

УДК 556.114 : 639.312 (282.247.211)

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ В КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2022 ГОДА

Н. Е. Галахина\*, М. Б. Зобков

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030),

\* kulakovanata@mail.ru

Проведены гидрохимические исследования в районе расположения форелевого хозяйства в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 г. На глубоководной станции у садков в придонном горизонте отмечался дефицит растворенного кислорода (0,8 мг/л), высокое содержание ионов аммония (0,410 мг N/л) и минерального фосфора (787 мкг/л, или 97 % от  $P_{\text{общ}}$ ), сопоставимое со сточными водами Кондопожского ЦБК. На других станциях, находящихся в районе форелевого хозяйства, и на К50, расположенной в зоне влияния сточных вод Кондопожского ЦБК, содержание растворенного кислорода изменялось в пределах от 6,8 до 13,1 мг/л, концентрации  $NH_4^+$  (до 0,068 мг N/л) и  $P_{\text{мин}}$  (до 51 мкг/л) были существенно ниже, чем у садков. Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии форелевых хозяйств на химический состав воды, что подтверждается ранее установленным в центральной части Кондопожской губы многолетним трендом увеличения содержания  $P_{\text{общ}}$  и интенсивным развитием фитопланктона.

Ключевые слова: биогенные элементы; органическое вещество; эвтрофирование; дефицит кислорода

Для цитирования: Галахина Н. Е., Зобков М. Б. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 года // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 76–87. doi: 10.17076/lim1599

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН). Работа Н. Е. Галахиной выполнена при поддержке проекта РНФ (№ 22-17-00193).

### N. E. Galakhina\*, M. B. Zobkov. HYDROCHEMICAL STUDIES OF THE TROUT FARMING AREA IN KONDOPOGA BAY OF LAKE ONEGO IN THE WINTER OF 2022

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
(50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*kulakovanata@mail.ru

Hydrochemical studies of the trout farming area in Kondopoga Bay of Lake Onego were carried out in the winter of 2022. Surveys at the deep-water site near the cages revealed dissolved oxygen starvation (0.8 mg/l) and a high content of ammonium (0.410 mg N/l) and mineral phosphorus (787 µg P/l, or 97 % of total phosphorus) in the near bottom level, which is comparable to wastewater from the Kondopoga pulp-and-paper mill. At other sites located in the trout farming area and at K50 located in the zone affected by Kondopoga PPM wastewater, which spreads over the bottom of the bay in winter, the dissolved oxygen content varied from 6.8 to 13.1 mg/l, the concentrations of  $\text{NH}_4^+$  (up to 0.068 mg N/l) and  $\text{P}_{\text{min}}$  (up to 51 µg P/l) were significantly lower than near the cages. Our data indicate the trout farms have a significant effect on the water chemical composition, confirmed by a previously detected long-term trend for an increase in TP content and intensive growth of phytoplankton in the central part of Kondopoga Bay.

Keywords: nutrients; organic matter; eutrophication; oxygen starvation

For citation: Galakhina N. E., Zobkov M. B. Hydrochemical studies of the trout farming area in Kondopoga Bay of Lake Onego in the winter of 2022. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 6. P. 76–87. doi: 10.17076/lm1599

Funding. The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRC RAS (Northern Water Problems Institute KarRC RAS). N. E. Galakhina's contribution was funded by the Russian Science Foundation grant #22-17-00193.

## Введение

В настоящее время садковое форелеводство является одним из приоритетных направлений рыбохозяйственной деятельности на внутренних водоемах Европейского Севера [Кучко, Ильмаст, 2016]. Среди аквакультуры на территории РФ в последние годы наблюдается интенсивный рост производства товарной форели. Его объемы в 2019 г. составили 60,5 тыс. т, что на 69,5 % выше уровня 2015 г. [Мамонтов, 2021]. Лидером данной отрасли в России является Республика Карелия, на ее долю приходится не менее 80 % общего объема производства [Михайленко, Стерлигова, 2021]. По официальным данным [Государственный..., 2021], в 2020 г. на территории Карелии действовало 73 рыбоводных хозяйства, в которых было выращено 36,4 тыс. т разновозрастной рыбы, в том числе 26,5 т товарной рыбы, что выше по сравнению с 2018 г. на 11,1 и 18,8 % соответственно. Успешному развитию форелеводства в Карелии способствуют уникальные природные и благоприятные климатические условия региона: большое количество глубоководных водоемов с водой высокого качества, длительный световой период во время вегетации и оптимальный температурный режим [Кучко, Кучко, 2010; Стерлигова, Ильмаст, 2018; Миллячук и др., 2019]. Садковое форелеводство активно развивается в основном на внутренних водоемах региона, крупнейшими из которых являются Ладожское и Онежское озера. Около половины всех форелевых хозяйств Карелии

располагаются в бассейне Онежского озера [Литвинова и др., 2015], большая их часть находится в Кондопожской губе.

В то же время резкий рост объемов производства товарной продукции на водных объектах Российской Федерации может привести к ухудшению их экологического состояния. Потенциальные проблемы, которые могут возникнуть в результате функционирования форелевых хозяйств, многообразны: начиная от увеличения содержания биогенных элементов (БЭ) в воде [Kirkagac et al., 2009; Mazaheri Kohanestani et al., 2013; Varol, Balci, 2020] и, как следствие, роста первичной продукции до структурных преобразований в гидробиологических сообществах в результате трофических изменений [Sindilariua et al., 2009]. Одним из значимых аспектов влияния форелевых хозяйств на водную среду является ее загрязнение биогенными элементами, органическими и взвешенными веществами, основным источником которых являются корма (часть их остаются неиспользованными), а также продукты жизнедеятельности рыб [Fadaeifard et al., 2012; Астафьева, 2016]. Избыточное поступление биогенных элементов в водоемы способствует увеличению биомассы фитопланктона, и как следствие, происходит их «цветение», в результате чего качество воды ухудшается: снижается прозрачность, изменяется кислородный режим [Carpenter et al., 1998]. В результате функционирования форелевых хозяйств серьезные изменения могут происходить во всех гидробиологических сообществах – фитопланктоне,

зоопланктоне, бентосе и ихтиофауне водоемов [Рыжков и др., 2011, 2014; Васильева, Батурина, 2015; Милянчук и др., 2019]. Так, в некоторых озерах Карелии, испытывающих влияние форелевых хозяйств, увеличилась численность и биомасса фитопланктона [Рыжков и др., 2011; Теканова и др., 2019], в его составе отмечено высокое обилие нитчатых зеленых водорослей, указывающее на повышение трофности [Стерлигова и др., 2011], а также наличие синезеленых водорослей [Рыжков и др., 2011]. Помимо увеличения биомассы зоопланктона в его составе появились коловратки, являющиеся индикаторами повышенной трофности [Кучко, Кучко, 2010], биомасса бентоса возросла за счет менее чувствительных к воздействию антропогенных факторов хирономид, олигохет, моллюсков и бокоплавов [Павловский, 2014].

Таким образом, изучение химического состава воды в местах расположения форелевых хозяйств, источника загрязнения водных объектов и, как следствие, изменения их трофического статуса, является актуальной задачей в рамках контроля состояния водных ресурсов и нормирования антропогенного воздействия на них. Комплексные исследования, включающие в себя и гидрохимические, в районах расположения форелевых хозяйств на водоемах Карелии, в том числе и в Кондопожской губе Онежского озера, ранее проводили только в период открытой воды [Стерлигова и др., 2009, 2011, 2019; Рыжков и др., 2011; Теканова и др., 2019], зимних наблюдений не осуществляли. Поэтому целью данной работы являлось изучение гидрохимического режима Кондопожской губы Онежского озера в районе расположения форелевых хозяйств в зимний период, а также анализ его влияния на экологическое состояние озера, являющегося источником питьевого водоснабжения.

Исследование выполнено на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

## Материалы и методы

Кондопожская губа – один из крупнейших, глубоководных и изолированных заливов Онежского озера (площадь – 225 км<sup>2</sup>, средняя и максимальная глубина – 21 и 75 м соответственно [Сабылина, 2015б], объем воды – 5,179 км<sup>3</sup> и период водообмена – 1,02 года) [Лозовик и др., 2019]. Залив подвержен существенному антропогенному влиянию Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) с сульфитной

варкой целлюлозы, сточные воды которого сбрасываются в его вершинную часть [Сабылина, 2015а; Galakhina et al., 2022], в 2019–2020 гг. их объем в среднем составил около 47 млн м<sup>3</sup>/год [Государственный..., 2020, 2021]. Кроме того, залив принимает речные воды третьего по величине стока притока озера – р. Суны со среднегодовым расходом 2,3 км<sup>3</sup>/год [Балаганский и др., 2015]. Речные и сточные воды являются основными источниками поступления органического вещества (ОВ) и БЭ в Кондопожскую губу Онежского озера [Сабылина и др., 2010; Лозовик и др., 2016; Galakhina et al., 2022]. Помимо этого, в заливе располагается 11 форелевых хозяйств из 14 находящихся на акватории озера, все они сосредоточены в основном в центральной его части и являются дополнительным источником ОВ и БЭ [Galakhina et al., 2022].

Зимние гидрохимические исследования проводились в период ледостава в марте и апреле 2022 г. в центральной части Кондопожской губы Онежского озера. Пробы воды отбирались со льда в районе расположения садков форелевых хозяйств (ст. KF1, KF2, KF3) и на ст. K50, находящейся на трассе распространения сточных вод ЦБК вдоль разреза Кондопожской губы. Станция K50 располагается на расстоянии 3,76 км от ближайшей к садкам ст. KF2 (рис. 1). Садки форелевых хозяйств расположены в шхере (фиорде), отделенной от основной части Кондопожской губы островом Соколий. Рельеф дна в районе расположения садков представляет собой впадину, сформированную с юго-западного края прибрежным склоном, а с юго-восточного – склоном о. Соколий. Фиорд вытянут в северо-западном направлении, что характерно для этого района Онежского озера [Беляев и др., 2021]. Станция KF2 расположена в точке максимального понижения рельефа (глубина 35 м), в то время как ст. KF1 и KF3 расположены на краях этой локальной депрессии, где глубины составляют 23 и 18 м соответственно. На глубоководной ст. KF2 пробы отбирали дважды с интервалом в месяц с четырех горизонтов – 1,0; 15,0; 25,0 м и придонного, на остальных – однократно и только из поверхностного и придонного горизонтов.

В пробах воды определяли физико-химические параметры (рН, электропроводность, взвешенное вещество), газовый состав (СО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>), содержание ОВ (С<sub>орг</sub>, ПО, ХПК, БПК<sub>5</sub>, цветность) и БЭ (Р<sub>мин</sub>, Р<sub>общ</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>общ</sub>). Химические анализы выполнены по стандартным методикам в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН, качество их выполнения подтверждено хорошей

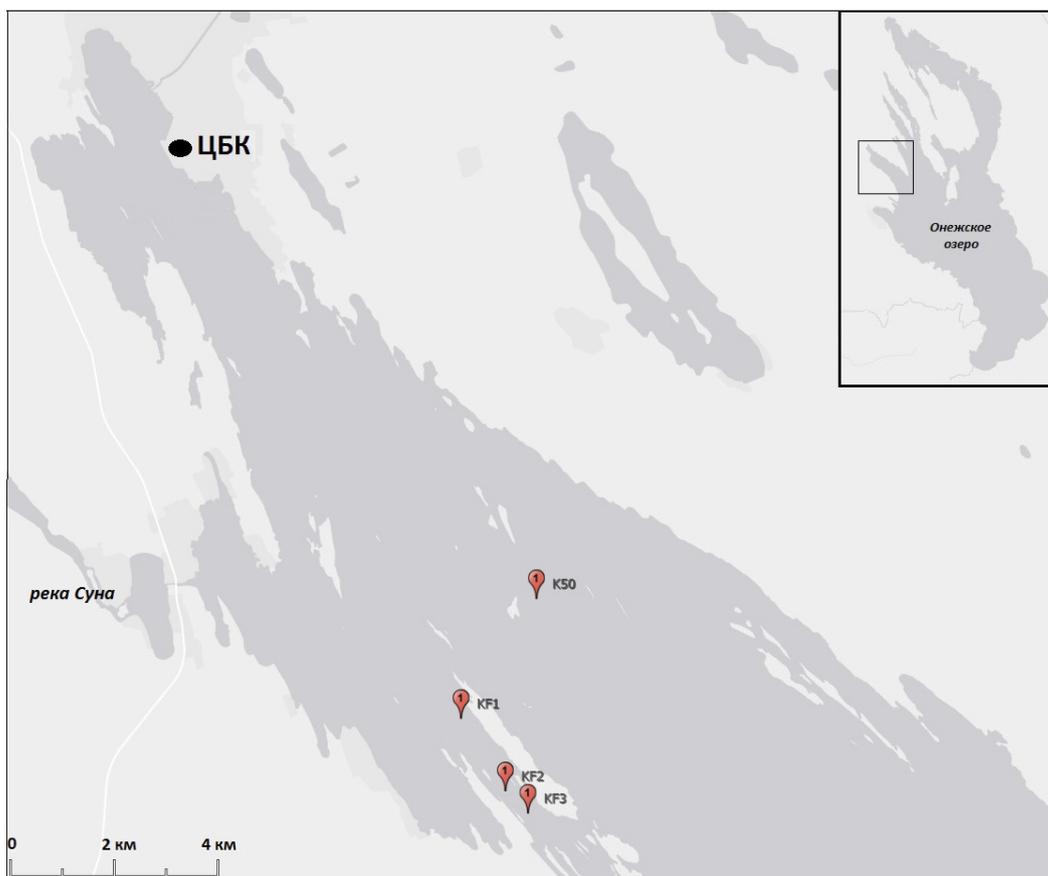


Рис. 1. Карта-схема района исследования  
 Fig. 1. Schematic map of the research area

сходимостью данных в рамках международного лабораторного сличения ICP Waters [Intercomparison..., 2016]. Статистический анализ данных выполнен с использованием программного обеспечения SOFA Statistics ([www.sofastatistics.com](http://www.sofastatistics.com)).

### Результаты и обсуждение

Зимой 2022 г. химические показатели воды на глубине до 15 м на трех станциях в районе расположения форелевого хозяйства были близки (табл.). Содержание  $C_{\text{орг}}$  в среднем составило 8,3 мг/л,  $P_{\text{мин}}$  – 8 мкг/л,  $P_{\text{общ}}$  – 16 мкг/л,  $\text{NH}_4^+$  – 0,044 мг N/л, что согласуется с данными, полученными ранее для центральной части Кондопожской губы [Zobkov et al., 2022]. Насыщение воды кислородом изменялось в пределах от 10,6 до 13,5 мг/л, а концентрация  $\text{CO}_2$  – от 1,9 до 4,4 мг/л, при этом минимальное содержание кислорода и максимальный уровень  $\text{CO}_2$  отмечены в апреле на ст. KF2 на глубине 15 м. В придонном слое наблюдалось увеличение содержания взвешенных веществ,  $\text{CO}_2$ ,  $C_{\text{орг}}$  и косвенных показателей содержания  $\text{O}_2$ ,

общего фосфора за счет минеральных его форм, ионов аммония и органических форм азота, при этом снижалось насыщение воды кислородом.

Из всех станций в районе расположения форелевого хозяйства выделялась глубоководная ст. KF2, находящаяся рядом с садками. Здесь наблюдался дефицит кислорода, его содержание в апреле составило 0,8 мг/л, что существенно ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов (4,0 мг/л) (рис. 2). Уменьшение содержания кислорода в придонных слоях воды обусловлено окислением  $\text{O}_2$ , накопленного в донных осадках за время функционирования форелевого хозяйства [Christensen et al., 2000; Kirkagac et al., 2009]. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в воде на ст. KF2 постепенно увеличивалось от поверхности до 25,0 м, а на придонном горизонте – снижалось (рис. 2), по всей видимости, за счет его окисления. Такая же закономерность отмечалась и для косвенных показателей содержания  $\text{O}_2$ . На других исследованных станциях концентрация  $\text{O}_2$  была выше у дна (рис. 2). При этом на ст. KF1 и KF2 содержание  $C_{\text{орг}}$  было сопоставимо, тогда как в придонном слое воды на ст. KF3 оно было ниже.

Химический состав воды в центральной части Кондопожской губы Онежского озера зимой 2022 г.  
Chemical composition of water in the central part of the Kondopoga Bay of Lake Onego in the winter of 2022

Показатель, единицы определения Parameters, units	Станции отбора проб Sampling stations			
	KF1	KF2	KF3	K50
pH	7,2/6,6	<u>7,3/6,6</u> 7,2/6,6	7,3/6,8	7,3/6,9
Электропроводность, мкСм/см Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	52,3/57,7	<u>53,6/62,4</u> 51,5/67,2	52,5/50,3	52,9/52,9
Взвешенное вещество, мг/л TSS, mg/L	0,6/0,8	<u>&lt;0,5/0,6</u> 1,0/6,1	0,6/0,9	<0,5/<0,5
Растворенный $\text{O}_2$ , мг/л Dissolved $\text{O}_2$ , mg/L	12,7/6,8	<u>13,2/2,3</u> 12,4/0,8	12,5/9,9	13,1/10,3
$\text{CO}_2$ , мг/л $\text{CO}_2$ , mg/L	2,3/8,4	<u>2,0/11,6</u> 2,5/17,4	2,3/5,5	1,9/4,7
$\text{C}_{\text{орг}}$ , мг/л TOC, mg/L	7,9/14,4	<u>8,2/13,8</u> 7,5/12,2	7,1/10,1	7,9/12,3
Цветность, мг Pt-Co/л Color, mg Pt-Co/L	46/73	<u>38/66</u> 42/175	35/55	35/54
ПО, мг O/л $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , mg O/L	10,4/25,4	<u>10,4/21,8</u> 9,2/19,8	7,8/13,4	8,2/16,2
ХПК, мг O/л $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , mg O/L	24,7/47,1	<u>22,6/37,1</u> 23,2/42,1	20,8/30,5	22,2/33,2
БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /л $\text{BOD}_5$ , mg O <sub>2</sub> /L	2,0/1,1	<u>0,7/0,7</u> 1,1/1,3	0,9/1,6	0,7/1,5
$\text{P}_{\text{мин}}$ , мкг/л $\text{PO}_4\text{-P}$ , $\mu\text{g P/L}$	5/51	<u>7/381</u> 6/787	5/17	5/23
$\text{P}_{\text{общ}}$ , мкг/л TP, $\mu\text{g P/L}$	20/69	<u>12/392</u> 16/810	16/31	9/36
$\text{NH}_4\text{-N}$ , мг N/л $\text{NH}_4\text{-N}$ , mg N/L	0,026/0,068	<u>0,132/0,400</u> 0,019/0,410	0,039/0,064	0,016/0,035
$\text{NO}_2\text{-N}$ , мг N/л $\text{NO}_2\text{-N}$ , mg N/L	0,001/0,001	<u>&lt;0,001/0,003</u> 0,001/0,007	<0,001/0,002	0,001/0,001
$\text{NO}_3\text{-N}$ , мг N/л $\text{NO}_3\text{-N}$ , mg N/L	0,18/0,19	<u>0,222/0,054</u> 0,180/0,028	0,20/0,17	0,17/0,14
$\text{N}_{\text{орг}}$ , мг N/л TON, mg/L	0,24/0,27	<u>0,07/0,62</u> 0,19/2,77	0,15/0,18	0,20/0,22
$\text{N}_{\text{общ}}$ , мг N/л TN, mg/L	0,45/0,53	<u>0,42/1,08</u> 0,39/3,21	0,39/0,41	0,39/0,39

*Примечание.* Приведены значения на поверхностном и придонном горизонтах, для ст. KF2 – в числителе данные за март, в знаменателе – за апрель 2022 г.

*Note.* The values on the surface and bottom levels are given, at KF2 st. data for March is given in the numerator, for April 2022 – in the denominator.

Содержание ионов аммония, минерального и общего фосфора на ст. KF1, KF2 и KF3 закономерно увеличивалось ко дну (рис. 3). Максимальная их концентрация наблюдалась на придонном горизонте ст. KF2 в апреле:  $\text{P}_{\text{мин}}$  – 787 мкг/л,  $\text{P}_{\text{общ}}$  – 810 мкг/л,  $\text{NH}_4^+$  – 0,410 мг N/л (рис. 3), при этом фосфор был представлен преимущественно минеральными формами (до 97 % у дна). Распределение форм БЭ в локальной депрессии в районе расположения форелевых хозяйств показывает, что загрязненные воды расположены на глубине 20 м и ниже (рис. 3). Вертикальное распределение  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{C}_{\text{орг}}$  также подтверждает аккумуляцию загрязненных вод в придонном слое воды на глубинах ниже 20 м (рис. 2).

С марта по апрель 2022 г. на глубоководной ст. KF2, особенно в придонном горизонте, наблюдалось снижение насыщения воды кислородом (с 16 до 6 % насыщ.), увеличивались значения БПК<sub>5</sub> (с 0,7 до 1,3 мг O<sub>2</sub>/л), ХПК (с 37,1 до 42,1 мг O/л), а также содержание CO<sub>2</sub> (с 11,6 до 17,4 мг/л),  $\text{P}_{\text{мин}}$  (с 381 до 787 мкг/л),  $\text{P}_{\text{общ}}$  (с 392 до 810 мкг/л) и  $\text{N}_{\text{общ}}$  (с 1,08 до 3,21 мг N/л) за счет увеличения  $\text{N}_{\text{орг}}$  (с 0,62 до 2,77 мг N/л), тогда как концентрация ионов аммония практически не изменилась (0,400 мг N/л в марте и 0,410 мг N/л в апреле). Увеличение этих показателей в период ледостава говорит о постепенном накоплении загрязняющих веществ в придонных слоях воды в месте расположения форелевых хозяйств.

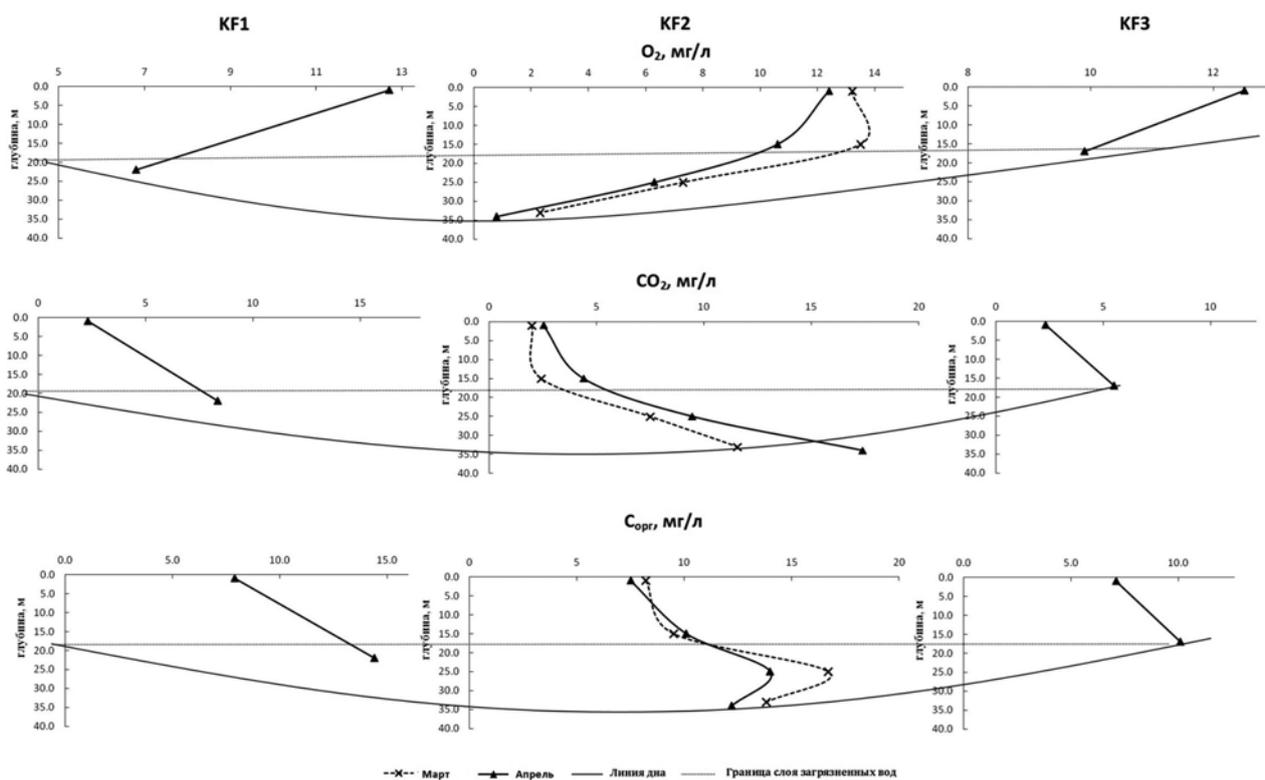


Рис. 2. Содержание  $O_2$ ,  $CO_2$  и  $C_{орг}$  в воде в районе расположения форелевого хозяйства в Кондопожской губе Онежского озера зимой 2022 г.

Fig. 2. The  $O_2$ ,  $CO_2$  and TOC content in the water of the trout farm area in the Kondopoga Bay of Lake Onego in the winter of 2022

Исследования в месте расположения форелевых хозяйств проводились одновременно с измерениями на ст. K50, подверженной влиянию сточных вод Кондопожского ЦБК, что позволяет провести сравнение химического состава воды этих двух районов. Аналогично результатам, полученным для зоны влияния форелевых хозяйств, на ст. K50 содержание  $OB$ , ионов аммония и фосфора было выше в придонном слое воды. На этом участке Кондопожской губы повышенные значения данных показателей связаны с влиянием сточных вод Кондопожского ЦБК [Galakhina et al., 2022], которые в зимний период распространяются в придонных слоях воды [Зобкова, Галахина, 2019; Galakhina et al., 2022]. При этом содержание  $OB$  и  $BЭ$  на ст. K50 было ниже по сравнению со ст. KF1 и KF2 и сопоставимо со ст. KF3, за исключением меньшей концентрации ионов аммония (табл.).

Кроме того, проведено сравнение полученных результатов с ранее опубликованными данными качества воды в исследуемом районе в период открытой воды [Zobkov et al., 2022]. С использованием  $U$  критерия Манна – Уитни выполнено сопоставление химического со-

става воды на ст. KF2 на глубине выше и ниже 15 м. Выявлено, что в зимний период вода на глубине выше 15 м достоверно отличается от периода открытой воды меньшим содержанием  $P_{общ}$  и взвешенных веществ, а ниже 15 м – большими концентрациями  $C_{орг}$  и  $N_{орг}$ , а также более высокими значениями некоторых косвенных показателей содержания  $OB$  ( $XПК$ ,  $ПО$ , цветность) ( $p < 0,05$ ). Несмотря на то что в придонном слое глубоководной ст. KF2 статистически достоверной разницы в концентрации общего фосфора и ионов аммония по сравнению с периодом открытой воды не выявлено из-за небольшого числа измерений, зимой их значения были экстремально высокими (810 мкг/л и 0,410 мг N/л соответственно). Наблюдаемый уровень загрязнения придонных вод  $BЭ$  в районе расположения форелевых хозяйств сопоставим со сточными водами Кондопожского ЦБК, в которых содержание  $P_{мин}$  составляет 300 мкг/л,  $P_{общ}$  – 700 мкг/л, а  $NH_4^+$  – 0,360 мг N/л [Galakhina et al., 2022]. При этом непосредственно в озере, в районе выпуска сточных вод комбината, эти показатели существенно ниже по сравнению с местом расположения форелевых хозяйств. Так, зимой 2021 г. в придонном слое

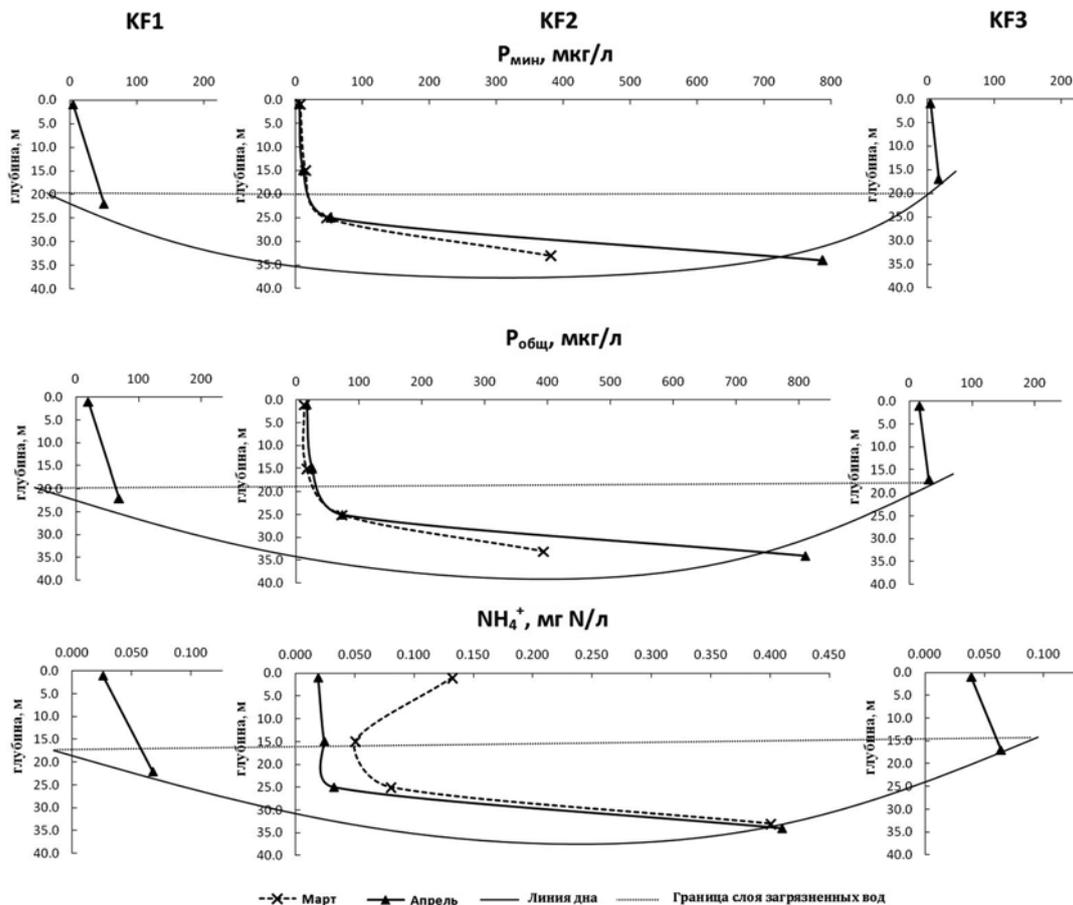


Рис. 3. Содержание  $P_{\text{мин}}$ ,  $P_{\text{общ}}$  и  $NH_4^+$  в воде в районе расположения форелевого хозяйства в Кондопожской губе Онежского озера зимой 2022 г.

Fig. 3. The  $PO_4\text{-P}$ , TP and  $NH_4\text{-N}$  content in the water of the trout farm area in the Kondopoga Bay of Lake Onego in the winter of 2022

воды, где распространяются сточные воды в это время года, содержание  $P_{\text{мин}}$  составляло 16 мкг/л,  $P_{\text{общ}}$  – 40 мкг/л, а  $NH_4^+$  – 0,113 мг N/л [Zobkov et al., 2022].

Ранее [Galakhina et al., 2022] было установлено, что химический состав воды в Кондопожской губе вблизи форелевых хозяйств существенно отличается по содержанию взвешенного вещества, ионов аммония и фосфора общего от химического состава воды в центральной глубоководной части Онежского озера, где концентрация  $P_{\text{мин}}$  не превышает 2 мкг/л,  $P_{\text{общ}}$  и  $NH_4^+$  в среднем составляют 8 мкг/л и 0,009 мг N/л соответственно [Galakhina et al., 2022; Zobkov et al., 2022], что также указывает на влияние форелевых хозяйств на содержание БЭ в воде. При этом главным фактором воздействия форелевых хозяйств на водные объекты является поступление минерального фосфора, содержание которого нормируется [Нормативы..., 2016], величина ПДК для рыбохозяйственных водоемов зависит от их трофи-

ческого статуса (для олиготрофных водоемов – 50 мкг/л, мезотрофных – 150 мкг/л, эвтрофных – 200 мкг/л). Если расчет кратности превышения ПДК по фосфатам в районе влияния форелевых хозяйств (ст. KF2) в Кондопожской губе проводить относительно Онежского озера, являющегося олиготрофным, то она составит 7,6 раза в марте и 15,7 раза в апреле, а если относительно мезотрофной Кондопожской губы (уже находящейся в антропогенно-изменном состоянии за счет воздействия ЦБК), то кратность превышения ПДК будет меньше – 2,5 и 5,2 раза соответственно. Однократное превышение ПДК по фосфатам наблюдалось и на ст. KF1. Таким образом, в зимний период в районе наблюдений превышены нормативы допустимого содержания фосфатов и существенно занижены по кислороду [Нормативы..., 2016], а также нарушены требования к гидрохимическому составу воды, предъявляемые к водоемам для выращивания форели [ОСТ 15.372-87]. Кроме того, существующий

норматив для минерального фосфора (фосфатов), равный 50 мкг/л, является явно избыточным для олиготрофных озер: если фоновая концентрация минерального фосфора в Онежском озере составляет около 2 мкг/л, то при увеличении его содержания до 50 мкг/л озеро необратимо перейдет в статус эвтрофного. Таким образом, существующая система нормирования влияния форелевых хозяйств на водные объекты является явно неэффективной и требует существенной доработки.

Результаты данного исследования, как и более ранних, свидетельствуют о существенном воздействии форелевых хозяйств на химический состав воды Кондопожской губы Онежского озера, которое усиливается в зимний период. Оно выражается в повышении в придонном слое воды концентрации минерального фосфора и ионов аммония, а также в дефиците кислорода по сравнению с периодом открытой воды [Galakhina et al., 2022]. Как видно из результатов двух гидрохимических съемок, проведенных с интервалом в один месяц, зимой в районе расположения форелевого хозяйства происходит постепенное накопление минеральных форм БЭ в придонных слоях воды, поступающих из донных отложений, за счет отсутствия ветрового перемешивания и ограниченного водообмена губы с открытой частью озера. Весной в результате прогрева водных масс и вертикального их перемешивания при переходе температуры через точку максимальной плотности (при прохождении термического бара), по-видимому, происходит залповый выброс БЭ в водный столб Кондопожской губы, приводящий к интенсивному цветению фитопланктона. Как установлено ранее [Теканова и др., 2019], зоны наиболее обильного развития фитопланктона в Кондопожской губе сосредоточены рядом с форелевыми хозяйствами, где численность и биомасса фитопланктона, а также концентрация хлорофилла *a* выше, чем в вершине залива, находящейся под прямым влиянием сточных вод ЦБК. В многолетнем аспекте (с 1992 г. по настоящее время) влияние форелевых хозяйств уже прослеживается по увеличению содержания  $P_{\text{общ}}$  в центральной части Кондопожской губы, где и сосредоточены хозяйства [Galakhina et al., 2022]. Следует отметить, что первые признаки эвтрофирования наблюдаются также в пелагиали Онежского озера [Galakhina et al., 2022]. Таким образом, продолжение совместного действия двух мощных источников поступления биогенных элементов на акватории Онежского озера – Кондопожского ЦБК и форелевых хозяйств – может привести к дальнейшему эвтрофированию этого уникального водоема.

## Заключение

Гидрохимические исследования, проведенные в зимний период 2022 г. в центральной части Кондопожской губы Онежского озера, позволили выявить ряд особенностей в химическом составе воды в районе расположения форелевых хозяйств. Зимой в придонных слоях воды происходит накопление минеральных форм биогенных элементов (ионов аммония и минерального фосфора). Разложение органического вещества, поступающего как из антропогенно-нарушенных донных осадков, так и непосредственно от форелевых хозяйств в зимний период, приводит к увеличению содержания  $CO_2$  и уменьшению содержания кислорода в придонных слоях воды ниже допустимого для водоемов рыбохозяйственного значения уровня. При этом их загрязнение по таким показателям, как ионы аммония и минеральный фосфор, сопоставимо со сточными водами Кондопожского ЦБК. Накопление минеральных форм биогенных элементов в воде, наблюдающееся зимой, влечет интенсивное развитие фитопланктона в весенне-летний период и появление локальной зоны эвтрофирования в центральной части Кондопожской губы.

*Авторы благодарят сотрудников лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН за помощь в проведении полевых и аналитических работ.*

## Литература

- Астафьева С. С. Воздействие эксплуатации садковых рыбоводных комплексов на состояние окружающей среды в условиях Нижней Волги // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 1. С. 21–27.
- Балаганский А. Ф., Карпечко В. А., Литвиненко А. В., Сало Ю. А. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свироского водохранилища). Гидрологический режим. Ресурсы речного стока и водный баланс // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных возможностях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 31–38.
- Беляев П. Ю., Рыбалко А. Е., Субетто Д. А., Зобков М. Б., Федоров Г. Б. Четвертичные отложения и рельеф Онежского озера // Географический вестник. 2021. №1(56). С. 6–16. doi: 10.17072/2079-7877-2021-6-16
- Васильева В. А., Батурина М. А. Состояние донной фауны Нювчимского водохранилища // Актуальные проблемы биологии и экологии: XXII Всерос. молодежн. науч. конф. Сыктывкар, 2015. С. 60–65.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 году. Петрозаводск, 2020. 248 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 году. Петрозаводск, 2021. 277 с.

Зобкова М. В., Галахина Н. Е. Содержание и распределение фенолсодержащих соединений в Онежском озере // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Мат-лы II Междунар. конф. (19–24 мая 2019 г.). Казань: АН РТ, 2019. Ч. 2. С. 88–93.

Кучко Т. Ю., Ильмаст Н. В. Садковое форелеводство Республики Карелия (современная ситуация и перспективы развития) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2016. № 9. С. 8–13.

Кучко Я. А., Кучко Т. Ю. Сообщество зоопланктона Онежского озера в районах размещения форелевых хозяйств как индикатор качества воды // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 4. С. 9–12.

Литвинова И. А., Литвиненко А. В., Богданова М. С. Анализ водохозяйственного использования водосбора на основе ГИС-технологий // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 52–60.

Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В., Кондратьев С. А., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 35–52. doi: 10.17076/lm303

Лозовик П. А., Зобков М. Б., Бородулина Г. С., Токарев И. В. Оценка внешнего водообмена заливов озер по химическим показателям воды // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 1. С. 94–102. doi: 10.31857/S0321-059646191-101

Мамонтов И. Ю. Российское форелеводство и перспектива развития // Наука без границ. 2021. № 1. С. 55–59.

Милянчук Н. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Распутин Е. Н., Филатов И. В. Рыбное население Сямозера в районе форелевого хозяйства // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 11. С. 42–49. doi: 10.17076/eco1116

Михайленко В. Г., Стерлигова О. П. Некоторые экологические аспекты выращивания радужной форели // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 12. С. 82–90. doi: 10.17076/eco1509

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552)

ОСТ 15.372-87. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы.

Павловский С. А. Сравнительная характеристика и многолетняя динамика макрозообентоса и основных биотопов экосистемы Сямозера (Южная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 2. 2014. С. 140–146.

Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., Горохов А. В., Марченко Л. П., Артемьева Н. В., Иешко Т. А., Рябинкина М. Г., Раднаева В. А. Состояние водной среды и биоты при функционировании садковых форелевых хозяйств // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 2. С. 239–247.

Рыжков Л. П., Онищенко И. Н., Онищенко Н. А., Шустов Ю. А. Особенности распределения аборигенных озерных рыб в зоне влияния форелевой фермы // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2. С. 23–29.

Сабылина А. В. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрохимические исследования. Внешняя нагрузка на озеро // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015а. С. 68–72.

Сабылина А. В. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрохимические исследования. Химический состав губ Онежского озера, подверженных антропогенному воздействию // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015б. С. 77–88.

Сабылина А. В., Лозовик П. А., Зобков М. Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 717–729.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Состояние и перспективы развития форелеводства в Республике Карелия // Рыбохозяйственные водоемы России: фундаментальные и прикладные исследования: Мат-лы II Всерос. науч. конф. с международным участием (Санкт-Петербург, 2–4 апреля 2018 г.). СПб., 2018. С. 591–595.

Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Кучко Я. А., Павловский С. А., Савосин Е. С. Состояние Кефтень-губы Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Мат-лы XXVIII Междунар. конф. (Петрозаводск, 5–8 октября 2009 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 523–528.

Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А., Павловский С. А., Савосин Е. С. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании товарной форели // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 386–393.

Теканова Е. В., Рыжаков А. В., Калинкина Н. М., Дмитриева Д. А., Фомина Ю. Ю., Макарова Е. М. Состояние экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Мат-лы II Междунар. конф. (19–24 мая 2019 г.). Казань: АН РТ, 2019. Ч. 1. С. 190–194.

Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N., Smith V. H. Nonpoint

pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen // *Ecological Applications*. 1998. Vol. 8(3). P. 559–568.

Christensen P. B., Rysgaard S., Sloth N. P., Dalsgaard T., Schwaerter S. Sediment mineralization, nutrient fluxes, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium in an estuarine fjord with sea cage trout farms // *Aquatic Microbial Ecology*. 2000. Vol. 21. P. 73–84.

Fadaeifard F., Raissy M., Faghani M., Majlesi A., Farahani G. N. Evaluation of physicochemical parameters of waste water from rainbow trout fish farms and their impacts on water quality of Koohrang stream – Iran // *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. 2012. Vol. 4(8). P. 170–177. doi: 10.5897/IJFA12.007

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2022. Vol. 17. Art. 100619. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100619

Intercomparison 1630: pH, conductivity, alkalinity, NO<sub>3</sub>-N, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn. Oslo (Norway): Norwegian Institute for Water Research. 2016. Report No. 7081 // *ICP Waters report 129/2016*. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2426546> (дата обращения: 10.05.2022).

Kirkagac M. U., Pulatsu S., Topcu A. Trout farm effluent effects on water sediment quality and benthos // *Clean Soil, Air, Water*. 2009. Vol. 37, no. 4–5. P. 386–391. doi: 10.1002/clen.200800212

Mazaheri Kohanestani Z., Ghorbani R., Hajimradloo A., Naeimi A., Fazel A. The effects of trout farm effluents on water quality parameters of Zaringol Stream (Golestan, Iran) using NSFQI and WQI Indexes // *Environmental Resources Research*. 2013. Vol. 1, no. 2. P. 191–202.

Sindilaria P.-D., Reiter R., Wedekind H. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options // *Aquat. Living Resour.* 2009. Vol. 22. P. 93–103.

Varol M., Balci M. Characteristics of effluents from trout farms and their impact on water quality and benthic algal assemblages of the receiving stream // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 266. Art. 115101. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115101

Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova T., Efremenko N., Kulik N. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021. Data in Brief. 2022. Vol. 42. Art. 108079. doi: 10.1016/j.dib.2022.108079

## References

Astaf'eva S. S. Impact of operation of cage fish-breeding complexes on the environment in the conditions of the Lower Volga. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitaniya = Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*. 2016;1:21–27. (In Russ.)

Balaganskii A. F., Karpechko V. A., Litvinenko A. V., Salo Yu. A. Current state and change of the Lake Onego ecosystem (Verkhne-Svirsky Reservoir). Hydrological

regime. River flow resources and water balance. *Krupneishie ozero-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozmozhnostyakh = The largest lakes-reservoirs of the North-West European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. P. 31–38. (In Russ.)

Belyaev P. Yu., Rybalko A. E., Subetto D. A., Zobkov M. B., Fyodorov G. B. Quaternary deposits and geomorphological features of Lake Onega. *Geograficheskii vestnik = Geographical Bulletin*. 2021;1(56):6–16. doi: 10.17072/2079-7877-2021-6-16 (In Russ.)

Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N., Smith V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 1998;8(3):559–568.

Christensen P. B., Rysgaard S., Sloth N. P., Dalsgaard T., Schwaerter S. Sediment mineralization, nutrient fluxes, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium in an estuarine fjord with sea cage trout farms. *Aquatic Microbial Ecology*. 2000;21:73–84.

Fadaeifard F., Raissy M., Faghani M., Majlesi A., Farahani G. N. Evaluation of physicochemical parameters of waste water from rainbow trout fish farms and their impacts on water quality of Koohrang stream – Iran. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. 2012;4(8):170–177. doi: 10.5897/IJFA12.007

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2022;17:100619. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100619

Intercomparison 1630: pH, conductivity, alkalinity, NO<sub>3</sub>-N, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn. Oslo (Norway): Norwegian Institute for Water Research. Report No. 7081 – 2016. *ICP Waters report 129/2016*. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2426546> (accessed: 10.05.2022).

Kirkagac M. U., Pulatsu S., Topcu A. Trout farm effluent effects on water sediment quality and benthos. *Clean Soil, Air, Water*. 2009;37(4–5):386–391. doi: 10.1002/clen.200800212

Kuchko T. Yu., Il'mast N. V. Cage trout farming in the Republic of Karelia (current situation and prospects). *Rybovodstvo i rybnoe hozyaistvo = Fish Breeding and Fisheries*. 2016;9:8–13. (In Russ.)

Kuchko Ya. A., Kuchko T. Yu. The zooplankton community of Lake Onega in the areas of trout farms as an indicator of water quality. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2010;4:9–12. (In Russ.)

Litvinova I. A., Litvinenko A. V., Bogdanova M. S. Analysis of water management use of the catchment area based on GIS technologies. *Krupneishie ozero-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs of the North-West European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic*

impact. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. P. 52–60. (In Russ.)

Lozovik P. A., Borodulina G. S., Karpechko Yu. V., Kondrat'ev S. A., Litvinenko A. V., Litvinova I. A. Nutrient load on Lake Onego according to field data. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2016;5:35–52. doi: 10.17076/lim303 (In Russ.)

Lozovik P. A., Zobkov M. B., Borodulina G. S., Tokarev I. V. Assessing external water exchange of lake bays by water chemistry characteristics. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2019;46(1):94–102. doi: 10.31857/S0321-059646191-101 (In Russ.)

Mamontov I. Yu. Russian trout farming and the prospect of development. *Nauka bez granits = Science without Borders*. 2021;1:55–59. (In Russ.)

Mazaheri Kohanestani Z., Ghorbani R., Hajimoradloo A., Naeimi A., Fazel A. The effects of trout farm effluents on water quality parameters of Zaringol Stream (Golestan, Iran) Using NSFQI and WQI Indexes. *Environmental Resources Research*. 2013;1(2):191–202.

Milyanchuk N. P., Il'mast N. V., Sterligova O. P., Rasputina E. N., Filatov I. V. The fish population of Lake Syamozero near a trout farm. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2019;11:42–49. doi: 10.17076/eco1116 (In Russ.)

Mikhailenko V. G., Sterligova O. P. Some ecological aspects of rainbow trout cage rearing. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2021;12:82–90. doi: 10.17076/eco1509 (In Russ.)

OST (Industry standard) 15.372-87. Water for fish farms. General requirements and norms. (In Russ.)

Pavlovskii S. A. Comparative characteristics and long-term dynamics of macrozoobenthos and the main biotopes of the Syamozera ecosystem (South Karelia). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2014;2:140–146. (In Russ.)

Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M., Gorokhov A. V., Marchenko L. P., Artem'eva N. V., Ieshko T. A., Ryabinkina M. G., Radnaeva V. A. The state of the aquatic environment and biota during operation of trout-breeding pond farms. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2011;38(2):239–247. (In Russ.)

Ryzhkov L. P., Onishchenko I. N., Onishchenko N. A., Shustov Yu. A. Features of the distribution of native lake fish in the zone of influence of the trout farm. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2014;2:23–29. (In Russ.)

Sabylina A. V. Current state and change of the Lake Onego ecosystem (Verkhne-Svirsky Reservoir). Hydrochemistry studies. External load on the lake. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs of the North-West European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015a. P. 68–72. (In Russ.)

Sabylina A. V. Current state and change of the Lake Onego ecosystem (Verkhne-Svirsky Reservoir). Hydrochemistry studies. Chemical composition of Lake Onego bays exposed to anthropogenic impact. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs of the North-West European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015b. P. 77–88. (In Russ.)

Sabylina A. V., Lozovik P. A., Zobkov M. B. Water chemistry in Lake Onega and its tributaries. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2010;37(6):717–729. (In Russ.)

Sindilariua P.-D., Reiter R., Wedekind H. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquat. Living Resour.* 2009;22:93–103.

State report on the state of the environment in the Republic of Karelia in 2019. Petrozavodsk; 2020. 248 p. (In Russ.)

State report on the state of the environment in the Republic of Karelia in 2020. Petrozavodsk; 2021. 277 p. (In Russ.)

Sterligova O. P., Il'mast N. V. The state and prospects of development of trout farming in the Republic of Karelia. *Rybokhozyaistvennye vodoemy Rossii: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: Mat-ly II Vseros. nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem (Sankt-Peterburg, 2–4 aprelya 2018 g.) = Fishery reservoirs of Russia: Fundamental and applied research. Proceedings of the II all-Russian scientific conference with int. participation (St. Petersburg, April 2-4, 2018)*. St. Petersburg; 2018. P. 591–595. (In Russ.)

Sterligova O. P., Kitaev S. P., Il'mast N. V., Kuchko Ya. A., Pavlovskii S. A., Savosin E. S. The state of the Keften Bay of Lake Onego in the conditions of commercial cultivation of rainbow trout. *Biologicheskie resursy Belogo morya i vnutrennikh vodoemov Evropeiskogo Severa: Mat-ly XXVIII Mezhdunar. konf. (Petrozavodsk, 5–8 oktyabrya 2009 g.) = Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North. Proceedings of the XXVIII international conference (Petrozavodsk, October, 5–8, 2009)*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2009. P. 523–528. (In Russ.)

Sterligova O. P., Kitaev S. P., Il'mast N. V., Komulainen S. F., Kuchko Ya. A., Pavlovskii S. A., Savosin E. S. Status of the bays in Lake Onego in the conditions of commercial rainbow trout cultivation. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal = Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2011;3:386–393. (In Russ.)

Tekanova E. V., Ryzhakov A. V., Kalinkina N. M., Dmitrieva D. A., Fomina Yu. Yu., Makarova E. M. The current state of the Kondopozhskaya Bay ecosystem (Lake Onego) under the conditions of multifactor impact. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Materialy II Mezhdunar. konf. (19–24 maya 2019 g.) = Lakes of Eurasia: Problems and solutions. Proceedings II international conference (May 19-24, 2019)*. Kazan': AN RT; 2019. Part 1. P. 190–194. (In Russ.)

Varol M., Balci M. Characteristics of effluents from trout farms and their impact on water quality and ben-

thic algal assemblages of the receiving stream. *Environmental Pollution*. 2020;266:115101. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115101

Vasil'eva V. A., Baturina M. A. The state of the bottom fauna of the Nyuvchim Reservoir. *Aktual'nye problemy biologii i ekologii: XXII Vseros. molodezhn. nauch. konf. = Topical issues of biology and ecology. Proceedings of XXII all-Russian conference of young scientists*. Syktyvkar; 2015. P. 60–65. (In Russ.)

Water quality standards for water bodies of commercial fishing importance, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of commercial fishing importance

(approved by order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 552 dated 13.12.2016). (In Russ.)

Zobkova M. V., Galakhina N. E. Concentration and distribution of phenolic substances in Lake Onego. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Mat-ly II Mezhdunar. konf. (19–24 maya 2019 g.) = Lakes of Eurasia: Problems and solutions. Proceedings II international conference (May 19–24, 2019)*. Kazan': AN RT; 2019. Part 2. P. 88–93. (In Russ.)

Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova T., Efremenko N., Kulik N. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021. *Data in Brief*. 2022;42:108079. doi: 10.1016/j.dib.2022.108079

Поступила в редакцию / received: 25.05.2022; принята к публикации / accepted: 09.08.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

#### **Галахина Наталия Евгеньевна**

канд. хим. наук, старший научный сотрудник  
лаб. гидрохимии и гидрогеологии

*e-mail: kulakovanata@mail.ru*

#### **Зобков Михаил Борисович**

канд. техн. наук, заведующий лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии

*e-mail: duet@onego.ru*

### **CONTRIBUTORS:**

#### **Galakhina, Natalia**

Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Laboratory of  
Hydrochemistry and Hydrogeology

#### **Zobkov, Mikhail**

Cand. Sci. (Tech.), Head of Laboratory of Hydrochemistry  
and Hydrogeology