

## ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 556.555.4 (282.247.211)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ 2017 Г.

**Е. В. Теканова, Н. М. Калинкина, Р. Э. Здоровеннов,  
Е. М. Макарова**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,  
Петрозаводск, Россия*

По результатам исследований в августе 2017 г. получены новые данные об экосистеме Онежского озера, отражающие ее гидрофизические особенности (температура воды), качество воды (прозрачность, растворенный кислород и количество сапрофитных бактерий), трофический статус (хлорофилл *a*), влияние водосборной территории (цветность воды). Представлены вертикальные профили этих параметров вдоль озера по разрезам от северо-западных прибрежных загрязненных участков с речным стоком (Петрозаводская, Кондопожская губы) до южной оконечности озера. Результаты исследований показали, что центральная и южная части Онежского озера по-прежнему характеризуются высоким качеством воды и олиготрофным состоянием. Толщина эпилимниона достигала около 10 м, температура воды в нем не превышала 14,8–16,7 °С, термоклин в глубоководном районе озера располагался в слое 10–20 м. Прозрачность воды в открытом плесе озера достигала 3,5–4,0 м, ее цветность была 23–31 град. Pt-Co шкалы, насыщение воды кислородом составляло 87–92 %, концентрация хлорофилла *a* в фотическом слое не превышала 3,2 мкг/л, а численность сапрофитного бактериопланктона была не более  $n \cdot 10^2$  КОЕ/мл. Отмечено значительное снижение цветности воды, обилия сапрофитных бактерий и возрастание концентраций растворенного кислорода по направлению от Петрозаводской и Кондопожской губ в сторону открытого озера. Это указывает на эффективную трансформацию аллохтонного органического вещества природного (гуминовые вещества) и антропогенного (сточные воды коммунально-промышленных центров) происхождения в заливах. Численность сапрофитных бактерий, степень насыщения воды кислородом, концентрация хлорофилла *a* в отдельных районах озера оказались немного ниже, чем в предыдущие десятилетия. Для величины цветности воды, напротив, отмечена тенденция к увеличению.

**Ключевые слова:** водоем; качество воды; олиготрофия; хлорофилл *a*; цветность; растворенный кислород; бактериопланктон.

**E. V. Tekanova, N. M. Kalinkina, R. E. Zdorovenov, E. M. Makarova.**  
**RESULTS OF THE STUDY OF LAKE ONEGO ECOSYSTEM IN THE PERIOD**  
**OF SUMMER STRATIFICATION BASED ON MEASURED DATA FROM A 2017**  
**EXPEDITION**

New data characterizing the hydrophysical features (water temperature), water quality (water transparency, dissolved oxygen, and number of saprophytic bacteria), trophic status (chlorophyll *a*), and impact of the catchment (water color) of Lake Onego ecosystem were obtained in August 2017. The vertical profiles of these parameters along lake transects from northwestern polluted near-shore areas receiving river runoff (Petrozavodskaya, Kondopozhskaya bays) to the southern tip of the lake are shown. The results of the surveys show that the central and southern parts of Onego Lake are still characterized by high water quality and oligotrophic state. The epilimnion was about 10 m thick, the water temperature of this layer did not exceed 14.8–16.7 °C. The thermocline in the deep-water part of the lake was located at a depth of 10–20 m. The transparency of the water in pelagic parts of the lake reached 3.5–4.0 m, water color was 23–31 degrees on Pt-Co scale, oxygen saturation of the water was 87–92 %, chlorophyll *a* concentration in the photic layer did not exceed 3.2 µg/l, and saprophytic bacterioplankton numbers were within  $n \cdot 10^2$  CFU/ml. A significant reduction in water color and abundance of saprophytic bacteria, and an increase in dissolved oxygen concentrations were observed along the transect from Petrozavodskaya and Kondopozhskaya bays towards the pelagic part of the lake. This confirms that natural (humic substances) and anthropogenic (municipal and industrial wastewaters) allochthonous organic matter is effectively transformed in the bays. The abundances of saprophytic bacteria, the oxygen saturation of water, and the concentration of chlorophyll *a* in some areas of the lake were slightly lower than in previous decades. Water color, on the contrary, showed a tendency for an increase.

**Key words:** water body; water quality; oligotrophy; chlorophyll *a*; water color; dissolved oxygen; bacterioplankton.

## **Введение**

В последние два десятилетия на фоне глобальных климатических изменений и снижения антропогенной нагрузки во многих озерах мира отмечаются экосистемные изменения. Регулярные экологические исследования, которые проводит Институт водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» в Онежском озере на протяжении нескольких десятков лет, позволили к настоящему времени выявить такие признаки изменения его экосистемы, как увеличение продолжительности «биологического лета» [Филатов и др., 2012, 2014] и существенное снижение численности и биомассы глубоководного бентоса [Калинкина и др., 2016]. На этом фоне вплоть до 2010 г. Онежское озеро в целом все еще сохраняло основные природные характеристики экосистемы – холодноводность, олиготрофию, гетеротрофный характер метаболизма, высокое качество воды [Теканова, Тимакова, 2006; Биоресурсы..., 2008; Онежское..., 2010; Крупнейшие..., 2015; Калинкина и др., 2017].

В 2017 г. Институт водных проблем Севера провел комплексные сезонные биологические и химические исследования на Онежском озе-

ре. Целью настоящей работы была оценка современного состояния Онежского озера в период летней температурной стратификации 2017 г. по ключевым показателям: температуре воды, цветности, содержанию кислорода в воде, концентрации хлорофилла *a*, количеству сапрофитного бактериопланктона.

## **Материалы и методы**

Исследования проводились на НИС «Эколог» 7–12 августа 2017 г. В ходе экспедиции были обследованы Центральное Онего (станции С-1, С-2, С-3, С-4), Южное Онего (S-1, S-2), Петрозаводское Онего (PO2), Петрозаводская губа (P-2, P-3), Кондопожская губа (K-3, K-4, K50, K-6, K-7). Исследования велись вдоль двух продольных разрезов с оценкой вертикальных профилей изучаемых параметров (рис. 1). Разрезы соединяли южные и центральные районы озера с загрязняемыми заливами, принимающими сток крупных рек: разрез 1 – с Кондопожской губой (р. Суна), 2 – с Петрозаводской губой (р. Шуя).

Были измерены основные параметры экосистемы Онежского озера, отражающие ее гидрофизические особенности (температура воды), качество воды (растворенный кислород

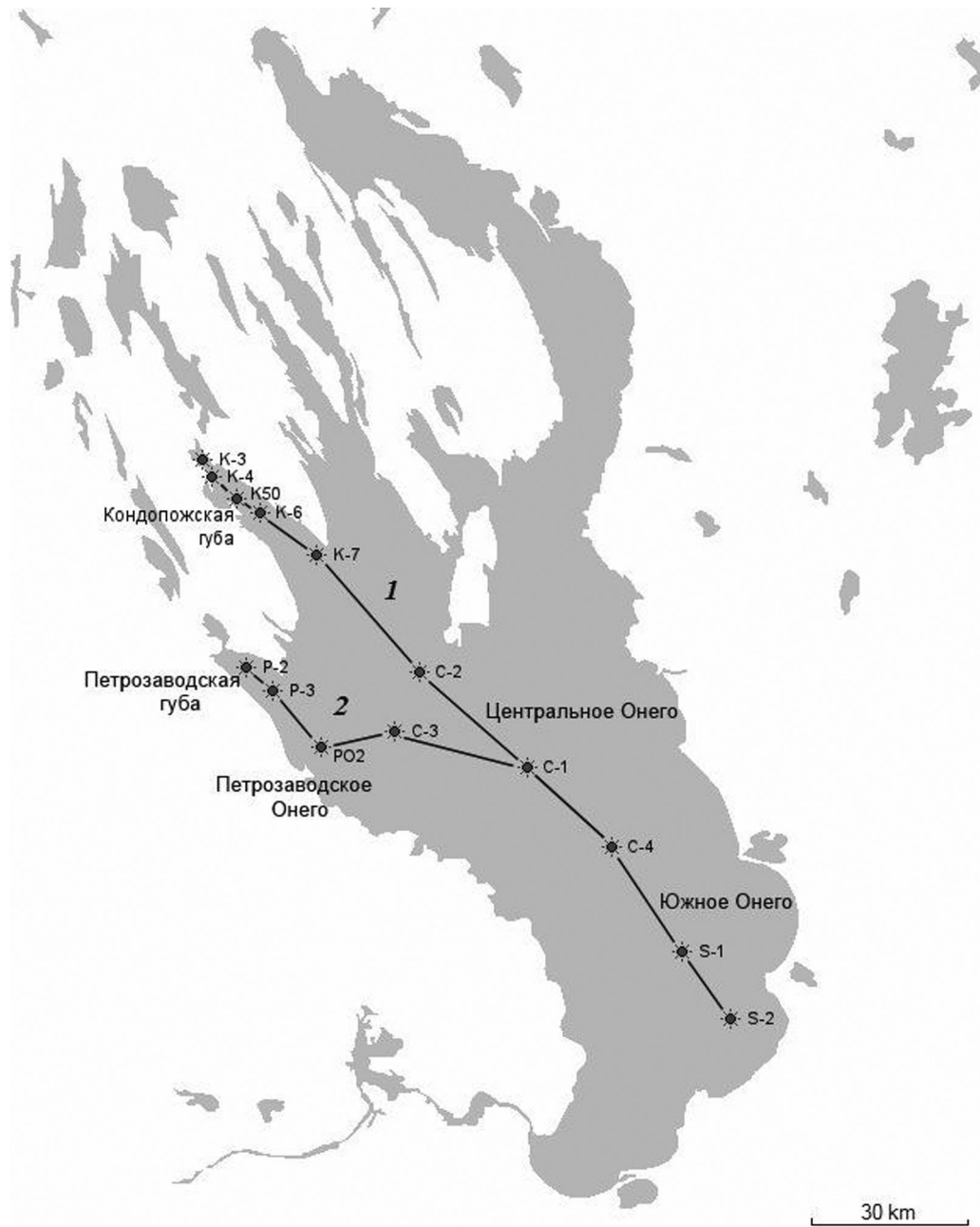


Рис. 1. Схема Онежского озера с точками отбора проб. Линиями показаны разрезы: 1 – Кондопожская губа – Центральное Онего – Южное Онего; 2 – Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего

Fig. 1. Scheme of Lake Onego and sampling points. The lines show the sections: 1 – Kondopoga Bay – Central Onego – South Onego; 2 – Petrozavodsk Bay – Central Onego – South Onego

и количество сапрофитных бактерий), трофический статус (хлорофилл *a*), влияние водосборной территории (цветность воды). На 14 станциях отобрано 78 проб воды на определение цветности и содержания хлорофилла *a*, 43 микробиологические пробы и 35 проб для определения растворенного кислорода. Цветность воды, концентрация хлорофилла *a* и содержание кислорода в воде определялись общепринятыми в гидрохимической практике ме-

тодами [РД 52.24.419–2005; РД 52.24.497–95, ГОСТ 17.1.04.02–90]. Обилие в воде сапрофитных бактерий оценивалось согласно руководству [Кузнецов, Дубинина, 1989]. Прозрачность воды измерялась с помощью белого диска Секки. Вертикальные профилирования температуры водной толщи от поверхности до дна были выполнены при помощи зонда CastAway-CTD компании Sontek (США). Точность измерений по температуре составляет  $\pm 0,05$  °С.

Прозрачность воды в Онежском озере в летний период, м (медианное, максимальное и минимальное значения)  
Transparency of water in Lake Onego in summer, m (median, maximum and minimum values)

Район озера Lake region		1990-е гг. 1990's	2000-е гг. 2000's.	2017 г. (август) 2017 (August)
Южное Онего South Onego		3,8 (3,0–4,6)	4,0 (3,7–4,0)	4 (езде) (everywhere)
Центральное Онего Central Onego		3,8 (3,4–4,5)	3,8 (3,6–4,5)	3,7 (3,5–3,9)
Петрозаводское Онего Petrozavodsk Onego		–*	3,3 (3,5–4,5)	4 (езде) (everywhere)
Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay		3,0 (2,5–3,5)	3 (2,3–3,3)	3 (езде) (everywhere)
Кондопожская губа Kondopoga Bay	Внешняя часть Outside part	3,3 (2,7–4)	3 (2,3–4,0)	4**
	Центральная часть Central part	2,8 (2–3,6)	2,8 (2,0–3,6)	3**
	Вершинная часть Upper part	1,5 (1,0–2,0)	1,2 (1,0–1,7)	1,7 (езде) (everywhere)

Примечание. \* Нет данных, \*\* одно измерение.

Note. \* No data, \*\* the only measurement.

## Результаты и обсуждение

### Температура воды

Температура верхнего слоя водной толщи (0,5 м) во время исследований составила в Центральном Онего 15,3–16,5 °С; в Южном Онего – 16,3–16,7 °С; в Петрозаводском Онего – 15,2 °С; в Петрозаводской губе – 15,3–15,9 °С; в Кондопожской губе – 14,8–18,0 °С. Эти значения являются нормой многолетних колебаний температуры поверхностного слоя воды для начала августа [Петров, 1990]. Вертикальные профили температуры показали, что устойчивая стратификация воды сформировалась в глубоководном Центральном Онего, в Петрозаводском Онего, а также в заливах, за исключением их вершинных участков, где находятся устья крупных рек Шуи и Суны. Толщина эпилимниона достигала 10 м, термоклин располагался на глубине 10–20 м (рис. 2), что соответствует типичной картине температурной стратификации в данный период [Ефремова, Пальшин, 2003]. Температура гиполимниона находилась в пределах 4–7 °С.

### Прозрачность воды

В августе 2017 г. прозрачность воды на акватории Онежского озера изменялась в диапазоне 1,7–4,0 м (табл.). Максимальные значения были определены для открытого плеса озера (Южного, Центрального, Петрозаводского Онего и внешней части Кондопожской губы). Закономерное снижение прозрачности воды отмечалось в загрязняемых заливах – Петро-

заводской губе (3 м) и во внутренней части Кондопожской губы (1,7–3,0 м). Наблюдаемые значения прозрачности вполне укладываются в диапазоны изменчивости прозрачности воды в разных районах озера в летний период 1990–2000-х гг. [Теканова, 2010].

### Растворенный кислород

В период исследований пространственное распределение кислорода на изученной акватории характеризовалось высокой степенью однородности, за исключением наиболее эвтрофированной Кондопожской губы. Его концентрация практически во всех изученных участках озера находилась в пределах 9,0–9,4 мг/л в эпилимнионе и увеличивалась до 10,2–11,7 мг/л в гиполимнионе. При этом насыщенность воды кислородом в эпилимнионе достигала 87–92 %. В гиполимнионе наиболее высокий процент насыщения воды кислородом обнаружен в Центральном и Петрозаводском Онего – 88–90 %. В Южном Онего и Петрозаводской губе он не превышал 84 % (рис. 2).

В вершинной части Кондопожской губы (район выпуска сточных вод целлюлозно-бумажного комбината) содержание кислорода в толще воды не превышало 7,7 мг/л. Здесь наблюдалось наименьшее насыщение эпи- и гиполимниона кислородом – 79 и 64 % соответственно. Относительно невысокий процент насыщения кислородом (в сравнении с другими участками озера) отмечался также в гиполимнионе глубоководной срединной части Кондопожской губы – 79–81 %.

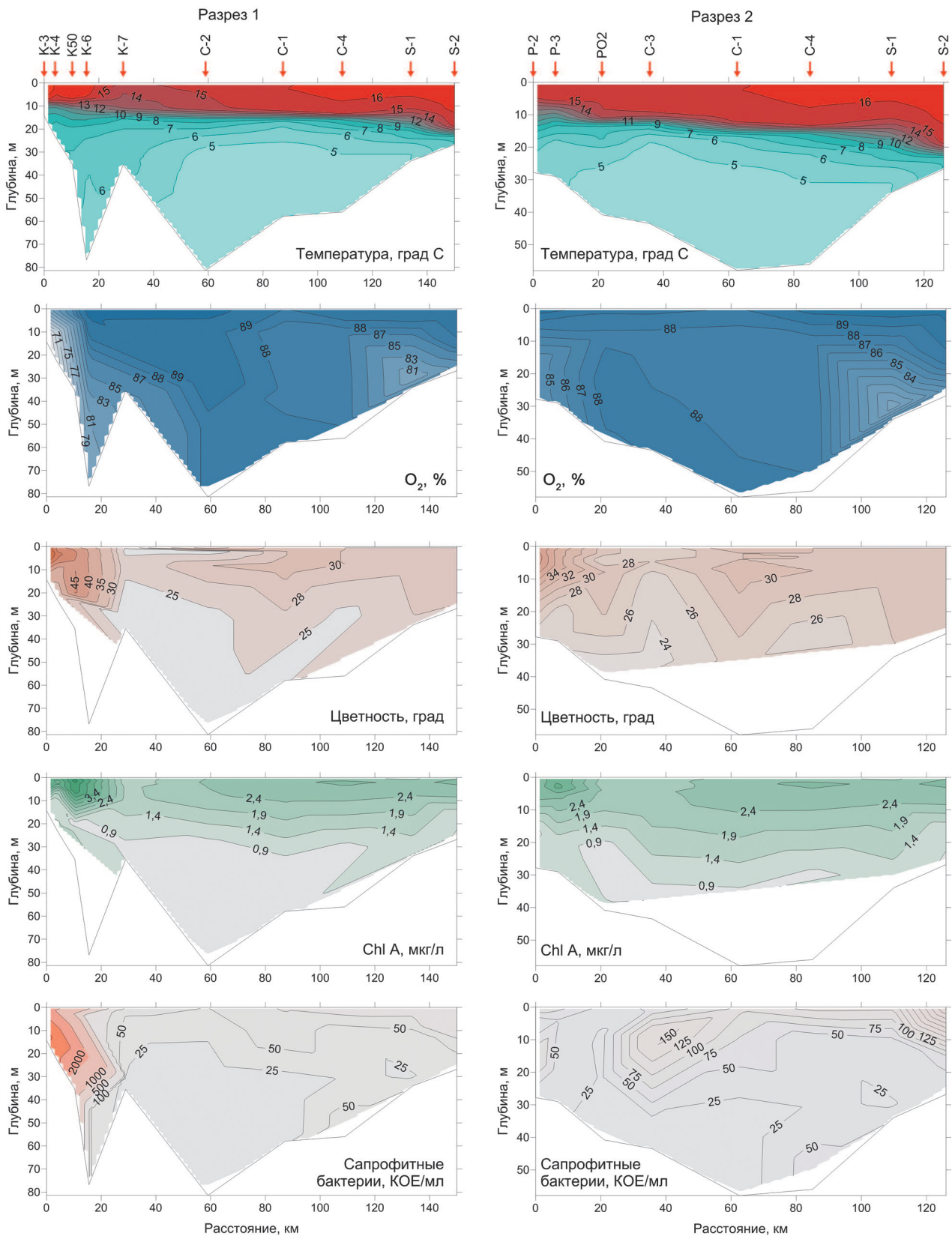


Рис. 2. Распределение величин температуры воды (град. С), насыщения воды кислородом (%), цветности (град. Pt-Co шкалы), содержания хлорофилла а (мкг/л), количества сапрофитного бактериопланктона (КОЕ/мл) в толще воды Онежского озера по разрезам 1 и 2

Fig. 2. Distribution of water temperature (degrees Celsius) values, saturation of water with oxygen (%), water color (degrees Pt-Co scale), chlorophyll a concentration ( $\mu\text{g/l}$ ), number of saprophyte bacterioplankton (CFU/ml) in the water column of Lake Onego according to sections 1 and 2

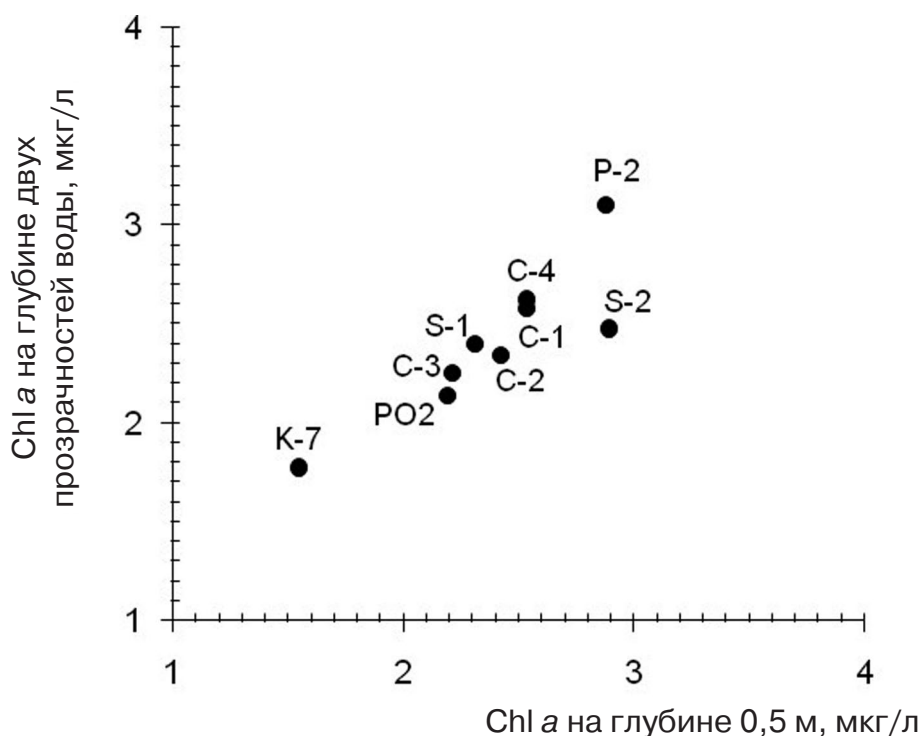


Рис. 3. Соотношение содержания хлорофилла *a* (Chl *a*) на глубине 0,5 м и на глубине, соответствующей двум прозрачностям воды на разных станциях открытого плеса Онежского озера

Fig. 3. Ratio of the chlorophyll *a* (Chl *a*) concentrations at a depth of 0,5 m and at the depth of two water transparencies at different stations of the open reaches of Lake Onego

В целом содержание растворенного кислорода в центральном и южном районах озера оказалось несколько ниже, чем приводится в литературе для 1980–1990-х годов [Пирожкова, 1990; Сабылина, 1999]. Для объяснения этих результатов требуются дополнительные исследования. Тем не менее по степени насыщения кислородом вода открытого плеса сохраняет высокое качество и относится к категориям чистых и удовлетворительно-чистых вод [Оксиюк и др., 1993; Р 52.24.763–2012]. В вершинной части Кондопожской губы, напротив, нами было отмечено двукратное увеличение концентрации растворенного кислорода и степени насыщения им воды, что напрямую связано со значительным снижением антропогенной нагрузки на залив со стороны Кондопожского ЦБК [Калинкина и др., 2017].

#### Цветность воды

Региональной особенностью Карелии является высокое содержание гуминовых и фульвокислот в водоемах, что связано с высокой заболоченностью водосборов [Лозовик и др., 2007; Лозовик, 2013]. Показателем содержа-

ния этих веществ и, соответственно, влияния водосбора является цветность воды. В период наблюдения цветность воды на основной акватории Онежского озера (Южного, Центрального и Петрозаводского Онего) варьировала в пределах 23–31 град. Pt-Co шкалы. Распределение окрашенных веществ в толще воды было относительно однородным (см. рис. 2). Другая картина наблюдалась в Петрозаводской и Кондопожской губах. Цветность воды здесь была заметно выше за счет стока полигумозных вод рек Шуи и Суны соответственно [Сабылина, 2015]. В Петрозаводской губе ее значения составили 25–42 град., а в Кондопожской достигали 36–66 град. Вертикальный профиль степени окрашенности воды в заливах характеризовался более низкими величинами в гипolimнионе по сравнению с верхним перемешанным слоем (см. рис. 2).

Сравнение полученных данных с литературными сведениями периода 1970–2000-х годов [Пирожкова, 1990; Сабылина, 1999, 2015] показало, что цветность воды в эпилимнионе заливов проявляет тенденцию к увеличению. В то же время в гипolimнионе таких тенденций не проявилось.

## *Хлорофилл а*

Максимальные концентрации хлорофилла *a* во время исследований наблюдались в слое воды от поверхности до глубины двойной прозрачности по диску Секки. Распределение хлорофилла в этом слое было практически однородным (рис. 2). Это подтверждается и высокими коэффициентами корреляции между концентрацией хлорофилла *a* на горизонте 0,5 м и его содержанием на горизонте, соответствующем половине прозрачности воды ( $r = 0,98$ ,  $p < 0,5$ ,  $n = 12$ ), одной прозрачности воды ( $r = 0,99$ ;  $p < 0,5$ ;  $n = 12$ ) и двум прозрачностям воды ( $r = 0,87$ ;  $p < 0,5$ ;  $n = 12$ ) (рис. 3).

В этом слое максимальных концентраций в Южном, Центральном и Петрозаводском Онего содержание хлорофилла *a* варьировало в пределах 2,0–3,2 мкг/л, что соответствует олиготрофному состоянию водной экосистемы. В Петрозаводской губе концентрация хлорофилла возрастала до 2,9–4,1 мкг/л, а в Кондопожской – до 3,6–6,6 мкг/л, что указывает на олигомезотрофное и мезотрофное состояние заливов соответственно [Китаев, 2007]. Ниже глубины двух прозрачностей воды количество хлорофилла резко снижалось и в гипolimнионе не превышало 0,5–1,2 мкг/л, а в Кондопожской губе – 1,6 мкг/л (см. рис. 2).

Определенную трудность представляло сравнение наших данных по хлорофиллу *a* с литературными за прошлые десятилетия по причине малочисленности последних. В целом можно сказать о том, что на основной акватории озера величина этого показателя эвтрофирования не претерпела существенных изменений. В то же время в Петрозаводской и Кондопожской губах наметилась тенденция к снижению уровня хлорофилла *a*. Это может быть связано с уменьшением антропогенного поступления биогенных веществ в эти заливы. Известно, что достоверно снизилось количество сточных вод, поступающих в Онежское озеро от Петрозаводского и Кондопожского промышленных центров [Калинкина и др., 2017]. Также значительно улучшилась очистка сточных вод городов Петрозаводска и Кондопоги в результате модернизации очистных сооружений. Кроме того, возможно, изменилось содержание нутриентов в речном стоке из-за сокращения интенсивности сельского хозяйства.

## *Сапрофитный бактериопланктон*

В целом вертикальное распределение сапрофитных бактерий схоже с распределением хлорофилла *a*, а следовательно, и фитопланк-

тона в толще воды с максимальными величинами в слое эпилимниона (см. рис. 2). В эпилимнионе всех изученных районов озера, за исключением Кондопожской губы, концентрация бактерий этой группы не превышала 330 КОЕ в 1 мл воды, а в гипolimнионе – 65 КОЕ/мл. Согласно классификации О. П. Оксьюк с соавт. [1993], уровень развития сапрофитного бактериопланктона характеризует воду эпилимниона Онежского озера как чистую (категория 2), воду гипolimниона – как предельно чистую (категория 1), а состояние экосистемы – как фоновое [Руководство..., 1992].

В Кондопожской губе, где субстратом для развития сапрофитных бактерий в воде является не только фитопланктон, но и сточные воды Кондопожского ЦБК, их количество в эпилимнионе достигало 4,5 тысяч КОЕ/мл, а в гипolimнионе – не выше, чем в других глубинных районах озера. Такое количество сапрофитных бактерий характеризует вершинную часть как удовлетворительно чистую (категория 3), а центральную часть залива – как чистую (категория 2) [Оксьюк и др., 1993]. Несмотря на то что по общепринятой классификации вода Кондопожской губы Онежского озера не считается загрязненной, количество сапрофитной микрофлоры здесь на порядок выше, чем в других северо-западных заливах, не подверженных антропогенному воздействию, например, в Лижемской и Уницкой губах [Сярки и др., 2015]. В целом состояние экосистемы Кондопожской губы можно охарактеризовать как антропогенный экологический стресс [Руководство..., 1992].

В сравнении с предыдущими десятилетиями обилие сапрофитных бактерий в южной части озера и Кондопожской губе не претерпело значимых изменений. В то же время в центральной части озера, Петрозаводском Онего и Петрозаводской губе отмечается постепенная стабилизация численности сапрофитных бактерий на более низком уровне после падения их количества в 1990-е годы [Тимакова, 2015].

## **Заключение**

Результаты исследований показали, что большая часть экосистемы Онежского озера по-прежнему сохраняет природные характеристики – высокое качество воды и низкий трофический статус. Повышенные значения цветности воды и количества гетеротрофных бактерий в приустьевых участках Петрозаводской и Кондопожской губ существенно снижаются, а насыщение воды кислородом, напротив, возрастает по мере продвижения в центральную

часть озера. Это свидетельствует об эффективной трансформации в пределах заливов аллохтонного органического вещества, поступающего с обогащенным гумусом речным стоком и коммунально-промышленными стоками крупных промышленных центров. Учитывая высокую цветность всех притоков Онежского озера, превращение питающих водоем полигумозных речных вод и антропогенного стока в озерные воды высокого качества позволяет образно назвать экосистему Онежского озера уникальной природной «фабрикой очищения воды».

Летом 2017 г. в отдельных районах озера обнаружены более низкие по сравнению с предыдущими десятилетиями величины численности сапрофитных бактерий, насыщения воды кислородом, концентрации хлорофилла *a* и более высокая цветность воды. Эти результаты требуют дополнительных исследований состояния экосистемы Онежского озера для оценки устойчивости выявленных изменений.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам Института водных проблем Севера КарНЦ РАН А. П. Георгиеву и М. В. Калмыкову за помощь в организации и проведении экспедиционных исследований.*

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).*

## Литература

*Биоресурсы Онежского озера / Ред. В. И. Кухарев, А. А. Лукин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 272 с.*

*ГОСТ 17.1.04.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Госстандарт России, 1990. 15 с.*

*Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Формирование вертикальной термической структуры озер северо-запада России и Финляндии // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 6. С. 696–706.*

*Калинкина Н. М., Сидорова А. И., Полякова Т. Н., Белкина Н. А., Березина Н. А., Литвинова И. А. Снижение численности глубоководного макрозообентоса Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Принципы экологии. 2016. Т. 5, № 2. С. 47–68. doi: 10.15393/j1.art.2016.5182*

*Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сярки М. Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 4–18.*

*Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.*

*Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской части России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с.*

*Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных организмов. М.: Наука, 1989. 288 с.*

*Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водн. ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592. doi: 10.1134/S0097807813060067*

*Лозовик П. А., Морозов А. К., Зобков М. Б., Духовичева Т. А., Осипова Л. А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водн. ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 225–237. doi: 10.1134/S009780780702011X*

*Оксиюк О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Клеinius В. Г. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.*

*Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.*

*Петров М. П. Термический режим // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 32–37.*

*Пирожкова Г. П. Гидрохимический режим озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 95–146.*

*Р 52.24.763–2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов-н/Д., 2012. 22 с.*

*РД 52.24.419–2005. Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика выполнения измерений йодометрическим методом. Ростов-н/Д.: Гидрохим. ин-т, 2005.*

*РД 52.24.497–95. Методические указания. Методика выполнения измерений цветности поверхностных вод суши фотометрическим методом / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Ростов-н/Д.: Гидрохим. ин-т, 1995. 7 с.*

*Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. В. А. Абакумов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.*

*Сабылина А. В. Современный гидрохимический режим озера // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 58–109.*

*Сабылина А. В. Химический состав воды притоков // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 61–68.*

*Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620274 «Планктон пелагиали Онежского озера». Дата регистрации в реестре баз данных 13 февраля 2015 г.*

*Теканова Е. В. Первичная продукция фитопланктона. Гидробиология // Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 112–115.*

*Теканова Е. В., Тимакова Т. М. Первичная продукция и деструкция органического вещества*



в Онежском озере // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: КМК, 2006. С. 60–70.

Тимакова Т. М. Бактериопланктон // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 108–115.

Филатов Н. Н., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Назарова Л. Е., Пальшин Н. И., Руховец Л. А., Толстиков А. В., Шаров А. Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на измене-

ния климата // ДАН. 2012. Т. 444, № 5. С. 1–4. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера европейской территории России // Учен. зап. РГГМУ. 2014. № 34. С. 49–55.

Поступила в редакцию 20.12.2017

## References

*Bioresursy Onezhskogo ozera* [Bioresources of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 272 p.

Efremova T. V., Pal'shin N. I. Formirovanie vertikal'noi termicheskoi struktury ozer severo-zapada Rossii i Finlyandii [Formation of vertical thermal structure in lakes in Northwestern Russia and Finland]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2003. Vol. 30, no. 6. P. 696–706.

Filatov N. N., Georgiev A. P., Efremova T. V., Nazarova L. E., Pal'shin N. I., Rukhovets L. A., Tolstikov A. V., Sharov A. N. Reaktsiya ozer Vostochnoi Fennoskandii i Vostochnoi Antarktidi na izmeneniya klimata [Response of lakes in Eastern Fennoscandia and Eastern Antarctica to climate changes]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 444, no. 5. P. 1–4. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Filatov N. N., Rukhovets L. A., Nazarova L. Y., Georgiev A. P., Efremova T. V., Pal'shin N. I. Vliyanie izmenenii klimata na ekosistemy ozer severa Evropeiskoi territorii Rossii [Climate change impact on lakes ecosystem in the north of European Russia]. *Uchen. zap. RGGMU*. 2014. No. 34. P. 49–55.

GOST 17.1.04.02–90. *Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a* [Water. Spectrophotometric determination of chlorophyll a]. Moscow: Gosstandart Rossii, 1990. 15 p.

Kalinkina N. M., Sidorova A. I., Polyakova T. N., Belkina N. A., Berezina N. A., Litvinova I. A. Snizhenie chislennosti glubokovodnogo makrozoobentosa Onezhskogo ozera v usloviyakh mnogofaktornogo vozdeistviya [Decline in the deepwater benthic communities abundance in Lake Onego under multifactor influence]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2016. Vol. 5, no. 2. P. 47–68. doi: 10.15393/j1. art. 2016.5182

Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Syarki M. T. Ekosistema Onezhskogo ozera: reaktsiya vodnykh soobshchestv na antropogennye faktory i klimaticheskie izmeneniya [Lake Onego ecosystem: aquatic communities response to anthropogenic factors and climate change]. *Vodn. khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water economy in Russia: issues, technologies and management]. 2017. No. 1. P. 4–18.

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p.

Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi chasti Rossii: sovremennoe sostoya-

nie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 375 p.

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Metody izucheniya vodnykh organizmov [Methods for studying aquatic microorganisms]. Moscow: Nauka, 1989. 288 p.

Lozovik P. A. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 583–592. doi: 10.1134/S0097807813060067

Lozovik P. A., Morozov A. K., Zobkov M. B., Dukhovicheva T. A., Osipova L. A. Allokhthonnoe i avtokhthonnoe organicheskoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh Karelii [Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters in Karelia]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2007. Vol. 34, no. 2. P. 225–237. doi: 10.1134/S009780780702011X

Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Braginskii L. P., Linnik P. N., Kuz'menko M. I., Klenius V. G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod sushi [The complex ecological classification of surface waters]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1993. Vol. 29, no. 4. P. 62–76.

*Onezhskoe ozero. Atlas* [Lake Onego. An Atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 151 p.

Petrov M. P. Termicheskii rezhim [Thermal regime]. *Ekosist. Onezhskogo oz. i tendentsii ee izmeneniya* [Ecosystem of Lake Onego and its further changes]. Leningrad: Nauka, 1990. P. 32–37.

Pirozhkova G. P. Gidrokhimicheskii rezhim ozera i ego izmenenie pod vliyaniem antropogennogo vozdeistviya [Hydrochemical regime of the lake and its changes under anthropogenic impact]. *Ekosist. Onezhskogo oz. i tendentsii ee izmeneniya* [Ecosystem of Lake Onego and its further changes]. Leningrad: Nauka, 1990. P. 95–146.

Rekomendatsii 52.24.763–2012. *Otsenka sostoyaniya presnovodnykh ekosistem po kompleksu khimiko-biologicheskikh pokazatelei* [Recommendations P. 52.24.763–2012. Assessment of the fresh water ecosystems status by a set of chemical/biological indicators]. *FGBU GKhl*. Rostov-on-Don, 2012. 22 p.

RD 52.24.419–2005. *Massovaya kontsentratsiya rastvorennogo kisloroda v vodakh. Metodika vypolneniya iz-*

merenii iodometricheskim metodom [Mass concentration of dissolved oxygen in water. A measurement procedure by iodometric method]. Rostov-on-Don: Virazh, 2005.

RD 52.24.497–95. *Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolneniya izmerenii tsvetnosti poverkhnostnykh vod sushi fotometricheskim metodom* [A technique for measuring surface waters chromaticity by photometric method: guidelines]. Gos. komitet SSSR po gidrometeorol. [USSR St. Committee for Hydrometeorol.]. Rostov-on-Don, 1995. 7 p.

*Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Manual on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

Sabylina A. V. *Sovremenniy gidrokhimicheskii rezhim ozera* [Current hydrochemical regime of the lake]. *Onezhskoe ozero. Ekol. probl.* [Lake Onego. Ecol. probl.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. P. 58–109.

Sabylina A. V. *Khimicheskii sostav vody pritokov* [The chemical composition of water inflows]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeiskoi territorii Rossii* [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 61–68.

Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. *Baza dannykh "Plankton pelagiali Onezhskogo ozera"*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii v RF No. 2015620274 ot 13 fevralya [Database *Plankton of the pelagic zone of Lake Onega*. Certificate of state registration RF No. 2015620274].

Tekanova E. V. *Pervichnaya produktsiya fitoplanktona*. *Gidrobiologiya* [Primary production of phytoplankton. Hydrobiology]. *Onezhskoe ozero. Atlas* [Lake Onego: an atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 112–115.

Tekanova E. V., Timakova T. M. *Pervichnaya produktsiya i destruktivnaya organicheskogo veshchestva v Onezhskom ozere* [Primary production and destruction of organic matter in Lake Onego]. *Sostoyanie i probl. produktsionnoi gidrobiol.* [The state and probl. of production hydrobiol.]. Moscow: KMK, 2006. P. 60–70.

Timakova T. M. *Bakterioplankton* [Bacterioplankton]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeiskoi territorii Rossii* [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 108–115.

Received December 20, 2017

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Теканова Елена Валентиновна**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: etekanova@mail.ru  
тел.: (8142) 576520

### **Калинкина Наталия Михайловна**

заведующая лаб. гидробиологии, д. б. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: cerioda@mail.ru

### **Здоровеннов Роман Эдуардович**

старший научный сотрудник, к. г. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: romga74@gmail.com

### **Макарова Елена Михайловна**

младший научный сотрудник  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: emm777@bk.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Tekanova, Elena**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: etekanova@mail.ru  
tel.: (8142) 576520

### **Kalinkina, Nataliia**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: cerioda@mail.ru

### **Zdorovenov, Roman**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: romga74@gmail.com

### **Makarova, Elena**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: emm777@bk.ru