезонную динамику показателей количественного развития (численности, биомассы), доминирующих видов, с учетом полученных данных определить современный трофический статус озера, испытывающего влияние форелевого хозяйства.

Объект и методы исследования

Озеро Вендюрское – небольшой водоем Южной Карелии (площадь зеркала 10,2 км², максимальная и средняя глубины 11,3 и 5,3 м) [4], удаленный от крупных промышленных центров, который в течение последних 12 лет используется для разведения садковой форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum). Форелевое хозяйство расположено в юго-западной части озера в районе с преобладающими глубинами 5–8 м и производит до 300 т товарной продукции в год.

На центральной вертикали оз. Вендюрского в период с апреля по октябрь 2020 г. с минутной дискретностью проводились измерения температуры воды и содержания растворенного кислорода (РК) на автономной станции на 15 горизонтах (ст. 4–9, глубина 11,1 м). Использовались датчики RBR температуры (точность ±0,002 °С) и кислорода (диапазон 0–150 %, точность ±1 %). Измерения толщины снега и льда были выполнены в разных районах оз. Вендюрского 29 марта 2020 г. Отбор проб воды проводился 6 апреля, 26 июня и 25 октября 2020 г. на двух станциях – в центральной глубоководной части озера (ст. 4–9) и вблизи форелевого хозяйства (ст. ФХ, глубина 7 м) на 2–3 горизонтах. Одновременно с отбором проб на станциях было проведено измерение температуры воды, содержания РК и потоков фотосинтетической радиации (ФАР) по водному столбу с использованием зонда RBR-Concerto. Зондирование водной толщи флюорозондом ВВЕ Moldaenke (Германия) позволило установить характер распределения хлорофилла «а» по водному столбу.

Расположение станций отбора проб было выбрано для выявления закономерностей формирования структуры фитопланктона на участках, различающихся по морфометрии, особенностям гидро-

динамики и степени антропогенной нагрузки. Для определения количественных и структурных показателей фитопланктона пробы объемом 0,5 л отбирались батометром Рутнера на двух-трех горизонтах водной толщи.

Отбор и обработка проб проведены в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками [5]. Состав, экологию и распределение водорослевых сообществ анализировали общепринятыми методами. Видовую идентификацию водорослей выполняли с использованием отечественных определителей и ряда зарубежных авторов. Биомассу фитопланктонных организмов вычисляли стандартным методом, учитывая пространственную конфигурацию клеток [6]. Массовость видов рассчитывали исходя из того, что численность или биомасса вида составляет 10 % или более от общей численности. Для определения степени сапробности изученных районов озера рассчитывали индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека согласно работе О. П. Оксюка с коллегами [7]. Для оценки структуры и выравнивания сообществ применяли информационный индекс Шеннона–Уивера согласно работе Ю. А. Песенко [8]. Определяли коэффициент общности видового состава Т. Сёрнсена согласно [9]. Трофический статус водоемов оценивали по шкале трофности по методике С. П. Китаева [10]. Индикаторную значимость видов фитопланктона определяли по методике [11]. Эколого-географическая характеристика водорослей описана по материалам [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Температура воды, растворенный кислород, потоки ФАР и концентрация хлорофилла «а» в водной толще оз. Вендюрского в разные сезоны 2020 г.

Весенний подледный период. При проведении съемки 29 марта 2020 г. толщина льда изменялась в пределах 35–49 см, со средним значением 40 см. Концентрация РК в поверхностных слоях озера достигала 10 мг/л, снижаясь до 2 мг/л и менее в придонном слое центральной котловины. Высокий уровень подледной освещенности (до 90–100 Вт/м² на нижней границе льда) способствовал развитию подледной конвекции и активизации развития подледного планктона. На вертикальном профиле температуры выделялись подледный градиентный слой и конвективно-перемешанный слой (КПС), температура воды в котором составляла 2,1 °С, а нижняя граница располагалась на глубинах 4,8–5,8 м. Ниже КПС температура воды повышалась, достигая 4–4,5 °С в придонном слое центральной глубоководной части озера. Распределение хлорофилла «а» характеризовалось повышенными значениями в КПС (0,7–1,2 мкг/л) и заметным уменьшением ниже этого слоя (0,5–0,7 мкг/л) и в подледном градиентном слое (0,2–0,6 мкг/л). Равномерное распределение

хлорофилла «а» по КПС до его нижней границы (5–6 м) ниже фотической зоны (3 м) подтверждает важную роль конвективного перемешивания в распределении клеток водорослей в покрытых льдом водоемах в конце подледного периода [13, 14].

Летний период. После освобождения ото льда (6–8 мая 2020 г.) водная толща оз. Вендюрского практически сразу перешла в состояние устойчивой стратификации, что не является типичным для этого озера. Обычно период весеннего перемешивания продолжается несколько недель [15], лишь весной 2016 г. наблюдалась сходная ситуация с быстрым установлением стратификации [16]. Исчезновение периода весеннего перемешивания известно на лесных ламбах и небольших озерах [17] и может иметь негативные последствия для озерных экосистем, поскольку повышает риск усиления летней аноксии. Характер изменения температуры водной толщи на этапе весенне-летнего нагревания в 2020 г. был также не типичным для оз. Вендюрского. Стратификация водной толщи просуществовала до 7 июля, когда была полностью разрушена на фоне усиления ветра и продолжительного похолодания, начавшегося еще 27 июня. Обычно установление стратификации происходило в конце июня–начале июля [15]. Максимального развития стратификация достигла в середине июня 2020 г., когда разница температуры воды поверхностного и придонного слоев водной толщи оз. Вендюрского составляла 9–10 °С. В мае 2020 г. содержание РК по водной толще достигало 10–12 мг/л (до 115 %). В июне происходило истощение запасов кислорода, и к концу месяца на глубине более 4–5 м концентрация РК не превышала 3,0–3,7 мг/л (насыщение 50 %). В период отбора проб 26 июня 2020 г. потоки ФАР в поверхностном слое оз. Вендюрского (глубины до 0,5 м) достигали 1 000 мк моль/(м² · с), глубже 3 м были практически равны нулю на обеих станциях. Температура и РК были практически однородны по водному столбу в районе форелевого хозяйства (ст. ФХ) и заметно отличались в центральной глубоководной части озера (ст. 4–9) между поверхностным и придонными слоями. Слой скачка температуры располагался на глубинах 4,5–6,5 м.

Осенний период. При проведении измерений 25 октября 2020 г. температура воды была однородна по вертикали на обеих станциях, но в центральной части озера была несколько ниже (6,7 °С), чем вблизи форелевого хозяйства (6,9 °С). Наиболее насыщен кислородом был поверхностный метровый слой на обеих станциях (84–88 %), с увеличением глубины содержание РК снижалось – до 82–84 % в придонных слоях. Вертикальное распределение температуры и РК в оз. Вендюрском было характерно для этапа осеннего охлаждения, когда водная масса активно перемешивается под действием ветровой нагрузки и поверхностного выхолаживания.

Структурная характеристика альгоценозов оз. Вендюрского. В ходе исследований проб были получены данные о показателях развития и структуре фитопланктона Вендюрского озера в апреле (период весенней подледной конвекции), июне (период установления стратификации) и октябре (период осеннего охлаждения) 2020 г.

В весенний подледный период выявлено 33 таксона водорослей рангом ниже рода в следующем соотношении по систематическим отделам: зеленые (Chlorophyta) – 14 (43 %), диатомовые (Bacillariophyta) – 8 (24 %), золотистые (Chrysophyta) – 3 (9 %), сине-зеленые (Cyanophyta) – 3 (9 %), криптофитовые (Cryptophyta) – 2 (6 %), эвгленовые (Euglenophyta) – 2 (6 %), динофитовые (Dinophyta) – 1 (3 %). Доминантными видами на обследованных

участках озера – как по численности, так и по биомассе – являлись диатомовые и зеленые водоросли – *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simonsen *f. islandica*, *Aulacoseira italica* (Ehr.) Kütz. *f. italica*, *Asterionella formosa* Hass. *var. formosa*, *Stephanodiscus astraera* (Ehr.) Grun. *var. astraera*, *Botryococcus braunii* Kütz., *Chlamydomonas monadina* Stein. *var. monadina*. Кроме того, в составе фитопланктона было обнаружено 4 таксона рангом до рода – *Mallomonas sp.*, *Cryptomonas sp.*, *Peridinium sp.*, *Stephanodiscus sp.*

В результате анализа количественных показателей развития подледного фитопланктона (табл. 1) в апреле 2020 г. в районе форелевого хозяйства (ст. ФХ) в целом было установлено высокое значение биомассы (2,94 мг/л), что соответствует уровню β-мезотрофных вод [10].

Таблица 1

Table 1

Количественные показатели фитопланктона оз. Вендюрского в апреле, июне и октябре 2020 г. в центральной части озера (ст. 4–9) и вблизи форелевого хозяйства (ст. ФХ)

Quantitative indices of phytoplankton of Lake Vendyursky in April, June and October 2020 in the central part of the lake (st. 4–9) and near the trout farm (st. ФХ)

Сезон	Станция	Горизонт, м	Численность, тыс. кл./л	Биомасса, мг/л
Апрель 2020 г.	ст. 4–9	0,5	315,625	0,307
		10,0	612,5	2,031
	ст. ФХ	0,5	668,75	0,121
		6,0	2 187,5	2,939
Июнь 2020 г.	ст. 4–9	0,5	1 722	1,493
		3,0	1 884	0,962
		10,	3 230	2,074
	ст. ФХ	0,5	3 986	1,919
		3,0	1 384	0,902
		6,0	1 087	0,597
Октябрь 2020 г.	ст. 4–9	0,5	3 129	3,5
		3,0	5 244	6,7
		10,0	3 582	5,6
	ст. ФХ	0,5	7 832	7,9
		5,0	5 284	5,4
		6,0	4 534	5,6

В центральной части озера (ст. 4–9) также отмечено высокое значение биомассы (2,03 мг/л), что соответствует уровню α-мезотрофных вод [10]. В исследованиях подледного фитопланктона в феврале-марте 1984–1985 гг. средние значение биомассы и численности составляли 0,019 мг/л и 6,3 тыс. кл./л [4], что свидетельствует об уровне ультраолиготрофных вод [10]. Основа численности и биомассы фитопланктона в апреле 2020 г. вблизи форелевого хозяйства формировалась диатомовыми и зелеными водорослями, в центральной части озера – диатомовыми водорослями. Коэффициент

общности видового состава Т. Сёренсена [9] (0,5) выявил умеренное сходство между фитопланктонными сообществами станций отбора проб в подледных весенних условиях в апреле 2020 г.

В июне 2020 г. в составе фитопланктона выявлено 59 таксонов водорослей рангом ниже рода, 19 таксонов рангом до рода, принадлежащих к 8 систематическим отделам: зеленые (Chlorophyta) – 18 (30 %), диатомовые (Bacillariophyta) – 14 (24 %), золотистые (Chrysophyta) – 9 (15 %), сине-зеленые (Cyanophyta) – 6 (10 %), криптофитовые (Cryptophyta) – 4 (7 %), эвгленовые (Euglenophyta) –

4 (7 %), динофитовые (Dinophyta) – 3 (5 %), желто-зеленые (Xanthophyta) 1 (2 %).

Согласно данным предыдущих исследований (1973–2007 гг.), в период до начала функционирования форелевого хозяйства, летом в оз. Вендюрском определено 119 таксонов из 8 систематических групп: Cyanophyta – 10 (8,4 %), Chrysophyta – 16 (13,4 %), Bacillariophyta – 44 (37 %), Xanthophyta – 1 (0,8 %), Cryptophyta – 5 (4,2 %), Dinophyta – 6 (5 %), Euglenophyta – 2 (1 %), Chlorophyta – 35 (29,4 %) [4, 18].

Основа численности и биомассы фитопланктона в летний период 2020 г. формировалась диатомовыми и золотистыми водорослями; по численности их дополняли зеленые, а по биомассе динофитовые. Доминантами – как по численности, так и по биомассе – являлись представители диатомовых, золотистых и зеленых водорослей – *Asterionella formosa*, *Dinobryon divergens* Imh., *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komark.-Legn. В число массовых видов входили представители сине-зеленых. Так, в центральной части озера на глубине 3 м по численности преобладал вид *Aphanocapsa elachista* var. *Elachista* W. et G. S. West, а в районе форелевого хозяйства – *Aphanizomenon elenkinii* Kissel. В состав доминирующего комплекса по биомассе входили также динофитовые *Ceratium hirundinella* (O. F. Müll.) Schrank и *Peridinium cinctum* (Müll.) Ehrb., эвгленовая *Trachelomonas volvocina* Ehr. Кроме вышеперечисленных видов, на ст. 4–9 доминантом по биомассе являлся *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., а вблизи форелевых садков – *Dinobryon bavaricum* Imh. var. *bavaricum*, *Aulacoseira ambigua* (Grun.) O. Müll., *Peridinium willeyi* Huitf.-Kaas. Следует отметить, что коэффициент общности видового состава Т. Сёренсена – 0,8 – указывает на сходство между изученными районами озера. Согласно полученным ранее сведениям [5, 19], в летний сезон в 1973–2007 гг. массовыми видами были *Aulacoseira italica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz.var. *fenestrata*, *Stephanodiscus astraea*, *Dinobryon divergens*, *Ceratium hirundinella*. Сине-зеленые встречались единично, отмечена *Chroococcus turgidus* (Kütz.) Nageli. Ранее основу численности и биомассы, в отличие от современного этапа существования альгоценоза, создавали диатомовые.

Значения биомассы фитопланктона летом 2020 г. в озере в среднем не превышали $1,325 \pm 0,504$ мг/л при максимальной величине 2,074 мг/л (см. табл. 1), причем вертикальное распределение фитопланктона на ст. 4–9 характеризовалось увеличением биомассы в придонном горизонте, тогда как в районе форелевых садков биомасса уменьшалась от поверхностного к придонному горизонту почти в 4 раза. Среднее значение

биомассы на ст. 4–9 составило $1,509 \pm 0,376$ мг/л, тогда как на ст. ФХ – $1,139 \pm 0,519$ мг/л, что соответствует уровню α -мезотрофных вод [10].

Основу биомассы фитопланктона в июне 2020 г. – как в центральной части озера, так и в зоне форелевых садков – формировали диатомовые водоросли, создавая от 23 до 80 % всей биомассы фитопланктона. Также велик был вклад золотистых в обоих районах озера, преимущественно за счет развития представителей рода *Dinobryon*, продуцирующих от 23 до 37 % суммарной биомассы. В центральной части озера (ст. 4–9) основная часть биомассы формировалась диатомовыми (11–80 %), золотистыми (4–42 %) и динофитовыми (5–33 %). Схожая ситуация наблюдалась и в районе форелевых садков, но там, помимо диатомовых (24–39 %), золотистых (24–35 %) и динофитовых (12–29 %), была велика доля криптофитовых (4–11 %). Анализируя вертикальное распределение биомассы и соотношение основных отделов фитопланктона, можно сделать вывод о более равномерном распределении фитопланктонных сообществ в зоне форелевых садков, в сравнении с вертикальным распределением биомассы фитопланктона в центральной части озера.

Значения численности фитопланктона в озере летом 2020 г. в среднем не превышали $2\,216 \pm 796$ тыс. кл./л при максимальной величине $3\,986$ тыс. кл./л (см. табл. 1). Вертикальное распределение численности фитопланктона на ст. 4–9 происходило с увеличением от поверхности к придонному горизонту, тогда как в районе форелевых садков наблюдалась обратная динамика – уменьшение численности от поверхностного к придонному горизонту почти в 4 раза. Среднее значение численности на ст. 4–9 составило $2\,279 \pm 634$ тыс. кл./л, на ст. ФХ – $2\,152 \pm 1\,222$ тыс. кл./л.

Основа численности в центре озера формировалась диатомовыми (23–87 %), золотистыми (5–36 %), зелеными (3–23 %) и цианобактериями (1–18 %), так же, как и в районе форелевого хозяйства, где наибольший вклад принадлежал диатомовым (35–44 %), а доли золотистых составляли 20–23 %, зеленых – 13–29 % и цианобактерий – 6–17 % от общей численности. Анализируя вертикальное распределение численности и соотношение основных отделов фитопланктона, можно сделать вывод о более равномерном распределении фитопланктонных сообществ в зоне форелевых садков, в сравнении с вертикальным распределением численности в центральной части озера. Сопоставление полученных в летний период 2020 г. данных с результатами предыдущих исследований в тот же период в 1973, 1983, 1984, 2007 гг. показало, что они несколько отличаются по количественным показателям и структурным характеристикам (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Межгодовая динамика количественных показателей фитопланктона (численности Ч и биомассы Б) оз. Вендюрского летом по данным, полученным в 2020 г. и в предыдущие годы*

Interannual dynamics of quantitative indices of phytoplankton (abundance Ч and biomass Б) of Lake Vendyurskoye in the summer, according to the data obtained in 2020 and in previous years

Дата	Показатель	Всего	Доля от общего показателя, %					
			Bacillariophyta	Chrysophyta	Dino- и Cryptophyta	Chlorophyta	Cyanophyta	Euglenophyta
VI 1973	Ч	507	79,64	6,29	9,37	2,58	1,85	0,26
	Б	1,13	81,75	1,59	10,19	5,76	0,27	0,44
VII 1983	Ч	408	67,55	6,15	2,60	3,11	19,79	0,81
	Б	0,74	74,12	3,77	13,21	6,33	0,81	1,75
VIII 1984	Ч	1 306	27,85	1,76	4,38	3,97	60,99	1,06
	Б	1,24	31,77	6,22	41,55	9,14	7,52	3,80
VII 2007	Ч	448	97,10	0,45	0,00	0,89	1,56	0,00
	Б	1,15	89,97	0,17	0,00	9,42	0,44	0,00
VI 2020 ст. ФХ	Ч	2 152	40,31	20,91	2,90	25,22	9,28	1,38
	Б	1,14	32,54	27,60	26,07	5,95	0,66	7,18
VI 2020 ст. 4-9	Ч	2 278	46,73	22,93	1,11	15,94	11,26	2,03
	Б	1,51	36,53	28,48	23,71	7,59	0,42	3,27

* Составлено по [4, 18].

В период исследований 1973–1984 гг. значения биомассы были ниже, чем в настоящее время, водоем имел статус олиготрофного. В 2007 г. по величине биомассы (1,15 г/м³) Вендюрское озеро было признано α-мезотрофным [18].

В октябре 2020 г. в составе фитопланктона озера выявлено 48 таксонов водорослей рангом ниже рода, 12 таксонов рангом до рода, принадлежащих к 6 систематическим отделам: диатомовые (Bacillariophyta) – 20 (42 %), зеленые (Chlorophyta) – 13 (27 %), сине-зеленые (Cyanophyta) – 6 (12,5 %), золотистые (Chrysophyta) – 5 (10,5 %), эвгленовые (Euglenophyta) – 3 (6 %), криптофитовые (Cryptophyta) – 1 (2 %). Осенью по численности и биомассе доминировали преимущественно диатомовые *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira italica f. curvata*, обильно вегетировавшие на всех исследованных горизонтах обеих станций. Так, в фотическом слое на ст. ФХ численность и биомасса *Aulacoseira islandica* достигала 3 796 тыс. кл./л (49 %) и 6,919 мг/л (88 %) соответственно. Субдоминантом по биомассе и доминантом по численности также являлась диатомовая *Fragilaria intermedia*. Массово представлена в поверхностном горизонте в зоне расположения садков цианобактерия *Aphanocapsa elachista*, значения численности которой достигали 1 668 тыс. кл./л, что соответствовало 21 % от общей численности. В придонном горизонте ст. ФХ по биомассе доминировала диатомовая *Melosira varians* (14 %).

Значения численности осеннего фитопланктона в озере в среднем составляли 4 934 ± 1 665 тыс. кл./л при максимальной величине 7 832 тыс. кл./л (см. табл. 1). Среднее значение численности в центре озера (3 985 ± 1 114 тыс. кл./л) было несколько ниже, чем вблизи форелевого хозяйства (5 883 ± 1 729 тыс. кл./л). Значения биомассы осеннего фитопланктона в озере в среднем составляли 5,8 ± 1,5 мг/л при максимальной величине 7,9 мг/л (см. табл. 1). Среднее значение биомассы на ст. 4–9 составляло 5,3 ± 1,6 мг/л, на ст. ФХ было несколько выше – 6,3 ± 1,4 мг/л, что соответствует уровню α-эвтрофных вод [10]. Основная доля биомассы фитопланктона озера в осенний период формировалась диатомовыми и в центральной части озера (83–99 %), и вблизи форелевого хозяйства (96–99 %). Вклад остальных отделов водорослей был незначителен. Основу численности также формировали диатомовые, достигавшие на ст. 4–9 86–93 %, а на ст. ФХ 75–98 %; вклад цианобактерий достигал на ст. 4–9 7–12 %, на ст. ФХ 1–23 %; доля зеленых достигала 1–5 % на ст. 4–9.

Осенью вертикальное распределение биомассы и численности фитопланктона в центральной части озера характеризовалось повышенными в 1,4–1,5 раз значениями в срединном горизонте по сравнению с поверхностным и придонным слоями, тогда как в районе форелевых садков наблюдалось уменьшение от поверхностного к придонному горизонту в 1,2–1,4 раза этих показателей. Анализируя вертикальное распределение численности

Slashtina Yu. L., Zadorovskaya G. E., Smirnova V. S. Structural and functional characteristics of phytoplankton of Lake Vendyurskoye affected by trout farm

и соотношение основных отделов фитопланктона, можно сделать вывод о небольшом равномерном увеличении вклада диатомовых водорослей от поверхностного к придонному горизонту как в условно чистой зоне водоема, так и в зоне расположения садков форелевой фермы. Также можно отметить уменьшение доли цианобактерий от поверхностного горизонта к придонному в исследуемых районах.

Эколого-географический анализ показал, что в планктоне оз. Вендюрского были широко распространены космополитные виды (весной 89 %, летом 82 %, осенью 75 %), преимущественно относящиеся к планктонным формам (весной 87 %, летом 91–94 %, осенью 83–96 %). По отношению к солености воды по классификации Кольбе [5] преобладали индифферентные виды: весной 68 %, летом 75 %, осенью 77 %. По отношению к кислотности водной среды индифферентные виды составляли весной 83 %, летом 80 %; осенью доля индифферентных видов составляла в центральной части озера 58 %, вблизи форелевого хозяйства 70 %. Весной на долю алкалофильных видов приходилось 12 %, а доля ацидофильных видов составляла 5 %. На долю алкалофильных видов осенью приходилось в центре озера 34 %, вблизи садков 30 %, а ацидофильных в центре 8 %. Летом на долю алкалофильных видов приходилось на ст. 4–9 15 %, на ст. ФХ 13 %, а ацидофильных на ст. 4–9 встречалось 8 %, на ст. ФХ 4 %. Достаточно высокое количество алкалофильных форм в природных водах является индикатором повышенного поступления биогенов, что наблюдается и в других озерах Карелии, где расположены форелеводческие хозяйства [18, 19].

Индекс видового разнообразия Шеннона на период исследования в апреле 2020 г. для всех станций в среднем составлял 2,49, варьируя от 2,11 до 3,23. Максимальное значение этого индекса отмечено на ст. ФХ, подледный слой, глубина 0,5 м. В июне 2020 г. в центре озера индекс в среднем составлял 2,8, варьируя от 1,9 до 3,3. Минимум был отмечен на глубине 10 м, где доминировала *Asterionella formosa*. В районе форелевых садков индекс Шеннона составлял в среднем 3,3. Значения этого индекса в октябре 2020 г. в центре озера в среднем составляли 2,9, а в районе форелевых садков – 2,6.

Сапробиологический анализ фитопланктона (по отношению к содержанию органического вещества) показал, что в подледных условиях значения индекса сапробности на станции форелевого хозяйства составляли на поверхности (0,5 м) – 1,83, на глубине 6 м – 1,5, что позволяет отнести их к 3 классу чистоты вод (удовлетворительно-чистой, β-мезосапробная зона) [7]. В центре озера на поверхности индекс сапробности составлял 0,78, на глубине 6 м – 1,21, что позволяет отнести воды этого района озера ко 2 классу чистоты (чистой, олиго-сапробная зона).

Летом на ст. 4–9 и ст. ФХ к индикаторам олиго-β-мезосапробной степени загрязнения относилось 33 и 32 % видов соответственно, к индикаторам β-мезосапробной зоны – 42 и 46 % видов соответственно. Среднее значение индекса сапробности в центральной части озера составляло 1,2, варьируя от 1,2 до 1,3, а вблизи форелевого хозяйства – 1,3, варьируя в пределах 1,2–1,5, что позволяет отнести воды этих районов озера ко 2 классу чистоты вод (чистая, олиго-сапробная зона). Ранее рассчитанный по численности индикаторных видов индекс сапробности оз. Вендюрского составил 1,6 и характеризовал водоем как β-мезосапробный [18]. Но следует отметить, что средние значения биомассы в центральной части озера (1,509 мг/л) и в районе форелевых хозяйств (1,139 мг/л) позволяют отнести водоем к 3 классу чистоты вод (удовлетворительно чистая, β-мезосапробная зона) [7].

Осенью в центре озера и на ст. ФХ к индикаторам олиго-β-мезосапробной и β-мезосапробной зоны относилось большинство определенных видов. Среднее значение индекса сапробности в центре озера составляло 1,6, вблизи форелевых садков – 1,2. Полученные нами значения индексов сапробности сходны с оценками, полученными в предыдущий период исследований [18] для оз. Вендюрского. Однако количественные показатели развития фитопланктона значительно выше показателей, характерных для водоемов с подобным уровнем сапробности, что объясняется структурой доминирующего комплекса диатомей, имеющих низкие индексы сапробности.

Заключение

За период исследования в 2020 г. ранневесеннего подледного, летнего и осеннего состава фитопланктона оз. Вендюрского было выявлено 122 таксона водорослей из 8 систематических отделов. В отличие от исследований 1973–2007 гг. установлено, что значительный вклад в формирование общей биомассы и численности летом 2020 г. вносили представители не только диатомовых, но и динофитовых, золотистых и зеленых водорослей. Взросло влияние сине-зеленых и криптофитовых, изредка встречались желто-зеленые. В основу доминирующего комплекса входили *Asterionella formosa*, *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica*, *Stephanodiscus astraea*, *Fragilaria intermedia*, *Dinobryon divergens*, *Monoraphidium contortum*, *Chlamydomonas monadina*, *Aphanocapsa elachista*, *Aphanizomenon elenkinii*, *Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum*.

Массово на отдельных участках встречены представители цианобактерий. При сравнении двух районов озера – условно чистого и подверженного антропогенному воздействию (форелевые садки) – была выявлена однородность видового состава с высокими значениями видового разнообра-

разия. Среднее значение биомассы соответствовало уровню α -мезотрофных вод. Эколого-географический анализ выявил существенную долю (до 85 %) космополитных видов. По отношению к солености (до 76 %) и pH воды (до 83 %) виды были в большинстве индифферентны. Из 28 обнаруженных индикаторных видов сапробности 76 % относятся к олигосапробным, олигобетамезосапробным и бетамезосапробным видам. Среднее значение индекса сапробности соответствует 2 классу чистоты вод (чистой, олигосапробная зона), что обусловлено величинами сапробности доминирующего комплекса. Среднее значение биомассы соответствует 3 классу чистоты вод (удовлетворительно чистой, β -мезосапробная зона). Рассчитанные нами значения индекса сапробности не противоречат полученным ранее для данного водоема [18].

Основу флористического богатства образуют представители диатомовых, золотистых, зеленых, сине-зеленых, что характерно для многих карельских озер и водоемов умеренной зоны [10, 18–20]. Структура доминирующего комплекса летнего планктона сходна с таковой в других мезотрофных озерах умеренной зоны [21, 22]. Анализ состава доминирующих комплексов альгоценозов водоемов, расположенных вблизи оз. Вендюрского, имеющих схожие трофические и химико-

гидрологические характеристики (оз. Риндозеро, Сундозеро, Пялозеро, Сандап, Падмозеро, озера системы р. Лижмы – Лижмозеро, Тарасмозеро, Кедрозеро), на основании ранее опубликованных данных [18] позволил установить, что ядро доминирующего комплекса также составляют представители крупноклеточных диатомей, такие как *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira ambigua*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria capucina*, *Fragilaria crotonensis*. Полученные результаты по таксономической и видовой структуре фитопланктона, количественным и эколого-географическим показателям, динамике индексов сходства, биоразнообразия, индикаторной значимости свидетельствуют об устойчивом функционировании фитопланктонного сообщества озера. По результатам исследований, выполненных в разные сезоны 2020 г., не выявлено значительно влияния форелевого хозяйства на фитопланктонное сообщество оз. Вендюрского, количественные и сапробиологические характеристики, полученные нами, сопоставимы с выполненными в предыдущий период исследований до появления в озере форелевого хозяйства [4, 18]. Исследования условий обитания фитопланктонного сообщества оз. Вендюрского будут продолжены для выявления закономерностей его функционирования на разных этапах годового термического цикла.

Список источников

1. Shatwell T., Thiery W., Kirillin G. Future projections of temperature and mixing regime of European temperate lakes // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2019. N. 23 (3). P. 1533–1551.
2. Padisák J., Scheffler W., Kasprzak P., Koschel R., Krienitz L. Interannual variability in the phytoplankton composition of Lake Stechlin (1994–2000) // Arch. Hydrobiol. 2003. N. 58. P. 101–133.
3. Стерлигова О. П. и др. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2018. 127 с.
4. Лозовик П. А., Лукин А. А. и др. Озера Карелии: справ. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2013. 302 с.
5. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 250 с.
6. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 168 с.
7. Окслюк О. П., Жукинский В. Н. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиолог. журн. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 62–76.
8. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
9. Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons // Biologiske Skrifter. 1948. N. 5. P. 1–34.
10. Кумаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
11. Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
12. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология / под ред. С. Ф. Комулайнен, Т. А. Чекрыжева, И. Г. Вислянской. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. 81 с.
13. Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: effects on algal suspension // J. Plankton Res. 1997. N. 19. P. 1859–1880.
14. Пальшин Н. И., Здорвеннова Г. Э., Здорвеннов Р. Э., Ефремова Т. В., Гавриленко Г. Г., Тержевик А. Ю. Влияние весенней подледной освещенности и конвективного перемешивания на распределение хлорофилла «а» в малом мезотрофном озере // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46. № 3. С. 259–269. DOI: 10.31857/S0321-0596463259-269.
15. Здорвеннова Г. Э., Гавриленко Г. Г., Здорвеннов Р. Э., Маммарелла И., Ояла А., Хейсканен Ю., Тержевик А. Ю. Эволюция температуры водной толщи boreальных озер на фоне изменений регионального климата // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2017. Т. 149. Вып. 6. С. 59–74.
16. Тержевик А. Ю., Голосов С. Д., Гавриленко Г. Г., Здорвеннов Р. Э., Здорвеннова Г. Э., Волков С. Ю., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Богданов С. Р. Возможное влияние «необычной» весны на режим растворенного кислорода в мелководном озере в летний период // Тр. КарНЦ РАН. Сер.: Лимнология. 2017. № 10. С. 17–27.
17. Arvola L., George G., Livingstone D. M., Järvinen M. The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes, in The Impact of Climate Change on

European Lakes // Aquatic Ecology. 2010. Series 4. P. 85–101. DOI: 10.1007/978-90-481-2945-4_6.

18. Ильмаст Н. В., Китаев С. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидроэкология разнотипных озер южной Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. 92 с.

19. Сластина Ю. Л., Комулайнен С. Ф. Особенности видовой структуры и пигментных характеристик фитопланктона реки Лижмы // Водоросли, таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2011. С. 217–221.

20. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Ленинград: Наука, 1990. 184 с.

21. Дрозденко Т. В., Антал Т. К. Оценка качества воды устья реки Великой по показателям фитопланктона // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 51–60.

22. Чекрыжева Т. А., Комулайнен С. Ф. Альгофлора озер и рек Республики Карелия (Россия) // Альгология. 2007. Т. 10. № 3. С. 319–334.

References

1. Shatwell T., Thiery W., Kirillin G. Future projections of temperature and mixing regime of European temperate lakes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2019, no. 23 (3), pp. 1533-1551.

2. Padišák J., Scheffler W., Kasprzak P., Koschel R., Krienitz L. Interannual variability in the phytoplankton composition of Lake Stechlin (1994–2000). *Arch. Hydrobiol.*, 2003, no. 58, pp. 101-133.

3. Sterligova O. P. i dr. *Sostoianie presnovodnykh vodoemov Karelii s tovarnym vyrashchivaniem raduzhnoi foreli v sadkakh* [State of freshwater reservoirs in Karelia with commercial cultivation of rainbow trout in cages]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2018. 127 p.

4. Lozovik P. A., Lukin A. A. i dr. *Ozera Karelii: spravochnik* [Lakes of Karelia: reference book]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2013. 302 p.

5. *Metodika izucheniia biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methods for studying biogeocenoses of inland waters]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 250 p.

6. Fedorov V. D. *O metodakh izucheniia fitoplanktona i ego aktivnosti* [On methods of studying phytoplankton and its activity]. Moscow, Izd-vo MGU, 1979. 168 p.

7. Oksiiuk O. P., Zhukinskii V. N. i dr. Kompleksnaia ekologicheskaiia klassifikatsiia kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Comprehensive ecological classification of land surface waters quality]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1993, vol. 29, iss. 4, pp. 62-76.

8. Pesenko Iu. A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniakh* [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 288 p.

9. Sorensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 1948, no. 5, pp. 1-34.

10. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlia gidrobiologov i ikhtologov* [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2007. 395 p.

11. Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhaiushchei sredy* [Biodiversity of environmental indicator algae]. Tel'-Aviv, 2006. 498 p.

12. *Al'goflora ozer i rek Karelii. Taksonomicheskii sostav i ekologiya* [Algoflora of lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Pod redaktsiei S. F. Komulainen, T. A. Chekryzheva, I. G. Vislianskoi. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2006. 81 p.

13. Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: effects on algal suspension. *J. Plankton Res.*, 1997, no. 19, pp. 1859-1880.

14. Pal'shin N. I., Zdorovenнова G. E., Zdorovenнов R. E., Efremova T. V., Gavrilenko G. G., Terzhevik A. Iu. Vliianie vesennei podlednoi osveshchennosti i konvektivnogo peremeshivaniia na raspredelenie khlorofilla «a» v malom mezotrofnom ozere [Effect of spring under-ice illumination and convective mixing on distribution of chlorophyll in small mesotrophic lake]. *Vodnye resursy*, 2019, vol. 46, no. 3, pp. 259-269. DOI: 10.31857/S0321-0596463259-269.

15. Zdorovenнова G. E., Gavrilenko G. G., Zdorovenнов R. E., Mammarella I., Oiala A., Kheiskanen Iu., Terzhevik A. Iu. Evoliutsiia temperatury vodnoi tolshchi boreal'nykh ozer na fone izmenenii regional'nogo klimata [Evolution of temperature of water column of boreal lakes against background of changes in regional climate]. *Izvestiia Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2017, vol. 149, iss. 6, pp. 59-74.

16. Terzhevik A. Iu., Golosov S. D., Gavrilenko G. G., Zdorovenнов R. E., Zdorovenнова G. E., Volkov S. Iu., Pal'shin N. I., Efremova T. V., Bogdanov S. R. Vozmozhnoe vliianie «neobychnoi» vesny na rezhim rastvorennoho kisloroda v melkovodnom ozere v letnii period [Possible influence of unusual spring on regime of dissolved oxygen in shallow lake in summer]. *Trudy KarNTs RAN. Seriya: Limnologiya*, 2017, no. 10, pp. 17-27.

17. Arvola L., George G., Livingstone D. M., Järvinenet M. The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes, in *The Impact of Climate Change on European Lakes. Aquatic Ecology*, 2010, series 4, pp. 85-101. DOI: 10.1007/978-90-481-2945-4_6.

18. Il'mast N. V., Kitaev S. P., Kuchko Ia. A., Pavlovskii S. A. *Gidroekologiya raznotipnykh ozer iuzhnoi Karelii* [Hydroecology of lakes of different types in southern Karelia]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2008. 92 p.

19. Slastina Iu. L., Komulainen S. F. Osobennosti vidovoi struktury i pigmentnykh kharakteristik fitoplanktona reki Lizhmy [Peculiarities of species structure and pigment characteristics of phytoplankton of Lizhma River]. *Vodorosli, taksonomiia, ekologiya, ispol'zovanie v monitoringe*. Ekaterinburg, Izd-vo UrO RAN, 2011. Pp. 217-221.

20. Trifonova I. S. *Ekologiya i suksessiia ozernogo fitoplanktona* [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 184 p.

21. Dрозденко Т. В., Антал Т. К. Otsenka kachestva vody ust'ia reki Velikoi po pokazateliam fitoplanktona [Evaluation of water quality of mouth of Velikaya River by using phytoplankton indices]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2021, no. 1, pp. 51-60.

22. Чекрыжева Т. А., Комулайнен С. Ф. Al'goflora ozer i rek Respubliki Kareliia (Rossiia) [Algoflora of lakes and rivers of Republic of Karelia (Russia)]. *Al'gologiya*, 2007, vol. 10, no. 3, pp. 319-334.

Статья поступила в редакцию 09.04.2021; одобрена после рецензирования 02.02.2022; принята к публикации 25.02.2022
The article is submitted 09.04.2021; approved after reviewing 02.02.2022; accepted for publication 25.02.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Леонидовна Сластина – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии; Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук; Петрозаводск, проспект Александра Невского, 50; jls@inbox.ru

Yulia L. Slastina – Junior Researcher of the Laboratory of Hydrobiology; Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Petrozavodsk, Alexander Nevsky Prospect, 50; jls@inbox.ru

Галина Эдуардовна Здорвеннова – кандидат географических наук; старший научный сотрудник, руководитель лаборатории гидрофизики; Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук; проспект Александра Невского, 50; zdorovennova@gmail.com

Galina E. Zdorovennova – Candidate of Geographical Sciences; Senior Researcher, Head of the Laboratory of Hydrophysics; Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Petrozavodsk, Alexander Nevsky Prospect, 50; zdorovennova@gmail.com

Валерия Сергеевна Смирнова – инженер-исследователь лаборатории гидробиологии; Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук; Петрозаводск, проспект Александра Невского, 50; fyodorovavalerya@yandex.ru

Valeria S. Smirnova – Research Engineer of Laboratory of Hydrobiology; Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Petrozavodsk, Alexander Nevsky Prospect, 50; fyodorovavalerya@yandex.ru

