

ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 574.58 + 579.68

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г. Г. Митрукова¹, Л. Л. Капустина^{1,2}, Е. А. Курашов^{1,2}

¹ Институт озероведения РАН, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН), Россия

² Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга), Россия

По результатам микробиологических наблюдений летом 2006, 2010, 2014 и 2019 гг. дана характеристика эколого-санитарного состояния литоральной зоны по всему периметру Ладожского озера. Общая численность бактериопланктона (ОЧБ) на различных участках литорали колебалась от 1, 10 млн кл/мл (2006 г., пос. Ляскеля и около о. Койонсаари) до 15,90 млн кл/мл (2014 г., выход из зал. Импилахти). По медианным за период наблюдений величинам ОЧБ трофический статус большей части исследованной акватории был типично мезотрофным. Участки литорали на выходе из залива Импилахти; у г. Питкяранты в проливе напротив целлюлозного завода (ЦЗ) и около дер. Вороново имели мезотрофно-эвтрофный статус. Количество палочковидных форм бактерий колебалось от 30 % около пос. Ляскеля и в зал. Хауккалаhti летом 2014 г. до максимальной величины (73 %) на акватории, подверженной антропогенному влиянию, около пос. Назия летом 2010 г. Обнаружена положительная корреляция между ОЧБ и температурой воды. Развитие бактериопланктона в литоральной зоне статистически достоверно было более интенсивным в «теплые» годы (2010, 2014) по сравнению с более «холодными» (2006, 2019). На основании соотношений численности сапрофитных бактерий и ОЧБ в 2019 г. водные массы исследованной акватории относились к условным категориям «чистые» и «особо чистые». Основными зонами экологического риска являлись: литораль п-ова Рауталаhti; литоральная зона у г. Питкяранты в проливе напротив ЦЗ; Приозерск, устье р. Вуоксы; Щучий залив; мыс Осиновец; Тайполовский залив; акватории вблизи поселков Назия и им. Морозова.

Ключевые слова: общая численность бактериопланктона; морфотипы бактерий; трофический статус; сапрофитные микроорганизмы; колиформные бактерии; качество воды.

G. G. Mitrukova, L. L. Kapustina, E. A. Kurashov. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE LITTORAL ZONE OF LAKE LADOGA BASED ON THE RESULTS OF MICROBIOLOGICAL STUDIES

The ecological and sanitary state of the littoral zone of Lake Ladoga is described according to the data from microbiological observations in 2006, 2010, 2014, and 2019. The total bacterial numbers (TBN) in different parts of the littoral zone varied from 1.10 million cells/ml (2006, Lyaskelya Village and Koionsaari Island) to 15.90 million cells/ml (2014, entrance to Impilahti Bay). It is shown that based on the average total bacterial numbers during the observation period the trophic status of most of the studied water area was typically mesotrophic. Some parts of the littoral have a mesotrophic-eutrophic status: entrance to Impilahti Bay; the area near Pitkyaranta in the channel opposite to the pulp and paper mill (northern region), and near the Voronovo Village (southern region). Correlation analysis revealed a positive relationship between TBN and water temperature. The development of bacterioplankton in the littoral zone was more intensive in the "warm years" (2010, 2014) compared to the "colder" ones (2006, 2019). The content of rod-shaped bacteria ranged from 30 % in the water area near the Lyaskelya Village and in Haukkalahti Bay in summer 2014 up to 73 % near Nazia Village in summer 2010. Based on the average quantitative ratios of saprophytic bacteria and TBN in 2019, the water masses in all the littoral areas were conventionally classified as "clean" and "very clean". The main environmental risk spots, where a relatively high number of saprophytes and a growth of total coliform bacteria were detected (even if in small quantities), were the littoral part of the Rautalahti Peninsula; littoral zone near Pitkyaranta; water area near Priozersk, the mouth of the River Vuoksa; Shchuchiy Bay; waters at Cape Osinovets; Taipolovsky Bay; water areas near Nazia Village and the village Imeni Morozova.

Key words: bacterioplankton abundance; morphotypes of bacteria; trophic status; saprophytic bacteria; coliform bacteria; water quality.

Введение

Озерная литораль является переходной зоной между наземной и водной экосистемами, это место смешения водных масс различного происхождения и интенсивного протекания химических и биологических процессов [Распопов и др., 1998; Распопов, 2009; Курашов и др., 2011]. Относительная доля литоральной зоны в крупных глубоких водоемах значительно меньше, чем в небольших и мелководных, что справедливо и для самого большого внутреннего водоема Европы – Ладожского озера, где эта зона составляет лишь 15 % площади озера (2543,0 км²) и 1,3 % объема воды (9,67 км³) [Науменко, 2013]. Однако в связи с огромными размерами водоема прибрежная зона имеет большую протяженность, длина береговой линии озера без учета длины берегов островов составляет 1570 км [Распопов, 2009; Науменко, 2013] и характеризуется наибольшими биоразнообразием и биопродуктивностью.

До сих пор литоральная зона Ладожского озера остается недостаточно изученной, несмотря на важное природоохранное, социально-экономическое и рекреационное значение. Это особая зона, которая первой принимает с водосборной площади аллохтонные соеди-

нения различной природы, в том числе загрязняющие вещества, и выполняет роль своеобразного экологического барьера между водосбором и основной акваторией озера [Дзюбан и др., 2007; Курашов и др., 2011]. Поэтому первостепенную роль здесь играют организмы, активно участвующие в процессах естественного самоочищения вод, в частности, микроорганизмы, за счет деструкционной деятельности которых происходит трансформация большей части энергии, поступающей в водные экосистемы с автохтонным и аллохтонным органическим веществом [Кузнецов, 1970; Wetzel, 1982; Копылов, Косолапов, 2008]. Первые подробные микробиологические исследования литорали по всему периметру Ладожского озера были проведены только летом 2006 г. [Капустина, 2011]. До этого времени микробиологические исследования прибрежной зоны Ладожского озера ограничивались Волховской губой, бухтой Петрокрепость, Щучим заливом, подверженным влиянию стоков деревообрабатывающих производств г. Приозерска, и незначительным количеством станций в районе восточного берега и в шхерном районе [Родина, Кузьмицкая, 1963].

Благодаря способности бактерий быстрее других гидробионтов реагировать на малей-

шие изменения физико-химических условий в водоеме это сообщество является надежным индикатором качества вод. При благоприятных условиях (например, при повышении концентрации легкоокисляемого органического вещества в воде или при повышении температуры воды) численность микроорганизмов быстро увеличивается, усиливается интенсивность их обмена. Кроме того, общая численность бактериопланктона (ОЧБ) в воде является показателем трофического статуса водоемов [Романенко, 1979; Bouillon, Hakanson, 2003; Копылов, Косолапов, 2007]. Соотношение количества сапрофитных бактерий и общего количества бактерий характеризует качество вод [Романенко, 1979], а наличие в воде общих (ОКБ) и термотолерантных (ТКБ) колиформных бактерий свидетельствует о фекальном загрязнении [МУК..., 2004]. Поэтому микробиологические показатели обязательно должны входить в систему комплексного мониторинга.

Настоящая работа посвящена изучению количественного развития бактериопланктона в литоральной зоне Ладожского озера в современный период, оценке современного трофического статуса и санитарного состояния этой зоны, а также выявлению тенденций изменения качества воды прибрежной зоны озера по микробиологическим показателям за последние 14 лет.

Материалы и методы

Водосбор Ладожского озера находится в подзонах южной и средней тайги. Районирование литоральной зоны водоема проводилось по физико-географическим особенностям различных частей озера [Черняева, 1966, цит. по: Ладожское..., 2015]. Выделены северный (шхерный), западный, восточный и южный районы. Отбор микробиологических проб производился из поверхностного горизонта воды на станциях, расположенных по всему периметру Ладожского озера (рис.), в конце июля – начале августа 2006, 2010, 2014 и 2019 гг. Глубины всех исследованных станций варьировали в пределах 0,5–1,0 м. Летом 2011 и 2017 гг. дополнительно производился отбор проб на литорали Волховской губы и вблизи пос. им. Морозова (бухта Петрокрепость) соответственно. Определение общей численности бактериопланктона, как показателя качества воды и количественного соотношения палочковидных и кокковидных форм микроорганизмов, в качестве косвенного показателя антропогенного воздействия на водоем [Кожова, Дутова, 1989; Киреева, 2007] производили в течение

всего периода исследований. Для определения концентрации микроорганизмов в воде пробы фиксировались 40% формалином до конечной концентрации 2%. Количество бактериальных клеток подсчитывали под люминесцентными микроскопами ЛЮМАМ И-3 (2006, 2010 гг.) и МИКМЕД-26 (2014, 2019 гг.) при увеличении $\times 1100$ на черных нуклеопоровых фильтрах (диаметр пор 0,20 мкм) с использованием флуорохрома акридина оранжевого [Hobbie et al., 1977; Кузнецов, Дубинина, 1989]. Трофический статус различных районов литоральной зоны оценивался в соответствии с классификацией водоемов по общей численности бактериопланктона [Копылов, Косолапов, 2007].

В 2019 г. дополнительно определялась численность сапрофитных микроорганизмов методом глубинного посева на питательную среду ГРМ-агар [Кузнецов, Дубинина, 1989] и рассчитывалось соотношение количества сапрофитных бактерий и общего количества бактерий, которое обычно колеблется в водоемах в пределах от 0,0003 до 3 (редко более) [Романенко, 1979; Руководство..., 1982].

В 2019 г. также определяли численность общих колиформных бактерий и термотолерантных колиформных бактерий, свидетельствующих о наличии хозяйственно-бытового, и в том числе фекального, загрязнения методом мембранной фильтрации [МУК..., 2004]. Особенно важно отслеживать подобное загрязнение акваторий, используемых для рекреации, таких как литоральная зона водоемов. Поэтому все участки литорали, где обнаруживался рост ОКБ, даже в концентрациях, не превышающих установленный для зон рекреации норматив (500 КОЕ/100 мл) [СанПиН..., 2001], считались испытывающими антропогенное воздействие.

Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием программы Statistica 10. Связь между параметрами (ОЧБ и температура воды за весь период исследований) выявлялась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена. Оценка достоверности различий между значениями параметров проводилась по критерию Манна – Уитни.

Результаты и обсуждение

Общая численность бактериопланктона на различных участках литорали Ладожского озера в 2006 году колебалась от 1,10 млн кл/мл на акватории около пос. Ляскеля (ст. 15, северный район) и напротив о. Койонсаари (ст. 22) до 5,00 млн кл/мл в Тайполовском заливе (ст. 27, западный район). В 2010 г. концентрация бак-



Схема расположения станций в литоральной зоне Ладожского озера (картографические данные Яндекс, 2020)

Scheme of the stations in the littoral zone of Lake Ladoga (map data by Yandex, 2020)

терий изменялась от 2,20 млн кл/мл в истоке р. Невы до 7,00 млн кл/мл на акватории около дер. Вороново (южный район). Максимальная за весь период исследований величина ОЧБ зарегистрирована в 2014 г. (15,90 млн кл/мл) в северной части озера на выходе из залива Импилахти (ст. 12), минимальное количество бактериопланктона отмечено в этом же году в бухте Владимирской (ст. 26, западный район) – 1,40 млн кл/мл. В 2019 г. минимальные и максимальные значения ОЧБ составляли соответственно 1,36 млн кл/мл (Андрусовская бухта, ст. 7) и 4,38 млн кл/мл в Якимварском заливе, пос. Соролы (ст. 21b) (табл. 1–4).

На большинстве станций величины численности микроорганизмов в 2010 и 2014 гг. были близки между собой и превышали аналогичные величины, обнаруженные в 2006 и 2019 гг., в 1,5–6 раз. Вероятно, относительно высокая общая численность бактерий почти на всех станциях в 2010 и 2014 гг. связана с более высокими температурами воды в эти годы по сравнению с 2006 и 2019 годами. Медианы ОЧБ по всем станциям в 2006 и 2019 гг. – 1,72 и 2,6 млн кл/мл соответственно. Медианы температуры воды за те же годы были 18,2 и 18,0 °С соответственно. В 2010 и 2014 гг. медианы ОЧБ по всем станциям составляли 4,7

и 4,1 млн кл/мл соответственно. Медианные значения температуры воды за эти годы равнялись 24,3 и 23,5 °С соответственно. Критерий Манна – Уитни выявил достоверные различия количества бактериопланктона в «холодные» и «теплые» годы ($U_{\text{эмп}} = 220,5$; $n_1 = 27$; $n_2 = 56$; $p < 0,05$). Коэффициент Спирмена выявил наличие положительной связи между ОЧБ и температурой воды ($r = 0,59$; $n = 83$; $p < 0,05$).

В северном районе минимальная за годы исследований величина ОЧБ отмечалась на участке литорали около пос. Ляскеля (ст. 15) в 2006 г., а максимальная – на станции у выхода из залива Импилахти (ст. 12) в 2014 г. (табл. 1). На выходе из зал. Импилахти также отмечался максимальный по сравнению с другими участками процент палочковидных клеток (57 %). Здесь встречались палочки длиной до 30–40 мкм и толщиной до 1 мкм, тогда как обычно длина таких клеток в Ладожском озере составляет 2–3 мкм [Капус-

тина, 2013]. Средний процент палочковидных форм бактерий в северном районе озера был равен $45,9 \pm 9,6$ %. Очень высокая численность микроорганизмов, обнаруженная на выходе из зал. Импилахти и характерная для грязных вод, вряд ли объясняется только относительно высокими температурами воды в 2014 г., тем более что на этой же станции отмечался максимальный процент палочковидных клеток, часто больших размеров, что косвенно подтверждает наличие в воде значительного количества органического вещества [Кожова, Дутова, 1989; Киреева, 2007; Копылов, Косолапов, 2008]. По всей видимости, залив загрязняется в связи с хозяйственной деятельностью на его акватории. В настоящее время в пос. Импилахти функционирует лесопильное предприятие «Сетлес» [Правительство...]. Возможно, отходы производства и муниципальные стоки поселка эпизодически могут поступать в воду залива.

Таблица 1. Общая численность бактериопланктона (N_{bac} , млн кл/мл), численность сапрофитных бактерий (N_{sb} , КОЕ*/мл) и общих колиформных бактерий (N_{cb} , КОЕ/100 мл) в северном (шхерном) районе Ладожского озера летом 2006, 2014 и 2019 гг.

Table 1. The total bacteria numbers (N_{bac} , million cells/ml), the number of saprophytic bacteria (N_{sb} , CFU*/ml) and total coliform bacteria (N_{cb} , CFU/100 ml) in the northern region (skerries) of Lake Ladoga in the summer of 2006, 2014 and 2019

№ станции Station No.	Местоположение Location	N_{bac}			N_{sb}	N_{cb}
		2006 г.	2014 г.	2019 г.	2019 г.	2019 г.
10	У г. Питкяранта, в проливе напротив завода City of Pitkyaranta (near pulp and paper mill)	2,80	6,60	2,44	1000	46
12	Выход из зал. Импилахти Entrance of Impilahti Bay	2,60	15,9	2,84	128	не обнаружено not detected
13	Зал. Хауккалаhti Haukkalahti Bay	1,72	4,50	1,83	118	не обнаружено not detected
15	Около пос. Ляскеля Near the Lyaskela Village	1,10	3,20	3,76	38	не обнаружено not detected
16	Мыс Умоппиуми Cape Umoppiumi	-	4,10	2,88	34	не обнаружено not detected
17	Зал. у п-ова Рауталаhti Rautalahti Bay	1,32	6,30	1,65	440	5
20	Западный берег о. Путсаари West coast of the Putsaari Island	1,52	3,10	3,85	184	не обнаружено not detected
21	Якимварский зал., пос. Сорола Yakkimvar Bay, Sorola Village	1,63	3,10	4,11	122	не обнаружено not detected
21b	Якимварский зал., пос. Сорола Yakkimvar Bay, Sorola Village	-	-	4,38	100	не обнаружено not detected
C1-19	Сортавальские шхеры Sortavala skerries	-	-	1,44	204	не обнаружено not detected

Примечание. Здесь и далее: «-» – исследование не проводилось; *КОЕ – колониеобразующая единица, т. е. отдельная колония микроорганизмов, вырастающая на твердой питательной среде.

Note. «-» – the study was not carried out; *CFU – colony forming unit, i. e. a separate colony of microorganisms growing on a solid nutrient medium.

Таблица 2. Общая численность бактериопланктона (N_{bac} , млн кл/мл), численность сапрофитных бактерий (N_{sb} , КОЕ/мл) и общих колиформных бактерий (N_{cb} , КОЕ/100 мл) в западном районе Ладожского озера летом 2006, 2014 и 2019 гг.

Table 2. The total bacteria numbers (N_{bac} , million cells/ml), the number of saprophytic bacteria (N_{sb} , CFU/ml) and total coliform bacteria (N_{cb} , CFU/100 ml) in the western region of Lake Ladoga in the summer of 2006, 2014 and 2019

№ станции Station No.	Местоположение Location	N_{bac}			N_{sb}	N_{cb}
		2006 г.	2014 г.	2019 г.	2019 г.	2019 г.
22	Напротив о. Койонсаари Koionsaari Islands	1,10	2,6	1,51	128	не обнаружено not detected
22b	Напротив о. Койонсаари Koionsaari Islands	-	-	2,53	38	не обнаружено not detected
23	Приозерск; устье р. Вуоксы, зал. у завода Mouth of the Vuoksa River	1,20	6,00	2,94	632	36
26	Бухта Владимирская Vladimir Bay	1,35	1,40	1,69	576	не обнаружено not detected
27	Тайполовский залив Taipolovsky Bay	5,00	-	3,27	250	27
28	Бухта Далёкая Dalyokaya Bay	4,50	3,00	2,43	162	5
Щучий залив Shchuchiy Bay	Ст. 1 (дамба) Dam	1,70	-	3,17	784	36
	Ст. 2 (центр) Center	-	-	2,53	690	9
	Ст. 3 (выход) Entrance	1,90	-	2,35	402	18
	Ст. 4 (литораль) Littoral	-	-	2,65	1136	не обнаружено not detected

На остальных станциях концентрация микроорганизмов колебалась в довольно широких пределах с максимальными величинами на большинстве из них в 2014 г. (табл. 1). Медиана ОЧБ для литорали данного района за годы исследований составляла 2,88 млн кл/мл. На некоторых прибрежных участках северного района за последние 14 лет (2006–2019 гг.) произошло повышение количества микроорганизмов. Так, на станциях 15 (около пос. Ляскеля), 20 (западный берег о. Путсаари) и 21 (Якимварский зал., пос. Соролла) за этот период ОЧБ увеличилась в 2,5–3,4 раза (табл. 1). Возможно, это результат антропогенного эвтрофирования вод вследствие близости поселков и все более активного посещения туристами о. Путсаари. На станциях, где за период исследований концентрация микроорганизмов увеличилась, максимальные величины ОЧБ наблюдались не в 2014 г., как на остальных участках литорали, а в 2019 г., т. е. происходило непрерывное повышение уровня количественного развития бактериопланктона, уровень трофии водных масс изменялся от олиготрофно-мезотрофного до мезотрофно-эвтрофного [Копылов, Косолапов, 2007].

На основе медианных значений ОЧБ за период исследований трофический статус водных масс литоральной зоны северной части

озера в целом можно считать мезотрофным за некоторыми исключениями. В 2014 г. трофический уровень вод на участках литорали вблизи г. Питкяранта и в заливе у п-ова Рауталаhti соответствовал эвтрофному, а на выходе из зал. Импилахти – гиперэвтрофному. По данным 2019 г., водные массы у г. Питкяранты и на выходе из зал. Импилахти характеризовались как мезотрофно-эвтрофные, а в районе Сортавальских шхер – как слабomezотрофные [Копылов, Косолапов, 2007].

По величинам соотношений численности сапрофитов и ОЧБ водные массы литорали шхерного района относились к условным категориям «чистые» и «особо чистые» (табл. 5). В северном литоральном районе повышенной численностью сапрофитов отличались две станции: у г. Питкяранты напротив целлюлозного завода (ЦЗ) (ст. 10) и в заливе у п-ова Рауталаhti (ст. 17) (табл. 1). На этих же станциях зафиксирован незначительный рост ОКБ – 46 и 5 КОЕ/100 мл соответственно, что значительно ниже пределов, установленных для водоемов, используемых для зон рекреации (500 КОЕ/100 мл) [СанПиН..., 2001]. По-видимому, на акваторию вблизи г. Питкяранты (ст. 10) могут попадать сбросы Питкярантского ЦЗ и, возможно, городские муници-

Таблица 3. Общая численность бактериопланктона (N_{bac} , млн кл/мл), численность сапрофитных бактерий (N_{sb} , КОЕ/мл) и общих колиформных бактерий (N_{cb} , КОЕ/100 мл) в южном районе Ладожского озера летом 2006, 2010, 2014 и 2019 гг.

Table 3. The total bacteria numbers (N_{bac} , million cells/ml), the number of saprophytic bacteria (N_{sb} , CFU/ml) and total coliform bacteria (N_{cb} , CFU/100 ml) in the southern region of Lake Ladoga in the summer of 2006, 2010, 2014 and 2019

№ станции Station No.	Местоположение Location	N_{bac}				N_{sb}	N_{cb}
		2006 г.	2010 г.	2014 г.	2019 г.	2019 г.	2019 г.
30	Мыс Осиновец Cape Osinovets	3,10	-	3,40	3,25	1968	спл. рост Sol. gr.
2 (в 2019 г. – Lst-2-19)	Дер. Кобона, налево от выхода из канала Cobona Village, left of the canal entrance	2,35	3,40	4,30	1,84	63	не обнаружено not detected
5	200 м налево от выхода в Ладогу из канала от дер. Вороново Voronovo Village	1,70	7,00	6,90	3,13	392	не обнаружено not detected
31-19	Пос. им. Морозова Village n. a. Morozov	-	-	-	2,85	398	20
	Севернее пос. им. Морозова Village n. a. Morozov	-	5,20	-	-	-	-
L3-14	Пос. Назия Nazia Village	-	4,00	-	2,09	288	30
	Не доходя пос. Назия Nazia Village	-	5,70	-	-	-	-
H 1	Исток р. Невы Springhead of the Neva River	-	2,20	-	-	-	-
L4-14	Выход из р. Волхов в Ладогу Entrance from Volkhov River to Ladoga	-	-	-	2,93	432	40
L1-19	Пос. Заостровье Zaostrovye Village	-	-	-	3,14	672	не обнаружено not detected
L10-14	4 км левее устья р. Волхов Near mouth of the Volkhov River	-	4,70	-	3,22	74	не обнаружено not detected
L9-14	2 км налево от устья р. Волхов Near mouth of the Volkhov River	2,90	2,40	-	2,80	632	не обнаружено not detected
Lst-5b-09	Устье р. Волхов Mouth of the Volkhov River	-	-	-	1,87	440	не обнаружено not detected

Примечание. «Спл. рост» – сплошной рост микроорганизмов на фильтре.

Note. «Sol. gr.» – solid growth of microorganisms on the filter.

пальные стоки. На ст. 17 (зал. у п-ова Рауталаhti) не исключено попадание муниципальных стоков от пос. Рауталаhti, т. к. отбор проб производился в вершине залива недалеко от поселка. Минимальные величины численности сапрофитных бактерий отмечались на станциях у пос. Ляскеля и у мыса Умоппиуми. На участке литорали у пос. Ляскеля низкая численность данных микроорганизмов, по-видимому, связана с прекращением работы бумажной фабрики, длительное время существовавшей в поселке. Ранее (конец 80-х годов прошлого столетия) в прибрежье у поселка отмечался интенсивный рост этой группы микроорганизмов (Л. Л. Капустина, неопубликованные дан-

ные). Последние несколько лет фабрика не работает, и в настоящее время экологическое состояние указанного участка, судя по нашим данным, улучшилось. На большинстве станций этого района рост ОКБ не зафиксирован, что свидетельствует об отсутствии фекального загрязнения.

В литоральной зоне западной части озера концентрация бактерий за исследованный период на большинстве станций колебалась в довольно узких пределах – 1,1–2,4 раза (табл. 2). Медиана ОЧБ литорали западного берега Ладоги за 2006, 2014 и 2019 гг. составляла 2,53 млн кл/мл. Наиболее значительные колебания (1,20–6,00 млн кл/мл) отмеча-

Таблица 4. Общая численность бактериопланктона (N_{bac} , млн кл/мл), численность сапрофитных бактерий (N_{sb} , КОЕ/мл) и общих колиформных бактерий (N_{cb} , КОЕ/100 мл) в восточном районе Ладожского озера летом 2006, 2010, 2014 и 2019 гг.

Table 4. The total bacteria numbers (N_{bac} , million cells/ml), the number of saprophytic bacteria (N_{sb} , CFU/ml) and total coliform bacteria (N_{cb} , CFU/100 ml) in the eastern region of Lake Ladoga in the summer of 2006, 2010, 2014 and 2019

№ станции Station No.	Местоположение Location	N_{bac}				N_{sb}	N_{cb}
		2006 г.	2010 г.	2014 г.	2019 г.	2019 г.	2019 г.
6 (в 2019 г. – L16-10)	Свирская губа (устье р. Свирь) Mouth of the Svir River	2,50	4,70	4,70	1,56	46	15
7	Андрусовская бухта Andrus Bay	2,10	-	3,20	1,36	44	не обнаружено not detected
8	У о. Мантсинсаари Mantsinsaari Island	1,40	-	4,10	2,83	38	не обнаружено not detected
8гх	Открытый восточный берег Свирской губы, литораль East coast of Svir Bay	-	-	-	1,37	415	не обнаружено not detected
9	Зал. Ууксунлахти Uksunlahti Bay	-	-	-	2,37	86	не обнаружено not detected

лись на станции вблизи г. Приозерска в устье р. Вуоксы, у завода древесно-волоконных плит. Здесь наибольшая численность бактериопланктона регистрировалась в 2014 г. при максимальной температуре воды (25,8 °С). На различных участках литорали западного района максимальные и минимальные величины численности микроорганизмов, как правило, отмечались в разные годы, т. е. каких-либо закономерностей не прослеживалось. Только на двух станциях обнаруживалась тенденция снижения количества микроорганизмов за период исследований. В бухте Далекой (ст. 28), по данным за 2006, 2014 и 2019 гг., ОЧБ постепенно уменьшилось почти в два раза (с 4,50 до 2,43 млн кл/мл). В Тайполовском заливе (ст. 27) с 2006 по 2019 гг. также произошло снижение численности бактерий с 5,00 до 3,27 млн кл/мл. Однако в 2014 г. пробы в нем не отбирались, в связи с чем оценить динамику величин внутри 14-летнего интервала не представляется возможным. В 2006 и 2019 гг. ОЧБ в Щучьем заливе варьировала в пределах 1,70 млн кл/мл (у дамбы в 2006 г.) – 3,17 млн кл/мл (у дамбы в 2019 г.). Анализ многолетних данных [Александрова, Капустина, 1982; Капустина, 2011] показал, что после закрытия Приозерского ЦБК количество бактерий в Щучьем заливе постепенно снизилось с 12,4 млн кл/мл в 1987 г. до среднего значения $2,38 \pm 0,4$ млн кл/мл в 2006 и 2019 гг. Трофический статус водных масс западной части литорали озера за исследуемый период, судя по медианным величинам численности микроорганизмов, можно охарактеризовать как мезотрофный [Копылов, Косолапов, 2007].

Для западного района получены наибольшие медианные величины соотношения численности сапрофитных бактерий и ОЧБ (табл. 5).

На данной акватории по содержанию сапрофитов выделяются участки, подверженные антропогенному воздействию: устье р. Вуоксы (г. Приозерск), Щучий залив и бухта Владимирская. В устье Вуоксы также регистрировался слабый рост ОКБ. На большинстве станций данного района (включая Щучий залив) количество бактерий группы кишечной палочки было незначительным (5–36 КОЕ/100 мл) и не превышало установленного норматива. Высокая численность сапрофитов, обнаруженная в устье р. Вуоксы, может быть связана с поступлением стоков Приозерского завода древесно-стружечных плит и/или не до конца очищенных муниципальных стоков г. Приозерска, что косвенно подтверждает наличие в воде ОКБ. Значительные численности сапрофитов, выявленные в Щучьем заливе, уменьшаются по мере удаления от дамбы, что, скорее всего, связано с постоянным подтоком загрязненных вод в районе дамбы через искусственно прорытый канал из оз. Дроздово. На берегу Тайполовского залива находятся турбазы [Мир...], кроме того, в залив впадает р. Бурная, что может обуславливать наличие в водных массах литорали бактерий группы кишечной палочки. По величинам соотношений численности сапрофитов и ОЧБ водные массы литоральной зоны западного района относятся к условным категориям «чистые» и «особо чистые» (табл. 5).

В южном прибрежном районе концентрация микроорганизмов в воде литоральной зоны бухты Петрокрепость была несколько ниже, чем в аналогичной зоне Волховской губы. Медианы ОЧБ по всем станциям бухты Петрокрепость и Волховской губы за исследованный период –

Таблица 5. Диапазон изменений и медианные величины соотношения численности сапрофитных бактерий (S) и ОЧБ (N_{bac}) в различных районах литорали Ладожского озера и условные категории качества вод в 2019 г.

Table 5. The range of changes and median of the ratio of the number of saprophytic bacteria (S) and the total bacteria numbers (N_{bac}) in various regions of the littoral of Lake Ladoga and the conventional categories of water quality in 2019

Район Region	S/ N_{bac}	Условная категория качества вод Conventional category of water quality
Северный (шхерный) район Northern region (skerry area)	$\frac{0,005 \pm 0,01}{(0,001-0,041)}$	«чистые» и «особо чистые» 'clean' and 'especially clean'
Западный район Western region	$\frac{0,021 \pm 0,013}{0,002-0,061}$	«чистые» и «особо чистые» 'clean' and 'especially clean'
Южный район Southern region	$\frac{0,014 \pm 0,006}{0,002-0,024}$	«чистые» и «особо чистые» 'clean' and 'especially clean'
Восточный район Eastern region	$\frac{0,003 \pm 0,008}{0,001-0,030}$	«чистые» и «особо чистые» 'clean' and 'especially clean'

3,33 и 4,20 млн кл/мл соответственно (различие статистически недостоверно при $p < 0,05$). Это же справедливо и для открытых районов вышеуказанных бухты и губы за тот же период: 1,87 и 3,15 млн кл/мл соответственно (однако различие статистически достоверно при $p < 0,05$; $U_{\text{эмп}} = 15$; $n_1 = 8$; $n_2 = 10$). В прибрежных водах бухты Петрокрепость и Волховской губы средний за период исследований процент палочковидных клеток в бактериопланктоне был $58,6 \pm 7,2$ и $53,6 \pm 7,8$ % соответственно (различие содержания палочек в литорали заливов статистически недостоверно при $p < 0,05$). В южном побережье Волховская губа всегда выделялась повышенным уровнем развития бактериопланктона в связи с поступлением в нее значительного количества взвеси и биогенных элементов с водными массами рек Волхова и Сяси. Кроме того, в устьевом участке р. Сясь обнаруживаются стоки Сясьского ЦБК, которые в летний период при определенных метеоусловиях под влиянием ветровых течений могут распространяться вдоль берега Волховской губы к р. Волхов, существенно увеличивая ОЧБ в литоральной зоне [Александрова, Капустина, 1982; Капустина, 2011]. Тем не менее в устье р. Волхов в 2019 г. (данных литоральных рейсов за предыдущие годы нет) обнаружена достаточно низкая концентрация микроорганизмов (1,87 млн кл/мл), что не совсем обычно с учетом вышеуказанного. Кроме того, ОЧБ в реке выше, чем в Волховской губе, так как Волхов берет начало из более продуктивного, чем Ладога, оз. Ильмень. Скорее всего, во время отбора проб в 2019 г. в устье Волхова наблюдался нагон озерных вод, менее обогащенных микроорганизмами, что происходит при устойчивом ветре северо-западного направления. Стабильностью величин ОЧБ (3,10–3,40 млн кл/мл) за

время исследований выделялся участок литорали у мыса Осиновец. Трофический статус водных масс южного побережья по медианным значениям численности бактериопланктона за исследованный период характеризуется как мезотрофный с чертами эвтрофии [Копылов, Косолапов, 2007]. На участке литорали у дер. Вороново трофический статус вод в 2010 и 2014 гг. соответствовал эвтрофному.

В южном литоральном районе наиболее высокая численность сапрофитов, свидетельствующая о загрязнении значительным количеством органических веществ, наблюдалась вблизи мыса Осиновец (ст. 30) – 1968 КОЕ/мл (табл. 3). Здесь же отмечалось значительное количество палочковидных клеток – 58,3–64,3 % и очень интенсивный рост ОКБ (сплошной рост). Такие концентрации сапрофитов и ОКБ у мыса Осиновец, по всей видимости, связаны с активной застройкой мыса. На нем организована обширная рекреационная зона: база отдыха [Осиновецкий...], протяженный пляж, пользующийся популярностью у жителей Санкт-Петербурга. Учитывая то, что пробы отбирались летом, в разгар туристического сезона, понятна причина высоких величин микробиологических показателей. К тому же отбор проб у мыса Осиновец происходил в условиях сильного ветрового воздействия и, как следствие, взмучивания донных отложений. Относительно повышенные численности сапрофитов регистрировались в Волховской губе у пос. Заостровье и в 2 км налево от устья Волхова. В водах Волховской губы и бухты Петрокрепость были обнаружены небольшие количества ОКБ. Высокие концентрации сапрофитных бактерий и наличие ОКБ в вышеуказанных акваториях могут свидетельствовать о поступлении в них аллохтонной микрофлоры и орга-

нических веществ с терригенным стоком, т. к. на береговой линии южного побережья Ладожского озера находятся довольно крупные населенные пункты: поселки им. Морозова, Назия и Заостровье, дер. Вороново. В Волховскую губу также поступает аллохтонная микрофлора с водами р. Волхов. Тем не менее по величинам соотношений численности сапрофитов и ОЧБ водные массы литоральной зоны южного района относятся к условным категориям «чистые» и «особо чистые» (табл. 5).

В восточном районе озера минимальное значение ОЧБ выявлено в литоральной зоне Андрусовской бухты в 2006 г., а максимальное – в устье Свири в 2010 и 2014 гг. (табл. 4). Наиболее высокий уровень развития бактериопланктона в этом районе обнаруживался в устье р. Свирь, что неудивительно, т. к. Свирь – крупная река (второй по величине приток Ладожского озера), на водосборном бассейне которой осуществляется активная хозяйственная деятельность, в том числе расположены две ГЭС [Схема..., 2015]. Медиана концентрации бактериопланктона за исследованный период в устье р. Свирь составляла 3,6 млн кл/мл. На остальной акватории восточного побережья ОЧБ за исследованный период колебалась от 1,37 до 4,10 млн кл/мл, при медиане 2,37 млн кл/мл. Однако различие концентраций бактериопланктона в устье р. Свирь и остальной акватории восточного побережья статистически недостоверно при $p < 0,05$. На всех станциях максимальная численность микроорганизмов отмечалась в 2014 г.

На основании медианы концентрации микроорганизмов за исследованный период трофический статус водных масс восточного побережья соответствует слабomezотрофному [Копылов, Косолапов, 2007].

Наименьшие медианные значения соотношения численности сапрофитных бактерий и ОЧБ получены для восточного района Ладоги (табл. 5).

Вблизи открытого берега Свирской губы (ст. 8гх) численность сапрофитных бактерий была самой высокой на всем восточном побережье – 415 КОЕ/мл (табл. 4). Сложно судить о степени антропогенного воздействия на литораль Свирской губы по одному году исследования. Это открытый залив со сложной системой течений, поэтому при различных ветровых ситуациях загрязнение может обнаруживаться в разных участках. В устье Свири (ст. 6) концентрация сапрофитов была невелика, однако отмечался рост ОКБ, правда, незначительный (15 КОЕ/100 мл). Минимальное количество сапрофитов отмечалось в Андрусовской бухте. Бухта входит в состав заказника «Андрусово»

[Заповедная...], чем, видимо, и объясняется низкая численность сапрофитов и отсутствие ОКБ в ее водах. На литоральных станциях восточного побережья в 2019 г. ОКБ в пробах воды отсутствовали (кроме устья р. Свирь).

По величинам соотношений численности сапрофитов и ОЧБ водные массы литоральной зоны восточного района относятся к условным категориям «чистые» и «особо чистые» (табл. 5).

Заключение

Судя по средним величинам ОЧБ за 2006, 2010, 2014 и 2019 гг., водные массы большей части исследованной литоральной зоны Ладожского озера имеют мезотрофный статус, что согласуется с данными по концентрации хлорофилла *a* и биомассе фитопланктона в конце 1990-х – первой декаде 2000-х [Распопов и др., 1998; Протопопова, 2011]. Отдельные участки, акватории которых подвергаются антропогенному воздействию, являлись мезотрофно-эвтрофными.

На некоторых прибрежных участках северного района за последние 14 лет наблюдалось постепенное увеличение количества микроорганизмов в 2,5–3,4 раза и, соответственно, изменение уровня трофии водных масс от олиготрофно-мезотрофного до мезотрофно-эвтрофного. На двух участках литорали западного района, напротив, обнаруживалась тенденция снижения количества микроорганизмов к 2019 г. в 1,5–2 раза. В южном и восточном районах отчетливой тенденции изменения численности микроорганизмов в ту или иную сторону за последние 14 лет не выявлено.

Установленная положительная корреляция между общей численностью микроорганизмов и температурой воды свидетельствует о большей интенсивности процессов самоочищения в более «теплые» 2010 и 2014 гг. в отличие от более «холодных» 2006 и 2019 гг.

Результаты исследований 2019 г. показали, что качество вод во всех районах литоральной зоны Ладожского озера соответствовало условным категориям «чистые» и «особо чистые». Рост ОКБ отмечался лишь на отдельных участках литорали. Основными зонами экологического риска по микробиологическим показателям в 2019 г. являлись: литораль п-ова Рауталаhti; литоральная зона у г. Питкяранты в проливе напротив ЦЗ; Приозерск, устье р. Вуоксы; Щучий залив; мыс Осиновец; Тайполовский залив; акватории вблизи поселков Назия и им. Морозова. Наиболее высокие показатели микробного загрязнения вод выявлены у мыса

Осиновец. На этих же участках акватории регистрировался и значительный процент палочковидных форм бактерий.

В перспективе следует ожидать дальнейшего развития промышленности, сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры и т. д. на водосборе и, соответственно, усиления антропогенного пресса на озеро, особенно на его литоральную зону. В связи с этим для предотвращения негативных изменений возникает необходимость в усилении контроля за состоянием озера, в частности, проведении экологического мониторинга его прибрежных районов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Литература

- Александрова Д. Н., Капустина Л. Л.* Бактериальные сообщества в озере // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л.: Наука, 1982. С. 156–163.
- Андроникова И. Н., Распопов И. М., Курашов Е. А.* Зоны экологического риска в прибрежных районах Ладожского озера, выявленные на основе гидробиологических и гидрохимических показателей // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 366–381.
- Дзюбан А. Н., Косолапов Д. Б., Корнева Л. Г., Кузнецова И. А., Столбунова В. Н.* Комплексная оценка экологического состояния мелководий Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Биология внутренних вод. 2007. № 4. С. 3–8.
- Заповедная Россия* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zapoved.net/index.php/katalog/regiony-rossii/severo-zapadnyj-fo/respublika-kareliya> (дата обращения: 11.05.2020).
- Капустина Л. Л.* Бактериопланктон литоральной зоны Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 139–155.
- Капустина Л. Л.* Бактериопланктон Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 289–298.
- Киреева И. Ю.* Морфобиологические и структурные показатели бактериопланктона как биоиндикаторы // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сб. матер. междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–27 окт. 2007 г.). СПб., 2007. С. 191–193.
- Кожова О. М., Дутова Н. В.* Морфологическое разнообразие планктонных бактерий как показатель качества вод // Гидробиологический журнал. 1989. Т. 25, № 1. С. 42–48.
- Копылов А. И., Косолапов Д. Б.* Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоемов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сб. матер. междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–27 окт. 2007 г.). СПб., 2007. С. 176–181.
- Копылов А. И., Косолапов Д. Б.* Бактериопланктон водохранилищ Верхней и Средней Волги. М.: СГУ, 2008. 377 с.
- Кузнецов С. И.* Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. М.: Наука, 1970. 440 с.
- Кузнецов С. И., Дубинина Г. А.* Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 285 с.
- Курашов Е. А., Распопов И. М., Андроникова И. Н.* Введение. Литоральная зона (термины, понятия, проблематика, история изучения, описание точек отбора) // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 10–27.
- Ладожское озеро и достопримечательности его побережья: атлас* / Отв. ред. В. А. Румянцев. СПб.: ИНОЗ РАН, Нестор-История, 2015. 200 с.
- Мир турбаз* [Электронный ресурс]. URL: <https://mirturbaz.ru/russia/leningradskaya/burnaya-ladoga> (дата обращения: 26.04.2020).
- МУК 4.2.1884-04-2004.* Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Изд-во стандартов, 2004. 41 с.
- Науменко М. А.* Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Известия РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 62–72.
- Осиновецкий маяк – достопримечательность по дороге в крепость Орешек* [Электронный ресурс]. URL: <https://petrokrepost.ru/osinovetskij-mayak-dostoprimechatelnost-po-doroge-v-krepost-oreshek/> (дата обращения: 31.05.2020).
- Правительство подписало соглашение с концерном Stora Enso* [Электронный ресурс]. URL: <http://rk.karelia.ru/ekonomika/pravitelstvo-karelii-podpisalo-soglashenie-s-kontsernom-storaenso/> (дата обращения: 11.05.2020).
- Протопопова Е. В.* Фитопланктон литоральной зоны Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 102–127.
- Распопов И. М., Андроникова И. Н., Слепухина Т. Д., Расплетина Г. Ф., Рычкова М. А., Барбашова М. А., Доценко О. Н., Протопопова Е. В.* Прибрежно-водные экотоны больших озер. СПб., 1998. 54 с.
- Распопов И. М.* Видовое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений в литоральной зоне Ладожского озера // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2009. № 7. С. 173–180.
- Родина А. Г., Кузьмицкая Н. К.* Численность и распределение бактериопланктона в Ладожском озере // Микробиология. 1963. Т. XXXII, вып. 2. С. 288–295.
- Романенко В. И.* Микробиологические показатели качества воды и методы их определения // Водные ресурсы. 1979. № 6. С. 140–153.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений* / Под ред. В. А. Абакумова. М.: Гидрометеоиздат, 1982. 56 с.
- СанПиН 2.1.5.980-00.* Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Ги-

гиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Изд-во стандартов, 2001. 18 с.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. 2015. 150 с. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva/> (дата обращения: 26.04.2020).

Boulion V. V., Hakanson L. A. A new general dynamic model to predict biomass and production of bac-

terioplankton in lakes // *Ecol. Model.* 2003. Vol. 160. P. 91–114. doi: 10.1016/S0304-3800(02)00326-5

Hobbie L. E., Daley R. I., Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // *Appl. Environ. Microbiol.* 1977. Vol. 33(5). P. 1225–1228.

Wetzel R. G. *Limnology.* Philadelphia: Saunders Publishing, 1982. 860 p.

Поступила в редакцию 18.06.2020

References

Aleksandrova D. N., Kapustina L. L. Bakterial'nye sobshchestva v ozere [Bacterial communities in a lake]. Leningrad: Nauka, 1982. P. 156–163.

Andronikova I. N., Raspopov I. M., Kurashov E. A. Zony ekologicheskogo riska v pribrezhnykh raionakh Ladozhskogo ozera, vyavlenyye na osnovе gidrobiologicheskikh i gidrokhimicheskikh pokazatelei [Zones of ecological risk in the coastal areas of Lake Ladoga, identified on the basis of hydrobiological and hydrochemical indicators]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 366–381.

Dzyuban A. N., Kosolapov D. B., Korneva L. G., Kuznetsova I. A., Stolbunova V. N. Kompleksnaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya melkovodii Rybinskogo i Gor'kovskogo vodokhranilishch [Complex assessment of an ecological status of the littoral zones in the Rybinsk and Gorkiy reservoirs]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2007. No. 4. P. 3–8.

Kapustina L. L. Bakterioplankton litoral'noi zony Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of the littoral zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 139–155.

Kapustina L. L. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2013. P. 289–298.

Kireeva I. Yu. Morfobiologicheskie i strukturnye pokazateli bakterioplanktona kak bioindikatory [Morphobiological and structural indicators of bacterioplankton as bioindicators]. *Bioindikatsiya v monitoringe presnovod. ekosistem*: Sb. mat. mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 23–27 okt. 2007 g.) [Bioindication in freshwater ecosystem monitoring: Proceed. int. conf. (St. Petersburg, Oct. 23–27, 2007)]. St. Petersburg, 2007. P. 191–193.

Kozhova O. M., Dutova N. V. Morfologicheskoe raznoobrazie planktonnykh bakterii kak pokazatel' kachestva vod [Morphological diversity of planktonic bacteria as an indicator of water quality]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1989. Vol. 25, no. 1. P. 42–48.

Kopylov A. I., Kosolapov D. B. Mikrobiologicheskie indikatorы evtrofirovaniya presnykh vodoemov [Microbial indicators of eutrophication of freshwater ecosystems]. *Bioindikatsiya v monitoringe presnovod. ekosistem*: Sb. mat. mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 23–27 okt. 2007 g.) [Bioindication in freshwater ecosystem monitoring: Proceed. int. conf. (St. Petersburg, Oct. 23–27, 2007)]. St. Petersburg, 2007. P. 176–181.

Kopylov A. I., Kosolapov D. B. Bakterioplankton vodokhranilishch Verkhnei i Srednei Volgi [Bacterioplankton of reservoirs of the Upper and Middle Volga]. Moscow: SGU, 2008. 377 p.

Kuznetsov S. I. Mikroflora ozer i ee geokhimicheskaya deyatel'nost' [Microflora of lakes and its geochemical activity]. Moscow: Nauka, 1970. 440 p.

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods for studying aquatic microorganisms]. Moscow: Nauka, 1989. 285 p.

Kurashov E. A., Raspopov I. M., Andronikova I. N. Vvedenie. Litoral'naya zona (terminy, ponyatiya, problematika, istoriya izucheniya, opisanie tochek otbora) [Introduction. The littoral zone (terms, concepts, problems, study history, and description of sampling sites)]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 10–27.

Ladozhskoe ozero i dostoprimechatel'nosti ego poberezh'ya: atlas [Lake Ladoga and its coastal attractions: an atlas]. Eds. V. A. Rumyantsev. St. Petersburg: INOZ RAN, Nestor-Istoriya, 2015. 200 p.

Mir turbaz [World of campsites]. URL: <https://mirturbaz.ru/russia/leningradskaya/burnaya-ladoga> (accessed: 26.04.2020).

Metodicheskie ukazaniya 4.2.1884–04–2004. Sanitarno-mikrobiologicheskii i sanitarno-parazitologicheskii analiz vody poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov [Methodical instructions 4.2.1884-04-2004. Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water from surface aqueous entities]. Moscow: Publ. house of standards, 2004. 41 p.

Naumenko M. A. Analiz morfometricheskikh kharakteristik podvodnogo rel'efa Ladozhskogo ozera na osnovе tsifrovoi modeli [Analysis of morphometric characteristics of bottom relief of Lake Ladoga on the basis of the digital model]. *Izv. RAN. Ser. Geogr* [Proceed. RAS. Geographical Ser.]. 2013. No. 1. P. 62–72.

Osinovetskii mayak – dostoprimechatel'nost' po doroge v krepost' Oreshok [Osinovets lighthouse is an attraction on the way to the Oreshok Fortress]. URL: <https://petrokrepost.ru/osinovetskij-mayak-dostoprimechatelnost-po-doroge-v-krepost-oreshek/> (accessed: 31.05.2020).

Pravitel'stvo podpisalo soglasenie s kontsernom Stora Enso [Government signs agreement with the Stora Enso concern]. URL: <http://rk.karelia.ru/ekonomika/pravitelstvo-karelii-podpisalo-soglasenie-s-kontsernom-storaenso/> (accessed: 11.05.2020).

Protopopova E. V. Fitoplankton litoral'noi zony Ladozhskogo ozera [Phytoplankton of the littoral zone of Lake Ladoga]. *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 102–127.

Raspopov I. M., Andronikova I. N., Slepukhina T. D., Raspletina G. F., Rychkova M. A., Barbashova M. A.,

Dotsenko O. N., Protopopova E. V. Pribrezhno-vodnye ekotony bol'shikh ozer [Coastal-aquatic ecotones of large lakes]. St. Petersburg, 1998. 54 p.

Raspopov I. M. Vidovoe raznoobrazie vysshikh vodnykh i pribrezhno-vodnykh rastenii v litoral'noi zone Ladozhskogo ozera [Species diversity of higher aquatic plants and coastal aquatic plants in the littoral zone of Lake Ladoga]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoi Evropy* [Phytodiversity of Eastern Europe]. 2009. No. 7. P. 173–180.

Rodina A. G., Kuz'mitskaya N. K. Chislennost' i raspredelenie bakterioplanktona v Ladozhskom ozere [The abundance and distribution of bacterioplankton in Lake Ladoga]. *Mikrobiol.* [Microbiol.]. 1963. Vol. XXXII, iss. 2. P. 288–295.

Romanenko V. I. Mikrobiologicheskie pokazateli kachestva vody i metody ikh opredeleniya [Microbiological indicators of water quality and methods for their determination]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 1979. No. 6. P. 140–153.

Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Manual for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Ed. V. A. Abakumov. Moscow: Gidrometeoizdat, 1982. 56 p.

SanPiN 2.1.5.980-00. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodospabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemi-

logicheskie pravila i normativy [Sanitary norms and rules 2.1.4.1074-01. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Sanitary and epidemiological rules and regulations]. Moscow: Publ. house of standards, 2001. 18 p.

Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina reki Neva [Scheme of the integrated use and protection of aqueous entities of the Neva River basin]. 2015. 150 p. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva> (accessed: 26.04.2020).

Zapovednaya Rossiya [Protected areas in Russia]. URL: <http://www.zapoved.net/index.php/katalog/regiony-rossii/severo-zapadnyj-fo/respublika-kareliya> (accessed: 11.05.2020).

Boulion V. V., Hakanson L. A. A new general dynamic model to predict biomass and production of bacterioplankton in lakes. *Ecol. Model.* 2003. Vol. 160. P. 91–114. doi: 10.1016/S0304-3800(02)00326-5

Hobbie L. E., Daley R. I., Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 1977. Vol. 33(5). P. 1225–1228.

Wetzel R. G. *Limnology*. Saunders Publishing. Philadelphia, 1982. 860 p.

Received June 18, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Митрукова Галина Геннадьевна

научный сотрудник лаб. гидробиологии, к. б. н.
Институт озероведения РАН,
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН)
ул. Севастьянова 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105
эл. почта: galya-21@mail.ru

Капустина Лариса Леонидовна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт озероведения РАН,
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН)
ул. Севастьянова 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105

ведущий научный сотрудник
Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга)
наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, Россия, 199053
эл. почта: larisa.kapustina@mail.ru

Курашов Евгений Александрович

заведующий лаб. гидробиологии, д. б. н., проф.
Институт озероведения РАН,
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН)
ул. Севастьянова 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105

главный научный сотрудник
Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга)
наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, Россия, 199053
эл. почта: evgeny_kurashov@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Mitrukova, Galina

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS)
9 Sevastyanov St., 196105 St. Petersburg, Russia
e-mail: galya-21@mail.ru

Kapustina, Larisa

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS)
9 Sevastyanov St., 196105 St. Petersburg, Russia

St. Petersburg Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO (GosNIORKh named after L. S. Berg)
26 Nab. Makarova, 199053 St. Petersburg, Russia
e-mail: larisa.kapustina@mail.ru

Kurashov, Evgeny

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS)
9 Sevastyanov St., 196105 St. Petersburg, Russia

St. Petersburg Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, VNIRO (GosNIORKh named after L. S. Berg)
26 Nab. Makarova, 199053 St. Petersburg, Russia
e-mail: evgeny_kurashov@mail.ru