

УДК 574.583(282.247.211)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИТОКА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА, ПРОТЕКАЮЩЕГО ПО УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ, ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА

Е. М. Макарова

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

В 2015 г. изучали бактериопланктон р. Неглинка – притока Онежского озера, дренирующего территорию г. Петрозаводска. В реку впадают без очистки 10 ливневых стоков, составляющие треть от общего объема стока самой реки. На урбанизированной территории в речных водах вдоль по течению отмечается увеличение численности эколого-трофических групп бактериопланктона и условно патогенных микроорганизмов. Отмечено, что количественные показатели бактериопланктона характеризовались значимыми различиями на загородном и городском участках реки. Показано, что сезонная динамика изученных показателей бактериопланктона слабо связана с гидрологическим и температурным режимом реки и отражает влияние стока загрязняющих веществ с городской территории. Высокое количество индикаторных групп бактериопланктона (гетеротрофных, сапрофитных, фенолоокисляющих и углеводородокисляющих бактерий, общих колиформных бактерий) свидетельствовало о сильном загрязнении речных вод различными органическими веществами, в том числе и фекального происхождения, а также нефтяными углеводородами и фенольными соединениями.

Ключевые слова: Республика Карелия; Петрозаводск; река Неглинка; биоиндикация; загрязнение; качество воды

Для цитирования: Макарова Е. М. Оценка экологического состояния притока Онежского озера, протекающего по урбанизированной территории, по показателям бактериопланктона // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 6. С. 106–118. doi: 10.17076/lim2129

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания КарНЦ РАН (№ 121021700117-3 «Диагноз состояния и долгосрочный прогноз изменений экосистем крупнейших озер-водохранилищ Севера ЕЧР (Онежского и Выгозера), входящих в систему Беломоро-Балтийского водного пути»).

E. M. Makarova. ASSESSING THE ECOLOGICAL STATE OF A LAKE ONEGO TRIBUTARY FLOWING THROUGH URBANIZED TERRITORY USING BACTERIOPLANKTON INDICATORS

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

In 2015, the bacterioplankton of the Neglinka River, a tributary to Lake Onego draining the territory of Petrozavodsk, was studied. Ten storm drains empty into the river without treatment, making up a third of the river's total streamflow. As the river flows through the urban area, the number of ecological and trophic groups of bacterioplankton and pathogenic microorganisms in the water increases. The quantitative indicators of bacterioplankton featured significant differences between the suburban and urban parts of the river. The seasonal patterns of the studied bacterioplankton indicators are shown to have little correlation with the hydrological and temperature regime of the river, reflecting the influence of polluted runoff from the urban area. The high number of indicator groups of bacterioplankton (heterotrophic, saprophytic, phenol-oxidizing and hydrocarbon-oxidizing bacteria, total coliform bacteria) points to severe pollution of the river water with various organic substances, including those of fecal origin, as well as petroleum hydrocarbons and phenolic compounds.

Keywords: Republic of Karelia; Petrozavodsk; Neglinka River; bioindication; pollution; water quality

For citation: Makarova E. M. Assessing the ecological state of a Lake Onego tributary flowing through urbanized territory using bacterioplankton indicators. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 6. P. 106–118. doi: 10.17076/lim2129

Funding. The study was carried out under state assignment to the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (No. 121021700117-3 “Diagnosis of the current state and long-term forecast of changes in the ecosystems of the largest impounded lakes of northern European Russia (Onego and Vygozero) within in the White Sea-Baltic Waterway system”).

Введение

В связи с ростом урбанизации увеличивается и антропогенная нагрузка на водотоки, протекающие по территории городов [Решетняк, 2018; Румянцев и др., 2021]. Показатель урбанизации в Республике Карелия – почти 80 % [Государственный..., 2017–2023]. Главный город республики Петрозаводск стремительно расширяется: идут новые застройки территорий, строительство новых дорожных сетей, что непосредственно влияет на городскую среду и водные объекты города.

Река Неглинка, протекая по территории г. Петрозаводска, принимает 10 ливневых стоков [Макарова, Калинкина, 2024], поступающих без очистки с городской территории, и впадает в Петрозаводскую губу Онежского озера – источник централизованного водоснабжения. Берега реки представляют рекреационную ценность и активно используются населением в качестве места для отдыха и выгула домашних животных. В настоящее время р. Неглинке присвоена высшая категория рыбохозяйст-

венного значения. В основном река заселена малоценными породами рыб, наибольшее видовое разнообразие отмечается в устьевом участке, куда заходят рыбы из Онежского озера [Тыркин и др., 2011; Лукина, Беличева, 2013].

В результате высокой заболоченности водосборов речные воды характеризуются повышенным содержанием гумусовых веществ, что обуславливает высокую цветность вод и, как следствие их комплексобразующей способности, – высокое содержание железа. Природные региональные особенности химического состава воды р. Неглинки (высокие цветность и содержание железа, пониженные значения pH и др.) могут усложнить задачу оценки ее качества. Для более точной оценки последствий влияния на реку человеческой деятельности необходимо рассматривать действие всего спектра факторов – природных (заболоченная водосборная территория) и антропогенных (влияние ливневых вод), а также возможных эффектов их взаимодействия. Ранее было показано [Макарова и др., 2023], что бактериопланктон –

надежный индикатор антропогенного загрязнения высокоцветных вод. Это обуславливает применимость микробиологических показателей в целях оценки качества воды водоемов и водотоков, испытывающих влияние заболоченных водосборов.

Цель данного исследования – проанализировать пространственно-временное распределение бактериопланктона в р. Неглинке и оценить экологическое состояние водотока по микробиологическим показателям.

Материалы и методы

Река Неглинка – небольшой приток Онежского озера, в нижнем течении протекающий по территории г. Петрозаводска. Скорость течения 0,3–0,5 м/с. Площадь водосборной территории составляет 46,1 км², заболоченность – 13 %, озерность – менее 1 % [Ресурсы..., 1972; Балаганский и др., 2015]. По величине уклона р. Неглинка близка к рекам полугорного типа (8,9 ‰) [Ресурсы..., 1972]. Тип питания реки смешанный. Поверхностное питание осуществляется за счет таяния снегов и выпадения дождевых осадков, подземное – родниками [Бородулина, 2013].

По ионному составу вода р. Неглинки относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу, однако в течение летне-осеннего периода меняет группу с кальциевой на натриевую.

Содержание в воде органического углерода достигает 22,5 мг/л [Сабылина, Ефремова, 2017].

Химический состав воды р. Неглинки обусловлен влиянием заболоченной водосборной территории в верхнем течении реки и поступлением подземных вод в среднем ее течении [Бородулина, 2013], что выражается изменением величин pH, цветности и минерализации [Andronikov et al., 2019]. Общая минерализация воды в Неглинке изменяется от верхнего участка реки к нижнему: от 35 до 400 мг/л [Бородулина, 2013]. Также в черте города на химический состав речных вод влияет поступление ливневых стоков, обуславливающих сильное загрязнение реки взвешенными веществами (4–120 мг/л), легкоминерализуемым органическим веществом, определяемым по БПК₅ (1,1–6,4 мг O₂/л), и нефтепродуктами (до 0,34 мг/л) [Макарова, Калинкина, 2024].

По данным [Макарова, Калинкина, 2024], в 2015 г. для р. Неглинки были отмечены статистически значимые различия значений между загородным и городским участками реки по показателям pH, цветности, насыщению воды кислородом (O₂), бихроматной окисляемости (ХПК), биологическому потреблению кислорода (БПК₅) и минеральному фосфору (P_{мин}). На загородном участке реки медианные значения O₂, БПК₅, P_{мин} были значимо ниже, чем на городском, а показатели цветности и ХПК – значимо выше (табл. 1).

Таблица 1. Химические показатели природного состава и антропогенной загрязненности воды р. Неглинки в период открытой воды в 2015 г. [Макарова и др., 2023; Макарова, Калинкина, 2024]

Table 1. Chemical indicators of the natural composition and anthropogenic pollution of the Neglinka River water during the open water period in 2015 [Makarova et al., 2023; Makarova, Kalinkina, 2024]

Показатель Indicator	Загородный участок Suburban section	Городской участок Urban section	
	Станции Stations		
	N-1	N-2	N-3
pH	<u>4,3–5,2</u> 4,5 ± 0,3	<u>6,5–7,7</u> 7,0 ± 0,3	<u>6,6–7,8</u> 7,4 ± 0,3
Цветность, град. Color, degrees	<u>270–384</u> 359 ± 32	<u>34–283</u> 146 ± 36	<u>64–285</u> 104 ± 35
O ₂ , мг/л O ₂ , mg/l	<u>7,63–10,35</u> 8,38 ± 0,50	<u>5,63–11,17</u> 7,56 ± 1,11	<u>8,72–11,5</u> 9,56 ± 0,08
Насыщение воды O ₂ , % % of O ₂ saturation	<u>62–73</u> 69 ± 1	<u>51–81</u> 65 ± 7	<u>78–92</u> 81 ± 2
ХПК, мг O/л COD, mg O/l	<u>33,74–47,16</u> 37,96 ± 3,62	<u>20,32–46,78</u> 25,30 ± 3,33	<u>12,52–40,39</u> 20,83 ± 4,58
Fe _{общ} , мг/л Fe _{tot} , mg/l	<u>1,22–5,09</u> 2,36	<u>1,11–4,04</u> 2,06	<u>0,67–2,83</u> 1,29

Окончание табл. 1
Table 1 (continued)

Показатель Indicator	Загородный участок Suburban section	Городской участок Urban section	
	Станции Stations		
	N-1	N-2	N-3
БПК ₅ , мг O ₂ /л BOD ₅ , mg O ₂ /l	<u>0,88–1,9</u> 1,12 ± 0,15	<u>1,09–6,4</u> 4,32 ± 1,53	<u>2,04–5,27</u> 2,55 ± 0,10
Взвешенные вещества, мг/л Suspended matter, mg/l	<u>9,0–92,0</u> 23,5 ± 6,2	<u>6,5–97,0</u> 14,5 ± 3,2	<u>4,5–120,0</u> 16,3 ± 4,9
P _{общ} ¹ , мкг P/л TP, mcg/l	<u>42–188</u> 85 ± 35	<u>48–339</u> 123 ± 48	<u>22–319</u> 203 ± 75
P _{мин} ¹ , мкг P/л P-PO ₄ ¹ , mcg/l	<u>4–31</u> 19	<u>39–273</u> 140	<u>117–209</u> 157
Нефтепродукты, мг/л Oils, mg/l	< 0,02–0,05	< 0,02–0,34	< 0,02–0,05

Примечание. Здесь и в табл. 2: над чертой — диапазон значений, под чертой — медиана и ее ошибка.

Note. Here and in Table 2: the range of values is given above the line, the median and its error – below the line.

Отбор проб воды на микробиологический анализ производился в поверхностном слое воды в медиальной части реки в период с апреля по ноябрь 2015 г. на трех станциях р. Неглинка: N-1 – за пределами городской черты с замедленным течением, N-2 и N-3 – на городской территории с быстрым течением. Дополнительно в августе 2015 г. выполнен разовый отбор проб в Петрозаводской губе Онежского озера в поверхностном горизонте на ст. P22 (глубина 18,7 м) на расстоянии 500 м от устья р. Неглинка (рис. 1).

Расход воды р. Неглинка в разные месяцы 2015 г. изменялся в пределах 0,2–1,25 м³/с (среднегодовой расход – 0,43 м³/с) [Автоматизированная...]. Температура воды за время исследования варьировала в пределах 1–13 °C (рис. 2).

Общая численность бактерий (ОЧБ) определялась методом прямого счета с использованием красителя акридинового оранжевого [Kemp et al., 1993]. Сапрофитные бактерии (СБ) выращивали на рыбо-пептонном агаре (РПА) при 22 °C, гетеротрофные бактерии (ГБ) – на РПА:10, фенолоксиляющие (ФОБ) – на минеральной среде с добавлением фенола, углеводород-окисляющие (УОБ) – на среде Диановой – Ворошиловой с добавлением очищенного агара Дифко, мазута и эмульгатора ТВИН-80 [Кузнецов, Дубинина, 1989], общее микробное число (ОМЧ) – на РПА при 37 °C в течение 24 ч. Для определения общих колиформных бактерий (ОКБ) проба воды фильтровалась через мембранные фильтры ($D_{\text{пор}} = 0,45$ мкм), колонии выращивали на фильтрах, помещенных на агаризованную среду Эндо, при 37 °C в течение 24 ч.

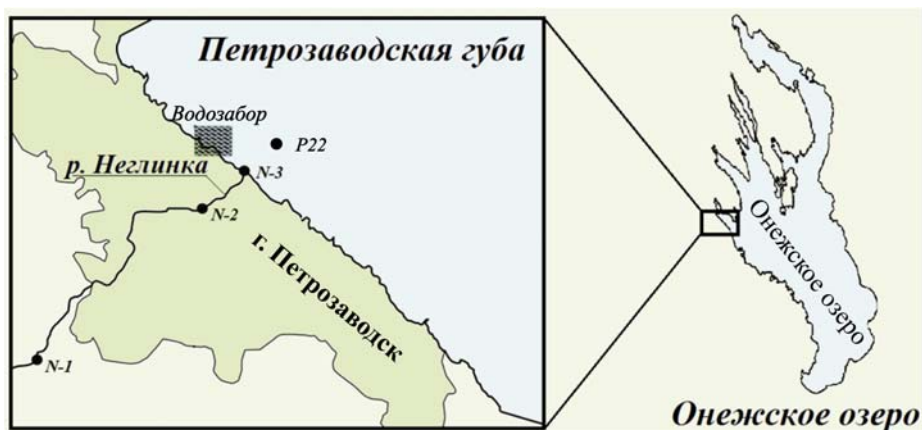


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб на р. Неглинке

Fig. 1. Schematic map of the sampling stations on the Neglinka River

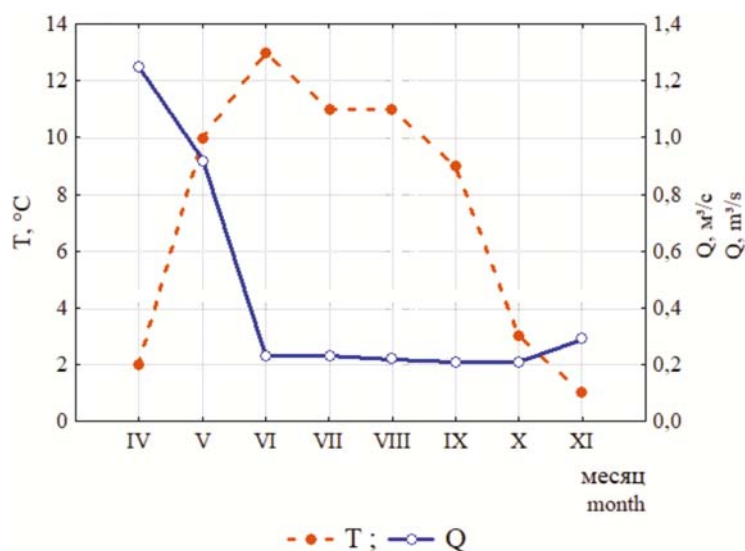


Рис. 2. Температура (Т, °С) и расход воды (Q, м³/с) в р. Неглинке в даты отбора проб в 2015 г.

Fig. 2. Water temperature (Т, °С) and water discharge (Q, м³/s) in the Neglinka River on sampling dates in 2015

После инкубации выполнялся цитохромокси-
дантный тест [МУК 4.2.1884-04].

Класс качества воды определяли в соответ-
ствии с комплексной экологической класси-
фикацией качества поверхностных вод суши
по показателям ОЧБ, СБ и ОКБ [Оксиук и др.,
1993]. Об интенсивности протекания процес-
сов самоочищения судили по коэффициенту
самоочищения (K_c) – соотношению СБ/ОМЧ
[МУК 4.2.1884-04]. Степень загрязненности
воды оценивали согласно шкале В. И. Романен-
ко [1985] по соотношению СБ/ОЧБ, %. Степень
загрязненности речной воды нефтяными и фе-
нольными соединениями оценивали согласно
классификации качества пресных вод по разви-
тию ФОБ и УОБ [Виноградов и др., 2001].

Для корректной оценки качества воды по
показателям ОЧБ в соответствии со шкалой
В. И. Романенко [1985] и классификацией, пред-
ложенной О. П. Оксиук с соавторами [1993],
использовали ранее полученный коэффициент
пересчета на эпифлуоресцентный метод 2,06 с
метода световой микроскопии с окрашиванием
клеток эритрозином [Макарова и др., 2022].

При статистической обработке данных рас-
считывали медианное значение выборки и его
ошибку, применяли непараметрические методы
статистики (коэффициент корреляции Спирме-
на, U-критерий Манна – Уитни) и метод главных
компонент. Для приведения исходных данных
к одним единицам измерения и представления
на одном рисунке данные были стандартизи-
рованы. Их преобразовывали путем вычитания

каждого значения выборки из среднего ариф-
метического и деления разности на стандартное
отклонение. При выявлении различий между вы-
борками и оценке корреляции был принят уро-
вень значимости 0,05. Статистическая обработ-
ка данных осуществлялась в лицензированном
пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

Результаты и обсуждение

Пространственное распределение бактерио-
планктона в р. Неглинке характеризуется мини-
мальными показателями численности бактерий
на загородном участке реки. В середине тече-
ния отмечались максимальные количественные
показатели, которые затем снижались к устью
реки (табл. 2). Значимость различий всех изу-
ченных эколого-трофических групп бактерио-
планктона загородного и городских участков
р. Неглинки подтверждалась непараметриче-
ским критерием Манна – Уитни.

Схожая динамика пространственного рас-
пределения бактериопланктона была получена
ранее – в летние периоды 2011–2012 гг., когда
высокая численность бактерий снижалась от
ст. N-2 к ст. N-3 [Теканова и др., 2015].

Анализ данных с помощью метода главных
компонент показал, что различные участки
р. Неглинки характеризуются разным уровнем
развития бактериопланктона. На первую глав-
ную компоненту (ГК1) приходится 84 %, на вто-
рую (ГК2) – 6 % всей вариации, что вместе объ-
ясняет 90 % вариации всех данных (табл. 3).

Таблица 2. Бактериопланктон р. Неглинки в период открытой воды в 2015 г.

Table 2. Bacterioplankton of the Neglinka River during the period of open water in 2015

Показатель Indicator	Загородный участок Suburban section	Городской участок Urban section	
	Станции Stations		
	N-1	N-2	N-3
Общая численность бактерий (ОЧБ), *10 ⁶ кл/мл Total abundance of bacteria (TAB), *10 ⁶ cells/ml	<u>0.42–2.54</u> 1,46 ± 0,29	<u>2.46–7.46</u> 3,49 ± 0,72	<u>1.57–5.84</u> 3,33 ± 0,68
Сапрофитные бактерии (СБ), *10 ³ КОЕ/мл Saprophytic bacteria (SB), *10 ³ CFU/ml	<u>0.10–2.23</u> 0,77 ± 0,18	<u>3.00–196.20</u> 20,40 ± 7,02	<u>1.00–41.00</u> 5,05 ± 1,71
Гетеротрофные бактерии, *10 ³ КОЕ/мл Heterotrophic bacteria, *10 ³ CFU/ml	<u>0.6–4.6</u> 1,2 ± 0,2	<u>12.0–429.0</u> 67,8 ± 24,6	<u>8.9–92.0</u> 14,8 ± 3,0
Фенолоксиляющие бактерии, *10 ³ КОЕ/мл Phenol-oxidizing bacteria, *10 ³ CFU/ml	<u>0.10–2.00</u> 0,44 ± 0,19	<u>8.5–88.0</u> 19,85 ± 8,06	<u>0.44–26.0</u> 3,45 ± 2,1
Углеводородоксиляющие бактерии, *10 ³ КОЕ/мл Hydrocarbon-oxidizing bacteria, *10 ³ CFU/ml	<u>0.05–0.55</u> 0,23 ± 0,05	<u>0.80–23.00</u> 7,20 ± 2,00	<u>0.14–21.00</u> 1,40 ± 0,47
Общее микробное число, *10 ³ КОЕ/мл Total microbial count, *10 ³ CFU/ml	<u>0.03–0.24</u> 0,07 ± 0,02	<u>0.10–45.90</u> 6,00 ± 9,31	<u>0.18–13.00</u> 1,00 ± 0,48
Общие колиформные бактерии, *10 ³ КОЕ/л Total coliform bacteria, *10 ³ CFU/l	<u>0.8–40.7</u> 1,9 ± 4,6	<u>300.0–1324.3</u> 823,5 ± 139,6	<u>38.4–837.8</u> 103,6 ± 50,0
СБ/ОЧБ, % SB/ TAB, %	<u>0.01–0.15</u> 0,09 ± 0,02	<u>0.10–3.55</u> 0,54 ± 0,16	<u>0.02–0.70</u> 0,16 ± 0,06
K _c C _{sp}	<u>1.0–55.8</u> 10,2 ± 2,4	<u>1.1–30.0</u> 4,4 ± 1,0	<u>1.0–45.1</u> 3,8 ± 1,1

Примечание. K_c – коэффициент самоочищения.

Note. C_{sp} – self-purification coefficient.

Таблица 3. Факторные нагрузки признаков в значениях двух главных компонент показателей бактериопланктона р. Неглинки за 2015 г.

Table 3. Factor loadings of features in the values of two main components of bacterioplankton indicators in the Neglinka River in 2015

Показатель Indicator	Главная компонента 1 Principal Component 1	Главная компонента 2 Principal Component 2
Общая численность бактерий Total abundance of bacteria	–0,8	0,5
Общие колиформные бактерии Total coliform bacteria	–0,9	–0,3
Общее микробное число Total microbial count	–0,9	–0,1
Сапрофитные бактерии Saprophytic bacteria	–0,9	–0,1
Гетеротрофные бактерии Heterotrophic bacteria	–1,0	0,0
Фенолоксиляющие бактерии Phenol-oxidizing bacteria	–0,9	0,0
Углеродородоксиляющие бактерии Hydrocarbon-oxidizing bacteria	–0,9	0,0
Доля в общей дисперсии, % Share in total variance, %	84	6

Примечание. Жирным шрифтом выделены нагрузки признаков с достоверным вкладом ($p < 0,05$) в значения главных компонент.

Note. Loadings of features with a reliable contribution ($p < 0.05$) to the values of the main components are given in bold.

В координатах значений двух главных компонент ГК1 и ГК2 (рис. 3) объекты разделились на две основные группы. В двух правых квадрантах находятся пробы, отобранные за все месяцы наблюдения на загородной станции р. Неглинка (N-1). Левее расположены пробы, отобранные за весь период наблюдения на городских станциях (N-2, N-3). Такое расположение станций в осях главных компонент отражает пространственную неоднородность реки, обусловленную поступлением загрязняющих веществ (нефтепродуктов, легкоминерализуемого ОВ, взвешенных веществ) с ливневыми и терригенными стоками на городском участке реки [Макарова, Калинкина, 2024]. Ранее проведенный анализ показателей химического состава воды р. Неглинка выявил схожую ординацию этих данных в осях главных компонент. Доказано, что содержание фосфора и величина БПК₅ отразили влияние антропогенных факторов, а именно – поступление с ливневым стоком биогенных веществ и органического вещества [Макарова, Калинкина, 2024].

Схожая картина увеличения бактериопланктона на городских участках рек по сравнению с загородным отмечалась и в воде р. Лососинки, также протекающей по территории г. Петрозаводска [Макарова и др., 2022].

В 2015 г. сезонная динамика количественных показателей эколого-трофических групп бактериопланктона была различна на всех участках реки (рис. 4). Численность бактерий на загородном участке р. Неглинка (ст. N-1) в сезонном аспекте характеризовалась двумя подъемами (см. рис. 4). Санитарно-показательные микроорганизмы (ОКБ, ОМЧ) развивались

активно в июле при максимальных значениях температуры воды (10 °С) и в сентябре за счет увеличения объемов выпадения жидких осадков (7 мм за двое суток) накануне отбора проб [Макарова, 2024]. Выявлена значимая связь между показателями ОКБ и ОМЧ, величина коэффициента корреляции Спирмена составила 0,74. Численное развитие СБ и ГБ было максимальным в период увеличения расхода воды – в апреле и ноябре. Коэффициент корреляции Спирмена (0,90) выявил значимую связь между показателями СБ и ГБ. В то же время изменение численности бактерий не было статистически значимо связано с расходом воды. Для УОБ характерны два пика численности: максимальный в апреле и небольшое увеличение в августе. Для ФОБ отмечены три пика численности: максимальный в апреле, затем в июле и ноябре (см. рис. 4).

На ст. N-2 большинство изученных групп бактерий (ОМЧ, СБ, ГБ, УОБ) имели два пика численности – в июне, при максимально отмеченной температуре воды 12 °С, и сентябре. Все рассчитанные коэффициенты корреляции Спирмена между СБ с ОМЧ, ГБ и УОБ составили 0,95, 0,98 и 0,79 соответственно и были значимы (см. рис. 4). Развитие ОКБ повторяло свою динамику на ст. N-1, когда численность достигала максимальных величин в июле и сентябре. Три пика численности были характерны для ОЧБ и ФОБ: в апреле, июне, сентябре для ОЧБ и в апреле, августе и октябре для ФОБ. ОЧБ имела значимую положительную корреляцию с эколого-трофическими группами бактерий, за исключением санитарно-показательных микроорганизмов (ОКБ, ОМЧ) [Макарова, 2024].

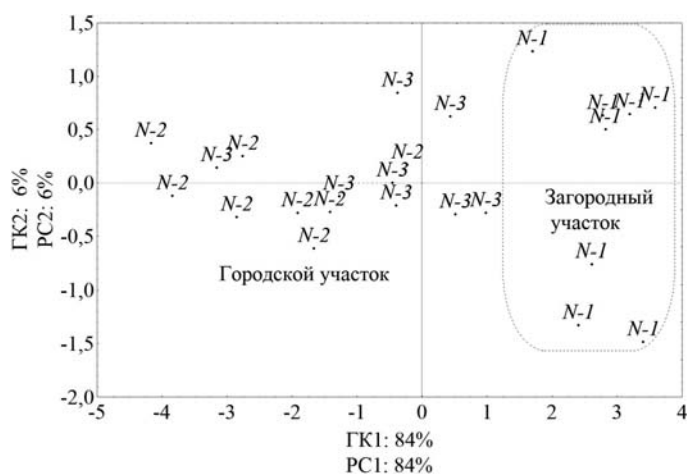


Рис. 3. Визуализация распределения станций р. Неглинка в 2015 г. по результатам отбора микробиологических проб

Fig. 3. Visualization of the distribution of stations on the Neglinka River in 2015 based on the results of microbiological sampling

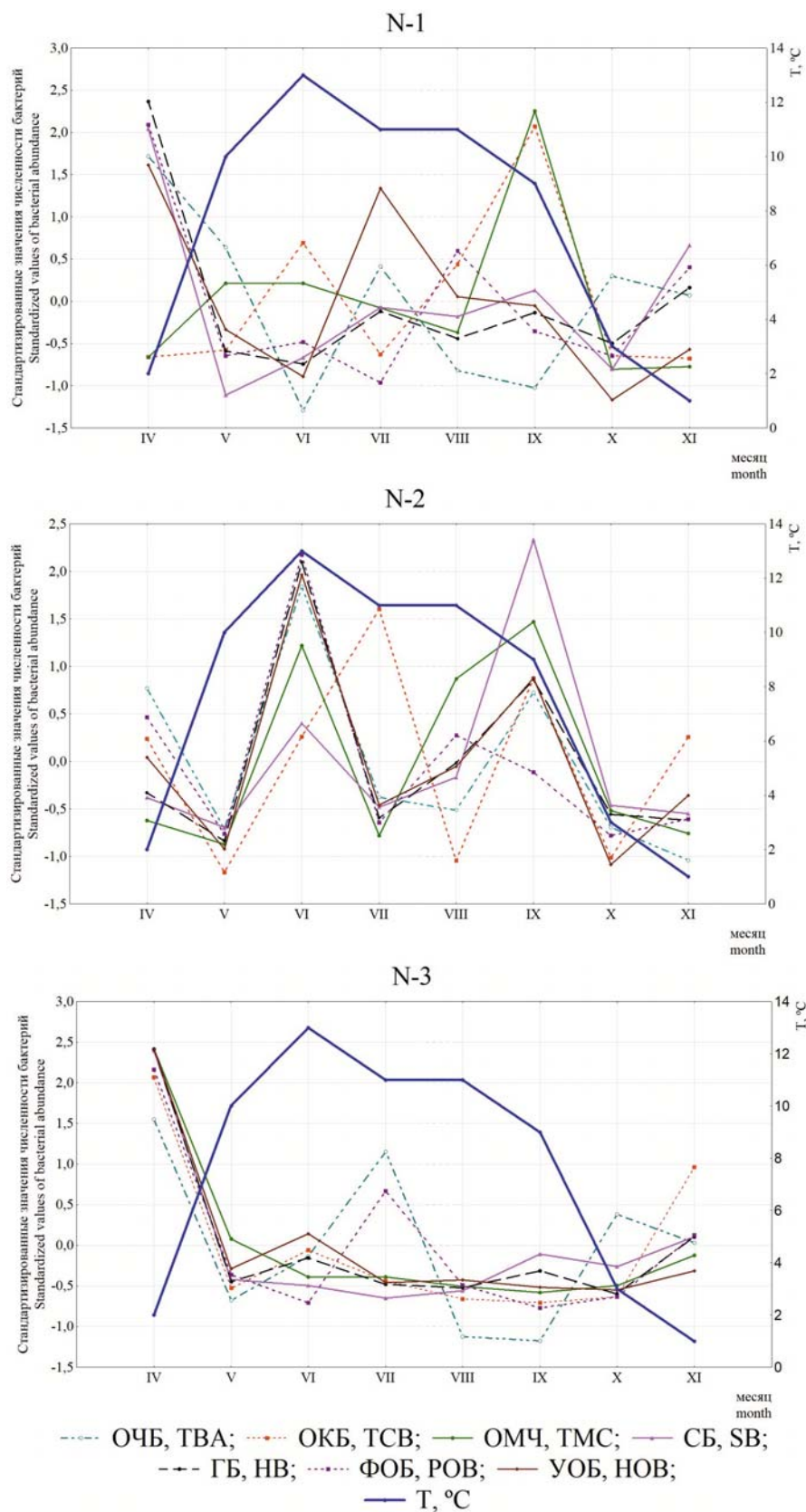


Рис. 4. Сезонная динамика численности эколого-трофических групп бактериопланктона (стандартизированные данные) на городском участке р. Неглинки в 2015 г.

Fig. 4. Seasonal dynamics of the number of ecological-trophic groups of bacterioplankton (standardized data) in the urban section of the Neglinka River in 2015

В приустьевом участке реки (ст. N-3) наблюдалась положительная связь развития бактерий с гидрологической ситуацией (расход воды). Так, ОКБ, ОМЧ, СБ, ГБ достигали высоких показателей в весенне-осеннее половодье (апрель, ноябрь), что связано с поступлением этих бактерий с прилегающей территории. Статистически значимую зависимость численности бактерий от расхода воды удалось установить только для ОМЧ и СБ (коэффициенты корреляции Спирмена составили 0,72 и 0,81 соответственно) (см. рис. 4). Величина ОЧБ имела три подъема численности – в апреле, июле и октябре и положительно коррелировала с изменениями численности ОКБ и ФОБ (значимые коэффициенты корреляции Спирмена с каждой из двух групп бактерий составили 0,72). Численность ФОБ достигала максимального развития в апреле, июле и ноябре. Количественное развитие УОБ было высоким в апреле и июне и положительно коррелировало с развитием ОКБ и ОМЧ (значимые коэффициенты корреляции Спирмена составляли 0,74 и 0,77 соответственно).

Сравнение изученных групп бактериопланктона в приустьевом участке р. Неглинки (ст. N-3) и в Петрозаводской губе Онежского озера (ст. P22) в августе 2015 г. выявило незначительные изменения в показателях ОЧБ (табл. 4). Однако в озерной воде наблюдалось сокращение численности СБ, ГБ, ФОБ и УОБ в 19–34 раза по сравнению с речными водами. Схожая ситуация отмечается при впадении в Петрозаводскую губу р. Лососинки, которая также дренирует территорию г. Петрозаводска [Макарова и др., 2022]. Снижение количества бактерий в воде Петрозаводской губы обусловлено масштабным разбавлением в летний период речных вод озерными и хорошим водообменом в заливе [Лозовик и др., 2019].

Качество воды р. Неглинки оценивали по развитию индикаторных групп бактериопланктона на трех участках реки. Так, о чистоте загородного участка р. Неглинки свидетельствовали низкие показатели общей численности бактерий, а на отсутствие загрязнения воды на загородном участке реки хозяйственно-фекальными стоками указывала невысокая численность сапрофитных (СБ) и общих колиформных бактерий (ОКБ) (табл. 5).

В черте г. Петрозаводска в воде р. Неглинки отмечалось загрязнение легкоминерализуемым органическим веществом, в том числе фекального происхождения, и нефтепродуктами, что подтверждалось интенсивным развитием бактерий – индикаторов сапробности (СБ), условно патогенных микроорганизмов

Таблица 4. Количественные характеристики бактериопланктона приустьевом участке р. Неглинки и в Петрозаводской губе Онежского озера в августе 2015 г.
Table 4. Quantitative characteristics of bacterioplankton in the mouth area of the Neglinka River and Petrozavodsk Bay of Lake Onego in August 2015

Показатель Indicator	Станции Stations	
	N-3 (устье реки) (river mouth)	P22 (Онежское озеро) (Lake Onego)
Сапрофитные бактерии, КОЕ/мл Saprophytic bacteria, CFU/ml	2200	101
Гетеротрофные бактерии, КОЕ/мл Heterotrophic bacteria, CFU/ml	10800	316
Фенолоксиляющие бактерии, КОЕ/мл Phenol-oxidizing bacteria, CFU/ml	2900	137
Углеводородоксиляющие бактерии, КОЕ/мл Hydrocarbon-oxidizing bacteria, CFU/ml	1000	53
Общая численность бактерий, *10 ⁶ кл/мл Total abundance of bacteria, *10 ⁶ cells/ml	1,65	1,27

(ОКБ, ОМЧ) и индикаторов техногенного загрязнения (ФОБ, УОБ). Численность изученных бактерий позволила классифицировать городские участки р. Неглинки как загрязненные и грязные (см. табл. 5).

Степень загрязненности речной воды, оцениваемая по соотношению СБ/ОЧБ, показала, что городской участок реки является более грязным по сравнению с загородным участком (см. табл. 5).

Полученные величины K_c (см. табл. 2) на среднем и нижнем участках реки были ниже или равны предельному значению 4. Это свидетельствовало о наличии условно-патогенных микроорганизмов на городских участках реки, что подтверждается данными по численности ОКБ, которая превышала критическое значение для зон рекреационного назначения в 500 КОЕ/100 см³ в соответствии с [СанПиН 2.1.3685-21] (см. табл. 2 и 5).

Многочисленное превышение численности всех групп бактерий на городском участке реки свидетельствовало о неблагоприятной санитарной ситуации. Таким образом, оценка качества воды

Таблица 5. Класс качества и оценка загрязненности воды в р. Неглинке по индикаторным группам бактериопланктона в 2015 г.

Table 5. Water quality in the Neglinka River according to the indicator groups of bacterioplankton in 2015

Показатель Indicators	Станции Stations			Ссылка Citation
	N-1	N-2	N-3	
ОЧБ TAB	2, Чистая Clean	3, Удовлетворительной чистоты Satisfactory cleanliness	3, Удовлетворительной чистоты Satisfactory cleanliness	Оксиюк и др., 1993 Oksiyuk et al., 1993
СБ SB	2, Чистая Clean	5, Грязная Dirty	4, Загрязненная Polluted	«
ОКБ TCB	2, Чистая Clean	5, Грязная Dirty	4, Загрязненная Polluted	«
ФОБ POB	3, Удовлетворительной чистоты Satisfactory cleanliness	5, Грязная Dirty	4, Загрязненная Polluted	Виноградов и др., 2001 Vinogradov et al., 2001
УОБ NOB	4, Загрязненная Polluted	4, Грязная Dirty	4, Грязная Dirty	«
ОКБ TCB	Норма Norm	Непригодна для рекреации Not suitable for recreation	Непригодна для рекреации Not suitable for recreation	СанПиН 1.2.3685-21 Sanitary Rules and Regulations 1.2.3685-21
СБ/ОЧБ, % SB/TAB, %	Слабозагрязненная Lightly polluted	Грязная Dirty	Загрязненная Polluted	Романенко, 1985 Romanenko, 1985

Примечание. Класс качества указан цифрой.

Note. The number indicates the quality class.

по микробиологическим показателям позволила выявить непригодность р. Неглинки для купания, в том числе в районе впадения реки в Онежское озеро.

Результаты микробиологической индикации неблагополучной экологической ситуации в р. Неглинке хорошо согласуются с результатами исследования состояния бентосных сообществ [Слуковский, Полякова, 2017]. Так, в городской черте разнообразие бентоса в р. Неглинке снижается по сравнению с загородным участком. Основу биомассы в устье реки составляют олигохеты, преобладание которых в сообществе свидетельствует о высоком загрязнении реки. Кроме того, установлено, что содержание Pb, Zn, Co, Cu, Ni в организмах олигохет выше концентраций подвижных форм этих металлов в донных отложениях, но ниже уровня валовых концентраций указанных элементов. Это свидетельствует о высоком уровне биодоступности тяжелых металлов для олигохет р. Неглинки г. Петрозаводска.

Рыбы представляют собой высшее звено трофической цепи водоемов и в наилучшей степени отражают экологическую ситуацию в водных объектах. Исследования состояния ихтиофауны [Лукина, Беличева, 2013] показывают, что рыбы р. Неглинки (усатый голец *Barbatula barbatula* (L.) и обыкновенный подкаменщик *Cottus gobio* (L.) подвергаются хроническому сублетальному воздействию загрязняющих веществ.

Отмечалась гиперплазия жаберного эпителия, фиброз в жабрах и желчных протоках, некроз гемопоэтической ткани и гепатоцитов, кистозная дегенерация печени, наличие мелано-макрофагических центров. Также обнаружены неопластические изменения в печени и почках изученных рыб, отловленных в воде р. Неглинки.

Заключение

Микробиологические исследования р. Неглинки в 2015 г. продемонстрировали сезонные и пространственные изменения в общей численности бактериопланктона и в количестве отдельных эколого-трофических групп бактерий. В период исследований сезонная динамика численности бактерий обуславливалась температурным режимом, поступлением ливневых стоков и терригенным смывом за счет выпадения осадков накануне отборов проб. Однако в большинстве случаев из-за высокой изменчивости микробиологических показателей статистически значимая связь с температурой и расходом воды установлена только для некоторых групп бактерий.

Анализ пространственного распределения бактериопланктона в р. Неглинке выявил значимое увеличение всех изучаемых микробиологических показателей в черте г. Петрозаводска по сравнению с загородным участком реки. На загородном участке р. Неглинки количественные

характеристики большинства изученных показателей бактериопланктона находились в пределах, установленных для незагрязненных вод. В черте города общая численность бактериопланктона соответствовала удовлетворительному качеству воды. Однако численность сапрофитных бактерий, а также бактерий – индикаторов нефтяного и фекального загрязнения воды в 6–45 раз превышала показатели загородного участка реки и характеризовала воду как загрязненную и грязную. По сравнению с ранними исследованиями 2011–2012 гг. численность всех изученных эколого-трофических групп бактериопланктона в речной воде была выше в 1,5–16,6 раза, а численность условно-патогенных бактерий – выше в 3 раза.

Высокое количество индикаторных групп бактериопланктона свидетельствовало о сильном загрязнении речных вод различными органическими веществами, в том числе и фекального происхождения, а также нефтяными углеводородами и фенольными соединениями.

Литература

- Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). Состояние поверхностных вод / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации; Федеральное агентство водных ресурсов. URL: <http://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 01.02.2019).
- Балаганский А. Ф., Карпечко В. А., Литвиненко А. В., Сало Ю. А. Ресурсы речного стока и водный баланс Онежского озера // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 31–38.
- Бородулина Г. С. Подземные воды // Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 31–41.
- Виноградов Г. А., Жариков Г. П., Березина Н. А., Лаптева Н. А., Клайн Н. П., Курбатова С. А., Маврин А. С. Разработка региональной классификации качества вод на основе мониторинга р. Которосль и ее притоков // Экологические проблемы Верхней Волги / Отв. ред. А. И. Копылов. Ярославль: ЯГТУ, 2001. С. 210–221.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2016 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 260 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2017 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 292 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2018 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 314 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 248 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2021. 277 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2021 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 263 с.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; отв. ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 265 с.
- Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- 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. 91–101. doi: 10.31857/S0321-059646191-101
- Лукина Ю. Н., Беличева Л. А. Оценка качества вод на основе биомаркеров // Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 85–91.
- Макарова Е. М. Оценка экологического состояния высокогумусных притоков Онежского озера по комплексу микробиологических и химических показателей: Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2024. 187 с.
- Макарова Е. М., Калинкина Н. М., Сабылина А. В. Возможность применения микробиологических показателей для оценки состояния водотоков с высокой цветностью воды (на примере притоков Онежского озера) // Принципы экологии. 2023. № 3. С. 36–50. doi: 10.15393/j1.art.2023.14043
- Макарова Е. М., Калинкина Н. М. Проблемы оценки качества высокоцветной воды притока Онежского озера, протекающего по урбанизированной территории, по гидрохимическим, микробиологическим и токсикологическим показателям // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 6. С. 1399–1433. doi: 10.31951/2658-3518-2024-A-6-1399
- Макарова Е. М., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Состояние бактериопланктона р. Лососинки (притока Онежского озера) и качество воды по микробиологическим показателям // Поволжский экологический журнал. 2022. № 3. С. 292–306. doi: 10.35885/1684-7318-2022-3-292-306
- МУК 4.2.1884-04. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический

анализ воды поверхностных водных объектов». Методические указания / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; утв. 3 марта 2004 года.

Оксиюк О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2: Карелия и Северо-Запад. Ч. 3: Гидрографические описания рек и озер / Отв. ред. В. Е. Водограецкий. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 959 с.

Решетняк О. С. Антропогенная нагрузка и изменчивость состояния экосистем на различных участках реки Ока // Вода: химия и экология. 2018. Т. 116, № 7–9. С. 110–118.

Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 295 с.

Румянцев В. А., Коронкевич Н. И., Измайлова А. В., Георгиади А. Г., Зайцева И. С., Барабанова Е. А., Дробкова В. Г., Корнеевская Н. Ю. Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на них // Известия РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85, № 1. С. 120–135. doi: 10.31857/S258755662101012X

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; утв. 28 января 2021 г.

Сабылина А. В., Ефремова Т. А. Тенденции изменения поступления химических веществ с водами малых рек юго-западного побережья Онежского озера за последние 50 лет // Экологическая химия. 2017. Т. 26, № 6. С. 333–339.

Слуковский З. И., Полякова Т. Н. Анализ накопления тяжелых металлов в организме олигохет из речных донных отложений урбанизированной среды // Биология внутренних вод. 2017. № 3. С. 73–82. doi: 10.7868/S032096521703010X

Теканова Е. В., Макарова Е. М., Калинкина Н. М. Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного воздействия по микробиологическим и токсикологическим показателям // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 44–52. doi: 10.17076/lim35

Тыркин И. А., Щуров И. Л., Ивантер Д. Э., Широков В. А., Шустов Ю. А. Лососинка: перспективы возрождения статуса лососевой реки // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 4. С. 26–30.

Andronikov A. V., Novak M., Borodulina G. S., Efremenko N. A., Andronikova I. E., Chesalina G. L., Levichev M. A., Subetto D. A., Sebek O., Zobkova M. V. One river, two streams: chemical and chromium isotopic features of the Neglinka River (Karelia, northwest Russia) // Hydrol. Sci. J. 2019. Vol. 64, no. 8. P. 974–982. doi: 10.1080/02626667.2019.1617418

Kemp P. F., Sherr B. F., Sherr E. B., Cole J. J. (eds.). Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Washington: Levis Publ., CRC Press LLC, 1993. 800 p.

References

Andronikov A. V., Novak M., Borodulina G. S., Efremenko N. A., Andronikova I. E., Chesalina G. L., Levichev M. A., Subetto D. A., Sebek O., Zobkova M. V. One river, two streams: chemical and chromium isotopic features of the Neglinka River (Karelia, northwest Russia). *Hydrol. Sci. J.* 2019;64(8):974–982. doi: 10.1080/02626667.2019.1617418

Automated information system for state monitoring of water bodies (AIS GMVO). State of surface waters. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation; Federal Agency for Water Resources. (In Russ.) URL: <http://gmvo.sknivh.ru> (accessed: 01.02.2019).

Balaganskii A. F., Karpechko V. A., Litvinenko A. V., Salo Yu. A. River flow resources and water balance. *Krupneishie ozero-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs in the north-west of the European part of Russia: current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic impact.* Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 31–38. (In Russ.)

Borodulina G. S. Underground waters. *Vodnye ob"ekty goroda Petrozavodsk: Uchebnoe posobie = Water objects of Petrozavodsk: a study guide.* Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 31–41. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2016. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2017. 260 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2017. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2018. 292 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2018. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2019. 314 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2019. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2020. 248 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2020. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2021. 277 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2021. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2022. 263 p. (In Russ.)

Gromtsev A. N. (ed.). State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2022. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2023. 265 p. (In Russ.)

Kemp P. F., Sherr B. F., Sherr E. B., Cole J. J. (eds.). Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Washington: Levis Publ., CRC Press LLC; 1993. 800 p.

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Methods for studying aquatic microorganisms. Moscow: Nauka, 1989. 288 p. (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. *Water Resources*. 2019;46(1):94–102. doi: 10.1134/S0097807818050123

Lukina Yu. N., Belicheva L. A. Assessment of water quality based on biomarkers. *Vodnye ob"ekty goroda Petrozavodsk: Uchebnoe posobie = Water objects of Petrozavodsk: a study guide*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. P. 85–91.

Makarova E. M. Assessment of the ecological state of high-humus tributaries of Lake Onega based on a set of microbiological and chemical indicators: DSc. (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk; 2024. 187 p. (In Russ.)

Makarova E. M., Kalinkina N. M. Problems of quality assessment of highly colored water of the Lake Onego urbanized tributary using hydrochemical, microbiological and toxicological indicators. *Limnology and Freshwater Biology*. 2024;6:1399–1433. (In Russ.). doi: 10.31951/2658-3518-2024-A-6-1399

Makarova E. M., Kalinkina N. M., Sabylina A. V. The possibility of using microbiological indicators to assess the state of watercourses with high water color (on the example of tributaries of Lake Onego). *Printsipy ekologii = Principles of the Ecology*. 2023;3:36–50. (In Russ.). doi: 10.15393/j1.art.2023.14043

Makarova E. M., Tekanova E. V., Kalinkina N. M. Bacterioplankton status in the Lososinka River (a tributary of Lake Onego) and the water quality by microbiological indicators. *Biol. Bull.* 2022;49(10):1996–2003. doi: 10.1134/S1062359022100363

MG 4.2.1884-04. Control methods. Biological and microbiological factors. *Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water from surface water bodies*. Methodological guidelines. Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; app. March 3, 2004. (In Russ.)

Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Braginskii L. P., Linnik P. N., Kuzmenko M. I., Klenus V. G. Integrated ecological classification of land surface water quality. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Hydrobiological Journal*. 1993;29(4):62–76. (In Russ.)

Reshetnyak O. S. Anthropogenic load and variability of ecosystem conditions in different sections of the Oka River. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: Chemistry and Ecology*. 2018;116(7–9):110–118. (In Russ.)

Romanenko V. I. Microbiological processes of production and destruction of organic matter in inland waters. Leningrad: Nauka; 1985. 295 p. (In Russ.)

Rumyantsev V. A., Koronkevich N. I., Izmailova A. V., Georgiadi A. G., Zaitseva I. S., Barabanova E. A., Drabkova V. G., Korneenkova N. Yu. Water resources of rivers, lakes and reservoirs of Russia and anthropogenic impact on them. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya = Proceed. RAS. Geogr. Ser.* 2021;85(1):120–135. (In Russ.). doi: 10.31857/S258755662101012X

SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness to humans from environmental factors. Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; app. January 28, 2021. (In Russ.)

Sabylina A. V., Efremova T. A. Trends of changes in receiving chemicals with waters of small rivers in the southwest coast of Lake Onego for the last 50 years. *Ekologicheskaya khimiya = Environmental Chemistry*. 2017;26(6):333–339. (In Russ.)

Slukovskii Z. I., Polyakova T. N. Analysis of accumulation of heavy metals from river bottom sediments of the urban environment in the bodies of oligochaetes. *Inland Water Biology*. 2017;10(3):315–322. doi: 10.1134/S1995082917030154

Tekanova E. V., Makarova E. M., Kalinkina N. M. An assessment of the condition of the water of Lake Onego inflowing streams under human impact influence using microbiological and toxicological parameters. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2015;9:44–52. (In Russ.). doi: 10.17076/lim35

Tyrkin I. A., Shchurov I. L., Ivanter D. E., Shirokov V. A., Shustov Yu. A. The Lososinka River: prospects for the restoration of its status as a salmon river. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceed. Petrozavodsk State University*. 2011;4:26–30. (In Russ.)

Vinogradov G. A., Zharikov G. P., Berezina N. A., Lapteva N. A., Klein N. P., Kurbatova S. A., Mavrin A. S. Development of a regional classification of water quality based on monitoring of the Kotorosl River and its tributaries. *Ekologicheskie problemy Verkhnei Volgi = Environmental problems of the Upper Volga*. Yaroslavl: YaGTU; 2001. P. 210–221. (In Russ.)

Vodogretskii V. E. (ed.). Surface water resources of the USSR. Vol. 2: Karelia and the North-West. Part 3: Hydrographic descriptions of rivers and lakes. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1972. 959 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 25.06.2025; принята к публикации / accepted: 22.09.2025.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Макарова Елена Михайловна

канд. биол. наук, научный сотрудник
лаборатории гидробиологии

e-mail: emm777@bk.ru

CONTRIBUTOR:

Makarova, Elena

Cand. Sci. (Biol.), Researcher