

Санитарно-микробиологическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в Ладожском озере

Д.В. Белозерова¹,
Л.Л. Капустина^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), Санкт-Петербург

² Институт Озероведения РАН (ФГБНУ «ИНОЗ РАН»), Санкт-Петербург

E-mail: larisa.kapustina@mail.ru

Представлена микробиологическая характеристика водных масс Ладожского озера, как среды обитания биоресурсов, по результатам наблюдений в июне и сентябре 2020 г. В начале лета отмечалось гетерогенное пространственное распределение бактериопланктона из-за разницы температур воды в различных частях озера. Максимальные величины общей численности бактерий (ОЧБ) наблюдались в юго-восточном побережье и в районе Сортавальских шхер, минимальные — в глубоководных районах. Осенью распределение бактериопланктона было более равномерным из-за выравнивания температур воды в поверхностном слое. По средним за период наблюдений величинам ОЧБ трофический статус вод в различных районах озера колебался от олиготрофного в бух. Петрокрепость до мезотрофно-эвтрофного в юго-восточном районе и Сортавальских шхерах. За период исследований по численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ) водные массы озера, за исключением шхерного района, относились к категориям «чистые» и «очень чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам. Численность общих колиформных бактерий (ОКБ) и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) в воде была существенно ниже нормативов, установленных для различных категорий водопользования. Исключением был участок в устье р. Волхов в июне, где численность ОКБ и ТКБ значительно превышала нормативы. Наличие сальмонеллы в воде выявлено не было. По микробиологическим показателям качество вод в большинстве исследованных районов Ладожского озера может быть охарактеризовано как высокое. Однако выявлены отдельные зоны экологического риска, подверженные антропогенному воздействию: Волховская губа, включая устьевой участок р. Волхов, участки акватории в северном шхерном районе вблизи городов Сортавала, Лахденпохья и Питкяранта, акватория вблизи г. Приозерск.

Ключевые слова: Общая численность бактериопланктона, трофический статус, сапрофитные микроорганизмы, колиформные бактерии, качество воды.

ВВЕДЕНИЕ

Ладожское озеро — ведущий рыбохозяйственный водоём в Северо-Западном регионе России в силу богатства и разнообразия водных биологических ресурсов. Основную роль в рыболовстве в озере играют озёрные виды, жизненный цикл которых связан с открытыми участками водоёма: ряпушка, озёрные сиги, судак, паляя, а также корюшка, которая нагуливается и зимует в открытой акватории. К ценным промысловым объектам относятся также прибрежные рыбы — лещ и щука. Однако, в настоящее время запасы некоторых видов сократились, в первую очередь, лососёвых, сиговых, судака, что связано, наряду с другими факторами, с антропогенным воздействием на экосистему Ладожского озера [Кудерский, 2013]. В последние годы в Ладожском озере (особенно в южной мелководной зоне, основной зоне размножения и нагула

многих видов рыб) существенно ухудшились условия воспроизводства рыб и беспозвоночных (кормовой базы рыб), что отрицательно сказалось на выловах ценных рыбных ресурсов [Курашов и др., 2020]. Загрязнение поверхностных вод, влекущее деградацию многих рыбохозяйственных водоёмов, в настоящее время приняло угрожающие размеры. Разнообразие загрязняющих веществ, поступающих в водоёмы различными путями, чрезвычайно велико. Одним из наиболее распространённых является загрязнение различными органическими веществами, в частности, хозяйственно-бытовое, наносящее серьёзный урон биоресурсам.

В связи с этим, оценка качества вод озера как среды обитания биоресурсов представляется очень важной. Микроорганизмы играют первостепенную роль в процессах естественного самоочищения вод, за счёт

их деструкционной деятельности происходит трансформация большей части энергии, поступающей в водные экосистемы с автохтонным и аллохтонным органическим веществом [Кузнецов, 1970; Pomeroy, 1974; Wetzel, 1982; Cole et al., 1988; Копылов, Косолапов, 2011]. Поэтому, при оценке качества воды обязательно должны приниматься во внимание значения микробиологических параметров. Общая численность бактериопланктона в воде является одним из показателей трофического статуса водоёмов [Кузнецов, 1970; Сорокин, 1972; Романенко, 1979; Boulion, Nakanson 2003; Копылов, Косолапов, 2007]. Количественное соотношение сапрофитных микроорганизмов, вырастающих при различных температурных режимах, свидетельствует об интенсивности и завершённости процессов самоочищения, а численность в воде общих и термотолерантных колиформных бактерий характеризует санитарное состояние водных объектов [МУК 4.2.1884–04–2004,

2004]. Пространственно-временное распределение и физиологическая активность бактериопланктона Ладожского озера хорошо изучены [Александрова, Капустина, 1982; Капустина, Каурова, 2002; Капустина, 2011; Капустина 2013]. Однако, санитарно-микробиологические исследования озера, важность которых для характеристики среды обитания биоресурсов трудно переоценить, не проводились.

Цель работы: оценить качество вод Ладожского озера как среды обитания биоресурсов по результатам сезонных микробиологических исследований в 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Отбор проб производился из поверхностного горизонта воды на станциях, расположенных на всей акватории Ладожского озера (рис. 1) в течение июня (02–29) и в конце сентября (26–28) 2020 г. Пробы

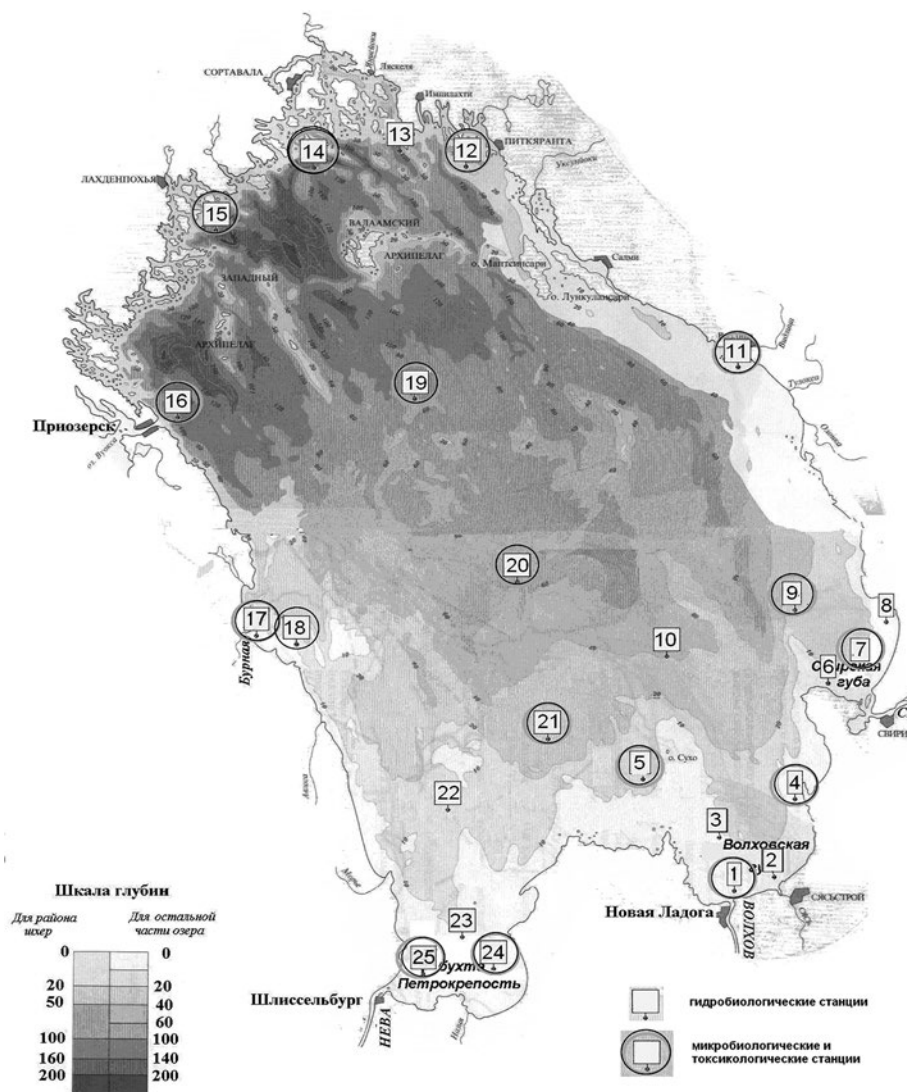


Рис. 1. Схема станций экологического мониторинга на акватории Ладожского озера

воды отбирали батометром Паталаса. Для определения ОЧБ в воде пробы фиксировались 40%-ным формалином до конечной концентрации 2%. Количество бактериальных клеток подсчитывали под люминесцентным микроскопом МИКМЕД 26 при увеличении $\times 1000$ на тёмных нуклеопоровых фильтрах (диаметр пор 0,20 мкм) с использованием флуорохрома акридина оранжевого [Hobbie et al., 1977; Кузнецов, Дубинина, 1989]. Трофический статус различных районов озера оценивался в соответствии с классификацией водоёмов по общей численности бактериопланктона [Копылов, Косолапов, 2007].

Численность сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ) определялась методом глубинного посева на питательную среду ГРМ-агар [МУК 4.2. 1884–04, 2004].

Численность ОКБ и ТКБ, свидетельствующих о наличии хозяйственно-бытового и, в том числе, фекального загрязнения, определялась методом мембранной фильтрации [МУК 4.2.1884–04–2004, 2004]. Оценивалось превышение, нормативов, установленных для различных категорий водопользования [СанПиН 2.1.5.980–00, 2001].

Определение наличия в воде сальмонеллы как наиболее устойчивого представителя патогенных микроорганизмов проводилось с использованием

висмут-сульфит агара и среды микробиологической ХЛД [МУК 4.2.1884–04–2004, 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В июне относительно высокие величины ОЧБ ($4,02–8,30 \times 10^6$ кл/мл) наблюдались в юго-восточном побережье (ст. 1, 4), на выходе из Свирской губы (ст. 9), у восточного берега (ст. 11), а также в районе Сортавальских шхер (ст. 14) в связи с антропогенным влиянием г. Сортавала. В центральной и северной частях Ладоги концентрация микроорганизмов в это время была относительно низкой и варьировала в пределах $(1,05–3,45) \times 10^6$ кл/мл. Минимальное количество бактериопланктона отмечалось в бух. Петрокрепость (табл. 1). Средняя для всего озера величина ОЧБ составляла $(3,15 \pm 2,00) \times 10^6$ кл/мл, по высокому значению стандартного отклонения от средней видно насколько неравномерно бактериопланктон распределён по акватории. Подобное пространственное распределение бактерий характерно для Ладожского озера в начале лета в связи с недостаточным прогревом вод в глубоководных частях озера, тем более, что в открытых районах пробы, в основном, отбирались в начале июня, когда в озере ещё мог существовать термический бар [Тихомиров, 1982; Rodgers, 1965]. Однако, абсолютные величины численности

Таблица 1. Величины общей численности бактериопланктона (ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл) в Ладожском озере в 2020 г.

Дата отбора (июнь)	№ станции	ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл	Дата отбора (сентябрь)	ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл	ОЧБ, $\times 10^6$ кл/мл
		июнь		сентябрь	ср. за сезон
15.06	1	5,83	27.09	4,82	5,33
15.06	4	8,30	27.09	2,98	5,64
15.06	5	3,27	26.09	5,31	4,29
15.06	7	2,58	27.09	5,18	3,88
15.06	9	5,03	27.09	5,82	5,43
29.06	11	4,02	27.09	4,24	4,13
02.06	12	3,45	28.09	4,24	3,85
03.06	14	5,14	28.09	4,69	4,92
03.06	15	2,01	28.09	4,00	3,00
02.06	16	2,21	28.09	4,44	3,33
16.06	17	1,44	28.09	4,67	3,06
16.06	18	2,19	-	-	-
02.06	19	1,35	28.09	4,77	3,04
16.06	20	3,31	28.09	4,63	3,97
09.06	21	1,39	26.09	5,76	3,58
09.06	24	1,05	26.09	4,33	2,69
09.06	25	0,98	26.09	4,29	2,64

бактерий слишком высоки для начала лета, когда обычно наблюдается раннелетняя депрессия бактериопланктона [Капустина, 2013]. По-видимому, интенсивное развитие микроорганизмов в это время связано с климатическими особенностями 2020 г., когда температуры воды в поверхностном слое варьировали в диапазонах 3,0–8,8 °C в северной части и 13,4–19,7 °C на остальной акватории, что превышает средние многолетние июньские температуры (3,5–10 °C) [Науменко и др., 2013].

В конце сентября 2020 г. наблюдалось интенсивное развитие бактериопланктона на всей акватории Ладожского озера, концентрация бактерий в это время колебалась от $2,98 \times 10^6$ кл/мл (ст. 4, юго-восточный берег Волховской губы) до $5,82 \times 10^6$ кл/мл (ст. 9, недалеко от выхода из Свирской губы) (табл. 1). Средняя по озеру величина ОЧБ была равна $(4,64 \pm 0,69) \times 10^6$ кл/мл, т. е. выше, чем в июне, тогда как значение стандартного отклонения в сентябре значительно меньше, что свидетельствует о более равномерном распределении микроорганизмов по акватории озера. Обычно, к концу сентября ОЧБ в поверхностном горизонте воды снижается примерно в 1,5 раза по сравнению с таковой в разгар летнего периода и составляет $(0,9–2,3) \times 10^6$ кл/мл в разные годы [Капустина, 2002; 2013]. По-видимому, аномально высокие концентрации микроорганизмов в осенний период связаны с климатическими особенностями 2020 г., как уже упоминалось выше. Во время отбора проб в озере отмечались необычно высокие для этого времени температуры воды (12,3–12,6 °C), тогда как по данным многолетних наблюдений температура поверхностного слоя воды Ладоги в конце сентября составляет около 10 °C [Науменко и др., 2013]. Кроме того, очень высокой в это время была численность фитопланктона, являющегося источником органического вещества для бактерий. Наиболее значительные концентрации бактериопланктона наблюдались в юго-восточной части озера (ст. 1, 5, 7, 9, 21) (табл. 1; рис. 1). Среди других станций этого района сильно выделялась ст. 4 (юго-восточный берег Волховской губы), расположенная вблизи Сясьского ЦБК. В пробе воды на этой станции преобладали длинные палочки, по всей видимости, бациллы. Встречались, также, клостридии (анаэробы) и спириллы. Эти группы микроорганизмов принимают активное участие в разложении отходов целлюлозно-бумажных комбинатов. Вероятно, разбавленные стоки Сясьского ЦБК при соответствующей ветровой ситуации отжало к юго-восточному берегу Волховской губы. При этом ОЧБ на этой станции была даже ниже, чем на других (табл. 1). По-видимому, большая часть автохтонной микрофлоры не выживает

в сточных водах целлюлозно-бумажного производства. В целом, пространственное распределение бактериопланктона по акватории озера в конце сентября было достаточно равномерным, что характерно для осеннего периода [Капустина, 2013].

Общая численность бактерий в воде является одним из показателей трофического статуса водоёмов [Кузнецов, 1970; Сорокин, 1972; Романенко, 1979; Драбкова, 1981]. Обнаружено, что среднее за вегетационный сезон количество бактериопланктона составляет в олиготрофных водоёмах 0,2–1,4, в мезотрофных – 0,9–5,9, в эвтрофных – 4,2–12,9 и в гиперэвтрофных – $(8,4–26,5) \times 10^6$ кл/мл [Копылов, Косолапов, 2007]. Эти данные хорошо согласуются с величинами численности микроорганизмов, рассчитанными по уравнению зависимости между концентрациями хлорофилла и бактериопланктона [Bird, Kalff, 1984; Currie, 1990; Boulion, Hakanson 2003]. Нужно заметить, что определение трофического уровня водоёмов производится в первую очередь по количеству фосфора и уровню развития фитопланктона и может не всегда совпадать с таковым по микробиологическим параметрам. Однако, современные классификации, как правило, включают количественные характеристики как бактерио-, так и фитопланктона [Копылов, Косолапов, 2007]. Концентрация бактериопланктона обычно подвержена значительным сезонным колебаниям, тем не менее, средние значения его общей численности за вегетационный период или за год в стабильных водных экосистемах достаточно постоянны и обладают наибольшей надёжностью для определения трофического статуса. На основании средних величин ОЧБ в июне и в сентябре 2020 г. (табл. 1), трофический статус поверхностных вод Ладожского озера оценивался как мезотрофный [Копылов, Косолапов; 2007]. В последние два десятилетия уровень трофии озера по концентрации микроорганизмов колебался от олиго-мезотрофного в гипolimнионе глубоководных районов до типично мезотрофного в мелководном южном прибрежном районе. Оценка уровня трофии озера по численности бактериопланктона за последние 20 лет совпадает с таковой по концентрации хлорофилла [Капустина, 2013; Летанская, Протопопова, 2013; Капустина, 2021, в печати; Протопопова, 2021, в печати]. По-видимому, «повышение» трофического статуса Ладоги в 2020 г. объясняется аномально высокими температурами воды, интенсивным развитием альгоценозов и тем, что исследовался лишь поверхностный слой воды.

По численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ 22 °C) большинство исследованных районов Ладожского озера в начале лета относилось к категори-

ям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1982]. Наиболее «чистыми» по этому показателю являлись Свирская губа (ст. 7), Бухта Петрокрепость (ст. 25), водные массы у восточного берега (ст. 11) и, что не тривиально, в устье р. Бурная (ст. 17) (табл. 2). Воды р. Бурная содержат значительное количество органической взвеси и ОМЧ обычно там довольно высокое [Капустина, 2013]. Известно, что в весенний и летний периоды воды реки часто прижимаются к западному берегу и могут распространяться до бух. Петрокрепость [Крючков, 2013], возможно, что во время отбора проб имела место такая ситуация и в пробу попала озёрная вода. Водные массы в районе г. Сортавала (ст. 14), вблизи г. Лахденпохьи (ст. 15) и г. Приозёрск (ст. 16) являлись «умеренно загрязнёнными», β -мезосапробными [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1982], что, по-видимому, связано с возможным попаданием в воду хозяйственно-бытовых стоков этих городов. Самые высокие абсолютные значения численности сапрофитов отмечались на наиболее «грязных» станциях – 14, 15 и 16. На большинстве станций величины ОМЧ при 22 °С существенно (в 4,3–41,1 раза) превышали таковые при 37 °С, что косвенно свидетельствовало об активности и завершённости процессов самоочищения [МУК 4.2. 1884–04, 2007]. На двух станциях (ст. 5, 7) юго-восточного района озера разница вели-

чин численности этих групп бактерий была невелика (2,1–2,5 раза), что указывало на невысокую активность процессов самоочищения, возможно, связанную с составом органического вещества в воде. Абсолютные величины ОМЧ при 22 °С на этих станциях были низкими. Наличие сальмонеллы в воде не выявлено ни на одной станции (табл. 2).

Численность ОКБ и ТКБ в воде исследованных районов озера в июне была невелика, а на многих станциях рост бактерий этих групп, вообще, не регистрировался (табл. 2). Исключением являлась акватория в устье р. Волхов (ст. 1), где наблюдалось превышение нормативов численности вышеуказанных групп микроорганизмов, установленных для различных видов водопользования [500–1000 КОЕ/100 мл и 100 КОЕ/100 мл, соответственно; СанПиН 2.1.5.980–00, 2000]. Судя по тому, что все общие колиформные бактерии являлись термотолерантными (причём, норматив для ТКБ был превышен в 50 раз), в воде присутствовало свежее фекальное загрязнение. Обнаруженная здесь существенная концентрация колиформных бактерий, а также высокие значения ОЧБ и ОМЧ при 37 °С, могут, по-видимому, объясняться влиянием следующих факторов: поступлением в воду недостаточно очищенных коммунально-бытовых сточных вод г. Новая Ладога и воздействием загрязнения, попадающего в воду на всем протяжении Волхова и концентрирующегося в устье. Бытовые сточные воды и про-

Таблица 2. Значения санитарно-микробиологических показателей в воде Ладожского озера в июне 2020 г.

Дата отбора	№ станции	ОМЧ 22 °С, $\times 10^3$ КОЕ/мл	ОМЧ 37 °С, $\times 10^2$ КОЕ/мл	ОКБ, $\times 10^1$ КОЕ/100 мл	ТКБ, $\times 10^1$ КОЕ/100 мл	<i>Salmonella</i>
15.06	1	2,8	4,7	520	520	нет роста
15.06	4	0,99	1,6	нет роста	нет роста	нет роста
15.06	5	0,047	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
15.06	7	0,038	0,18	1,8	нет роста	нет роста
15.06	9	2,9	4,4	нет роста	нет роста	нет роста
29.06	11	0,41	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
02.06	12	4,7	4,1	1,7	1,7	нет роста
03.06	14	9,1	8,3	нет роста	нет роста	нет роста
03.06	15	8,5	7,9	2	2	нет роста
02.06	16	7,3	6,7	7	4	нет роста
16.06	17	0,42	0,84	нет роста	нет роста	нет роста
16.06	18	0,78	0,19	нет роста	нет роста	нет роста
02.06	19	4,9	3,4	9	9	нет роста
16.06	20	0,67	0,57	нет роста	нет роста	нет роста
09.06	21	0,87	1,2	4	4	нет роста
09.06	24	0,59	0,76	нет роста	нет роста	нет роста
09.06	25	0,19	0,44	7	нет роста	нет роста

мышленные стоки (г. Великий Новгород, г. Кириши, г. Волхов) превратили р. Волхов в наиболее загрязнённый водоём в системе оз. Ильмень – р. Волхов – оз. Ладонское. По результатам предыдущих исследований (макрозообентос, индексы Гуднайта и Уитлея) воды реки только на отдельных участках реки могли считаться «условно чистыми» (β -альфа мезосапробными). В основном, качество вод варьировало от «слабо загрязнённого» до «очень грязного» [Аршаница, 1988; Курашов и др., 2020]. По микробиологическим показателям (наши неопубликованные данные 2013–2014 гг.) на всем протяжении реки водные массы характеризовались как «условно чистые» (олигосапробные и β -мезосапробные), однако, в устьевом участке были «загрязнёнными» (α -мезосапробными). Обычно, в реках с большой антропогенной нагрузкой максимальные значения большинства биологических параметров наблюдаются в устьевой части. Нужно отметить, что оценки качества вод по планктонным и бентосным сообществам не всегда совпадают, особенно это касается лентических экосистем. Наличие сальмонеллы в июне в районах исследования не выявлено.

В сентябре по численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ 22 °С) южная относительно мелководная часть озера и зона больших глубин Ладонского озера относились к категориям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1993]. Исключением являлся участок акватории

в районе ст. 19 (северная часть озера, глубины >100 м) (табл. 3), воды которой относились к категории «загрязнённые», что соответствует α -мезосапробным водам. Трудно предположить поступление загрязнённых водных масс в данный район, тем более, что рост ОКБ и ТКБ здесь не регистрировался (табл. 3).

По-видимому, это результат поступления в воду значительного количества лабильного органического вещества при разрушении осеннего пика развития фитопланктона в глубоководном районе. К категориям «умеренно загрязнённых» и «загрязнённых» (β - и α -мезосапробные) [ГОСТ 17.1.2.04–77, 1977; ГОСТ 17.1.3.07–82, 1993] относились воды западного и северного побережья озера (ст. 12, 14–17) (рис. 1). Станции 16 (вблизи г. Приозёрска) и 17 расположены в устьях обоих рукавов р. Вуокса, которая достаточно загрязнена, особенно р. Бурная (ст. 17). Станции 12, 14 и 15 расположены в районах Питкярантских, Сортавальских и Лахденпохских шхер, соответственно, и могли быть подвержены влиянию коммунальных стоков городов Питкяранта, Сортавала и Лахденпохья. Кроме того, на ст. 12 могло проследиваться влияние стоков Питкярантского целлюлозно-бумажного комбината. Самые высокие абсолютные значения численности сапрофитов, выросших при 22 °С и 37 °С, отмечались на наиболее «загрязнённых» станциях – 12, 14–17 (табл. 3). Так же, как в июне, на основной акватории озера численность сапрофитов, культивируемых при 37 °С была ниже, чем при 22 °С

Таблица 3. Значения санитарно-микробиологических показателей в воде Ладонского озера в сентябре 2020 г.

Дата отбора	№ станции	ОМЧ 22 °С, ×10 ³ КОЕ/мл	ОМЧ 37 °С, ×10 ² КОЕ/мл	ОКБ, КОЕ/100 мл	ТКБ, КОЕ/100 мл	<i>Salmonella</i>
27.09	1	0,54	1,2	2	2	Нет роста
27.09	4	0,11	1,0	1	1	Нет роста
26.09	5	0,81	0,64	21	21	Нет роста
27.09	7	1,1	8,7	3	Нет роста	Нет роста
27.09	9	1,5	6,2	32	Нет роста	Нет роста
27.09	11	3,0	11	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	12	12	17	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	14	8,8	18	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	15	9,3	15	1	1	Нет роста
28.09	16	11	17	1	1	Нет роста
28.09	17	6,1	2,0	10	10	Нет роста
28.09	19	11	13	Нет роста	Нет роста	Нет роста
28.09	20	2,6	17	1	1	Нет роста
26.09	21	0,63	0,48	Нет роста	Нет роста	Нет роста
26.09	24	0,26	0,89	2	Нет роста	Нет роста
26.09	25	2,3	0,14	5	5	Нет роста

(в 5–164 раза), что свидетельствует о высокой интенсивности процессов самоочищения и их завершённости [МУК 4.2. 1884–04, 2007]. Однако, на некоторых станциях в юго-восточном районе (ст. 4, 7, 9, 11) и в глубоководном районе (ст. 20) разница между численностью вышеуказанных групп бактерий была значительно меньше (1,1–2,4 раза). Наименьшее различие (1,1 раза) отмечалось на ст. 4, где, судя по наличию в пробе бацилл и клостридий, нехарактерных для незагрязнённых озерных вод, обнаруживались стоки Сясьского ЦБК. По-видимому, на этих участках акватории (кроме глубоководного района) можно предполагать наличие того или иного загрязнения. В пелагиали незначительная разница, по-видимому, объяснялась поступлением в воду автохтонного органического вещества при разрушении осеннего пика фитопланктона, как уже указывалось выше. Это способствовало интенсивному росту микроорганизмов, растущих на среде с высокой концентрацией органического вещества (ГРМ агар).

Численность общих и термотолерантных колиформных бактерий осенью в воде исследованных районов озера была невелика (существенно ниже установленного норматива), а на многих станциях рост бактерий этих групп не регистрировался (табл. 3). Это свидетельствовало об отсутствии хозяйственно-бытового (в том числе фекального) загрязнения на основной акватории Ладожского озера. Максимальная абсолютная величина численности ОКБ (более чем на порядок ниже верхней границы норматива, табл. 3) отмечалась недалеко от выхода из Свирской губы (ст. 9, рис. 1), что могло объясняться влиянием пос. Свирица, расположенного в устье р. Свирь. На этой же станции, как указывалось выше, наблюдалась максимальная абсолютная величина общей численности бактериопланктона. При определённых гидродинамических ситуациях численность ОКБ и ТКБ в этом районе может быть весьма существенной (Митрукова и др., 2020), т. е. это зона экологического риска. Наличие сальмонеллы осенью в районах исследования не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее высокие величины общей численности бактериопланктона в поверхностном слое воды как в июне, так и в сентябре отмечались в юго-восточной части Ладожского озера в районе глубин 30–35 м, минимальные в глубоководной зоне и бух. Петрокрепость. На основании средних величин ОЧБ в июне и в сентябре 2020 г. трофический статус поверхностных вод Ладожского озера оценивался как мезотрофный, тогда как в последние два десятилетия уровень трофии озера по концентрации микроорганизмов ко-

лебался от олиго-мезотрофного в гипolimнионе глубоководных районов до типично мезотрофного в мелководном южном прибрежном районе. По-видимому, «повышение» трофического статуса озера в 2020 г. объясняется аномально высокими температурами воды, очень интенсивным развитием фитопланктона и тем, что исследовался только поверхностный слой воды.

В период исследований, по ОМЧ при 22 °С, водные массы большинства исследованных районов озера относились к категориям «очень чистые» и «чистые», что соответствует ксено- и олигосапробным водам. Как в июне, так и в сентябре к «умеренно загрязнённым» и «загрязнённым» — β-мезосапробным и α-мезосапробным водам относились участки акваторий в шхерной части озера вблизи городов Сортавала, Лахденпохья, Приозёрск и г. Питкяранта. В сентябре водные массы в центральной части озера (ст. 19, глубины >100 м), относились к категории «загрязнённые» (α-мезосапробные). Вероятно, в данном случае, это результат поступления в воду значительного количества лабильного органического вещества при разрушении осеннего пика развития фитопланктона в зоне больших глубин. Во время исследований, на всей акватории величины ОМЧ при 22 °С превышали таковые при 37 °С, что косвенно свидетельствует об интенсивности процессов самоочищения. В «чистых» водах эта разница была значительно больше, чем в «загрязнённых», что свидетельствовало о завершённости вышеуказанных процессов в районах, не подверженных антропогенному воздействию.

Численность ОКБ и ТКБ на основной акватории озера как в начале лета, так и в сентябре была существенно ниже установленных нормативов, на многих станциях рост бактерий этих групп не регистрировался. Это свидетельствовало об отсутствии хозяйственно-бытового загрязнения в большинстве исследованных районов. Исключением был участок акватории в устье р. Волхов в июне, где наблюдалось превышение установленного норматива численности ОКБ и ТКБ. Поскольку все общие колиформные бактерии здесь являлись термотолерантными, норматив ТКБ для всех видов водопользования был превышен в 50 раз, т. е. в воде присутствовало свежее фекальное загрязнение. Значительная концентрация колиформных бактерий, а также высокие значения ОЧБ и ОМЧ при 37 °С на этой станции, могут быть следствием воздействия коммунальных стоков г. Новая Ладога и/или влиянием загрязнения, попадающего в воду на протяжении р. Волхов и концентрирующегося в устье. Сальмонелла ни в июне, ни в сентябре в районах исследования не выявлена.

В настоящее время водные массы основной акватории Ладожского озера являются благоприятной средой обитания для водных биоресурсов. Однако по микробиологическим показателям выявлены отдельные зоны экологического риска, подверженные тому или иному виду антропогенного воздействия. Это: Волховская губа, включая устьевой участок р. Волхов, участки акватории в северном шхерном районе вблизи городов Сортавала, Лахденпохья и Питкяранта, акватория вблизи г. Приозёрск. Особое беспокойство вызывает ситуация в Волховской губе, подверженной интенсивному антропогенному воздействию, так как южная мелководная часть Ладожского озера является основной зоной размножения и нагула многих видов рыб.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) № 076–00005–20–02.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 17.1.2.04–77. 1977. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М.: Издательство стандартов. 17 с.
- ГОСТ 17.1.3.07–82. 1982. Правила контроля качества воды водоёмов и водотоков. М.: Издательство стандартов. 8 с.
- Александрова Д.Н., Капустина Л.Л. 1982. Бактериопланктон Ладожского озера // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л.: Наука. С. 156–163.
- Аршаница Н.М. 1988. Материалы ихтиотоксикологических исследований в бассейне Ладожского озера // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 285. С. 12–23.
- Драбкова В.Г. 1981. Зональное изменение интенсивности микробиологических процессов в озёрах. Л.: Наука. 212 с.
- Капустина Л.Л. 2011. Бактериопланктон литорали Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История. С. 139–156.
- Капустина Л.Л. 2013. Бактериопланктон Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 289–298.
- Капустина Л.Л., Каурова З.Г. 2002. Современные тенденции развития бактериопланктона // Ладожское озеро. Прошлое, настоящее, будущее / Румянцев В.А., Драбкова В.Г. (ред.). СПб.: Наука. С. 180–191.
- Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г. 2021. Бактериопланктон Ладожского озера и его притоков под воздействием природных и антропогенных факторов // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Кондратьев С.А., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. (ред.). СПб.: Издательство РАН. В печати.
- Копылов А.И., Косолапов Д.Б. 2007. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоёмов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб.: ЛЕМА. С. 176–181.
- Копылов А.И., Косолапов Д.Б. 2011. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск. 330 с.
- Крючков А.М. 2013. Распространение вод притоков на акватории озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 168–175.
- Кудерский Л.А. 2013. Биоресурсы и рыболовство // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 397–412.
- Кузнецов С.И. 1970. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность. М.: Наука. 440 с.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. 1989. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука. 285 с.
- Курашов Е.А., Аршаница Н.М., Стекольников А.А., Барбашова М.А., Гребцов М.Р. 2020. Воспроизводство рыб и беспозвоночных при воздействии загрязняющих веществ // Международный вестник ветеринарии. № 3. С. 105–115.
- Летанская Г.Т., Протопопова Е.В. 2013. Фитопланктон Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 276–286.
- Митрукова Г.Г., Капустина Л.Л., Курашов Е.А. 2020. Экологическая оценка качества вод литоральной зоны Ладожского озера по результатам микробиологических исследований // Труды КарНЦ РАН. № 9. С. 88–100.
- МУК 4.2.1884–04. 2007. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Стандартинформ. 92 с.
- Науменко М.А., Гузиватый В.А., Каретников С.Г. 2013. Термический режим Ладожского озера // Ладога. СПб.: Нестор-История. С. 137–146.
- Протопопова Е.В. 2021. Фитопланктон Ладожского озера и его притоков под воздействием природных и антропогенных факторов // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Когдратьев С.А., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. (ред.). СПб.: Издательство РАН. В печати.
- Романенко В.И. 1979. Микробиологические показатели качества воды и методы их определения // Водные ресурсы. № 6. С. 140–153.
- СанПиН 2.1.5.980–00. 2001. Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы. М.: Издательство стандартов. 18 с.
- Тихомиров А.И. 1982. Термика крупных озёр. Л.: Наука. 232 с.
- Bird D.F., Kalff J. 1984. Empirical relationship between bacterial abundance and chlorophyll concentrations in fresh and marine waters // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 41. P. 1015–1023.
- Boulion V.V., Hakanson L.A. 2003. A new general dynamic model to predict biomass and production of bacterioplankton in lakes // Ecol. Model. Vol. 160. P. 91–114.

- Cole J.J., Findlay S., Pace M.L.* 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 43. P. 1–10.
- Currie D.J.* 1990. Large-scale variability and interactions among phytoplankton, Bacterioplankton, and phosphorus // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 35 (7). P. 1437–14550.
- Hobbie L.E., Daley R.I., Jasper S.* 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // *Appl. and Environ. Microb.* Vol. 33(5). P. 1225–1228.
- Pomeroy L.R.* 1974. The ocean's food web, a changing paradigm // *Bioscience.* Vol. 24. P. 499–504.
- Rodgers G.K.* 1965. The thermal bar in the Lawrentian Great Lakes // *Proceedings of 8th Conference on Great Lakes Research.* Toronto. P. 89–96.
- Wetzel R.G.* 1982. *Limnology.* Philadelphia. Saunders Publishing. 860 p.

*Поступила в редакцию 31.03.2021 г.
Принята после рецензии 05.07.2021 г.*

Sanitary and microbiological characteristic of aquatic bio resources habitat in Lake Ladoga

*D.V. Belozerova¹,
L.L. Kapustina^{1,2}*

¹ St. Petersburg Branch of VNIRO
(«L.S. Berg «GosNIORKh»), St. Petersburg,
Russia

² Institute of Limnology RAS, St. Petersburg,
Russia

The microbiological characteristic of Lake Ladoga water masses as a habitat for bioresources, based on the results of observations in June and September 2020, is presented. At the beginning of summer, a heterogeneous spatial distribution of bacterioplankton was observed, because of the water temperature discrepancy in different regions. The maximum values of the total bacterial counts (TBC) were discovered in the southeastern coastal area and the area of the Sortavala skerries, whereas the minimum values were found in the deep-water region. In autumn, the distribution of bacterioplankton was rather uniform due to the equalization of water temperatures in the surface layer. The average values of the TBC during the observation period indicate that the trophic state of the various areas of the lake ranged from oligotrophic in Petrokrepost Bay to mesotrophic-eutrophic in the southeastern region and Sortavala skerries. According to the numbers of saprophytic microorganisms (SM), the water masses of the lake, except for the skerries, were identified as “clean” and “very clean”, which corresponds to xeno – and oligosaprobic waters. The amount of total coliform bacteria (TCB) and thermotolerant coliform bacteria (ThCB) was significantly lower than the standards established for different categories of water use. The exception was the site at the mouth of the Volkhov River in June, where the number of TCB and ThCB exceeded the norms by an order of magnitude, indicating the presence of fecal contamination. The presence of salmonella in the water masses was not detected. The values of microbiological parameters indicate high water quality in most regions of Lake Ladoga. However, some areas of environmental risk due to anthropogenic impact have been identified: the Volkhov Bay, including the mouth of the Volkhov River, areas in the skerries near the cities of Sortavala, Lakhdenpokhya, and Pitkyaranta, and the water area beside a city of Priozersk.

Keywords: total bacterial abundances; trophic state; saprophytic microorganisms; coliform bacteria; water quality.

REFERENCES

- GOST 17.1.2.04–77. 1977. Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii rybokhozyajstvennykh vodnykh ob'ektov [Indicators of the state and rules of taxation of fishery water bodies]. M.: Izdatel'stvo standartov. 17 s.
- GOST 17.1.3.07–82. 1982. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov [Rules for water quality control of reservoirs and streams]. M.: Izdatel'stvo standartov. 8 s.
- Aleksandrova D.N., Kapustina L.L. 1982. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of Lake Ladoga] // Antropogennoe ehviroirovanie Ladozhskogo ozera. L.: Nauka. S. 156–163.
- Arshanitsa N.M. 1988. Materialy ikhtiotoksikologicheskikh issledovaniy v bassejne Ladozhskogo ozera [The materials of ichthyological investigations in Lake Ladoga basin] // Sb. nauch. tr. GosNIORKH. Vyp. 285. S. 12–23.
- Drabkova V.G. 1981. Zonal'noe izmenenie intensivnosti mikrobiologicheskikh protsessov v ozerakh [Zonal changes in the intensity of microbiological processes in lakes]. L.: Nauka. 212 s.
- Kapustina L.L. 2011. Bakterioplankton litorali Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of the littoral zone of Lake Ladoga] // Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 139–156.
- Kapustina L.L. 2013. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera [Bacterioplankton of Lake Ladoga] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 289–298.
- Kapustina L.L., Kaurova Z.G. 2002. Sovremennye tendentsii razvitiya bakterioplanktona [Current trends in the development of bacterioplankton community] // Ladozhskoe ozero. Proshloe, nastoyashchee, budushchee / Rumyantsev V.A., Drabkova V.G. (red.). SPb: Nauka. S. 180–191.
- Kapustina L.L., Mitrukova G.G. 2021. Bakterioplankton Ladozhskogo ozera i ego pritokov pod vozdeystviem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Bacterioplankton of Lake Ladoga and its tributaries under the nature and anthropogenic factors] // Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoi transformatsii

- ehkosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyajushchegosja klimata. / Kogdrat'ev S.A., Pozdnjakov Sh.R., Rumjantsev V.A. (red.). SPb: Izdatel'stvo RAN. V pechaty.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B. 2007. Mikrobiologicheskie indikatory ehvtrofirovaniya presnykh vodoemov [Microbiological indicators of fresh waters eutrophication] // Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ehkosistem. SPb.: LEMA. S. 176–181.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B. 2011. Mikrobnaya «petlya» v planktonnykh soobshchestvakh morskikh i presnovodnykh ehkosistem [Microbial «loop» in planktonic communities of marine and freshwaters ecosystems]. Izhevsk. 330 s.
- Kryuchkov A.M. 2013. Rasprostranenie vod pritokov na akvatorii ozera [Distribution of tributary waters in the lake area] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 168–175.
- Kuderskiy L.A. 2013. Bioresursy i rybolovstvo [Bioresources and fisheries] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 397–412.
- Kuznetsov S.I. 1970. Mikroflora ozer i ee geokhimicheskaya deyatel'nost' [Microflora of the lakes and its geochemical activity]. M.: Nauka. 440 s.
- Kuznetsov S.I., Dubinina G.A. 1989. Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods of studying aquatic microorganisms]. M.: Nauka. 285 s.
- Kurashov E.A., Arshanitsa N.M., Stekol'nikov A.A., Barbashova M.A., Grebtsov M.R. 2020. Vosproizvodstvo ryb i bespozvonochnykh pri vozdeystvii zagryaznyayushchikh veshchestv [Reproduction of fish and invertebrates under the influence of pollutants] // Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. № 3. S. 105–115.
- Mitrukova G.G., Kapustina L.L., Kurashov E.A. 2020. Ekologicheskaya otsenka kachestva vod litoral'noj zony Ladozhskogo ozera po rezul'tatam mikrobiologicheskikh issledovaniy [Ecological assessment of the water quality Lake Ladoga littoral zone based on the results of microbiological studies] // Trudy KarNTS RAN. № 9. S. 88–100.
- MUK 4.2.1884–04. 2007. Sanitarno-mikrobiologicheskij i sanitarno-parazitologicheskij analiz vody poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov [Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water in surface water bodies]. M.: Standartinform. 92 s.
- Naumenko M.A., Guzivatyj V.A., Karetnikov S.G. 2013. Termicheskij rezhim Ladozhskogo ozera [Thermal regime of Lake Ladoga] // Ladoga. SPb.: Nestor-Istoriya. S. 137–146.
- Protopopova E.V. 2021. Fitoplankton Ladozhskogo ozera i ego pritokov pod vozdeystviem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Phytoplankton of Lake Ladoga and its tributaries under the nature and anthropogenic factors] in press // Sovremennoe sostojanie i problemy antropogennoi transformatsii ehkosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyajushchegosja klimata / Kogdrat'ev S.A., Pozdnjakov Sh.R., Rumjantsev V.A. (red.). SPb.: Izdatel'stvo RAN. V pechaty.
- Romanenko V.I. 1979. Mikrobiologicheskie pokazateli kachestva vody i metody ikh opredeleniya [Microbiological indicators of water quality and methods of their determination] // Vodnye resursy. № 6. S. 140–153.
- SanPiN 2.1.5.980–00. 2001. Vodootvedenie naselennykh mest, sanitarnaya okhrana vodnykh ob'ektov. Gigienicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod. Sanitarnye pravila i normy [Water disposal of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface waters. Sanitary rules and regulations]. M.: Izdatel'stvo standartov. 18 s.
- Tikhomirov A.I. 1982. Termika krupnykh ozer [Thermics of large lakes]. L.: Nauka. 232 s.
- Bird D.F., Kalf J. 1984. Empirical relationship between bacterial abundance and chlorophyll concentrations in fresh and marine waters // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 41. P. 1015–1023.
- Boulion V.V., Hakanson L.A. 2003. A new general dynamic model to predict biomass and production of bacterioplankton in lakes // Ecol. Model. Vol. 160. P. 91–114.
- Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 43. P. 1–10.
- Currie D.J. 1990. Large-scale variability and interactions among phytoplankton, Bacterioplankton, and phosphorus // Limnol. Oceanogr. Vol. 35 (7). P. 1437–14550.
- Hobbie L.E., Daley R.I., Jasper S. 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. and Environ. Microb. Vol. 33(5). P. 1225–1228.
- Pomeroy L.R. 1974. The ocean's food web, a changing paradigm // Bioscience. Vol. 24. P. 499–504.
- Rodgers G.K. 1965. The thermal bar in the Laurentian Great Lakes // Proceedings of 8th Conference on Great Lakes Research. Toronto. P. 89–96.
- Wetzel R.G. 1982. Limnology. Philadelphia. Saunders Publishing. 860 p.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Total bacterial densities (TBD, $\times 10^6$ cells/ml) in Lake Ladoga in 2020.

Table 2. The values of sanitary-microbiological parameters in Lake Ladoga water masses in June 2020.

Table 3. The values of sanitary-microbiological parameters in Lake Ladoga water masses in September 2020.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Scheme of sampling stations in the water area of Lake Ladoga