

Водные биоресурсы и среда обитания
 2019, том 2, номер 2, с. 57–65
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
 2019, vol. 2, no. 2, pp. 57–65
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 574.4(470.22)

БАКТЕРИОПЛАНКТОН СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПЛЕСА ОЗЕРА МУНОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

© 2019 Е. М. Макарова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск 185030, Россия
E-mail: emm777@bk.ru

Аннотация. В вегетационный сезон 2018 г. исследовался планктонный микробоценоз северо-западного плеса оз. Мунозеро (Республика Карелия). Определены общая численность, биомасса, продукция, время удвоения, а также количество гетеротрофных бактерий. Общая численность бактерий варьировала от 0,6 до 1,2 млн кл./мл, а биомасса от 0,12 до 0,355 г/м³. Средний объем клеток изменялся в диапазоне от 0,18 до 0,33 мкм³. Максимальные величины общей численности и среднего объема клеток бактериопланктона были отмечены весной, а биомасса достигала максимальных значений осенью. Бактериальная продукция варьировала в пределах от 0,01 до 0,33 млн кл./(мл·сут). Р/В-коэффициент (сут⁻¹) находился в пределах 0,01–0,45, что соответствовало времени удвоения 37–1872 часа. Вертикальное распределение показателей гетеротрофного бактериопланктона исследуемого участка озера было неравномерным и зависело от стратификации. Содержание сапрофитных бактерий в воде за исследуемый период изменялось от 14 до 294 КОЕ/мл. Численность олигокарбофильных бактерий варьировала в пределах 150–1450 КОЕ/мл. Северо-западный плес оз. Мунозеро по микробиологическим показателям можно охарактеризовать как переходный от олиготрофного к мезотрофному.

Ключевые слова: Мунозеро, бактериопланктон, оценка качества воды, общая численность, биомасса, бактериальная продукция, вертикальное распределение, сезонная динамика

BACTERIOPLANKTON OF THE NORTH-WESTERN STRETCH OF LAKE MUNOZERO (THE REPUBLIC OF KARELIA)

E. M. Makarova

Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk 185030, Russia
E-mail: emm777@bk.ru

Abstract. During the growing season of 2018, planktonic microbocenosis of the north-western stretch of Lake Munozero (the Republic of Karelia) was studied. The total abundance, biomass, production, doubling time, as well as the number of heterotrophic bacteria were determined. The bacterial total abundance ranged from 0.6 to 1.2 mn cells ml⁻¹ and biomass ranged from 0.12 to 0.355 g/m³. Average cell volumes of the bacteria ranged

between 0.18 and 0.33 μm^3 . The maximum values of the total abundance and average volume of bacterioplankton cells were observed in spring, and the biomass reached the maximum values in autumn. Bacterial production varied between 0.01 and 0.33 mg cells ml^{-1} . Specific growth rates (day^{-1}) ranged around 0.01–0.45 day^{-1} , giving doubling times of 37–1872 h. Vertical distribution of parameters of the heterotrophic bacterioplankton in the studied part of the lake was irregular and depended on stratification. During the research period, the abundance of saprophytic bacteria in the water was in the range of 14–294 CFU/ml, and the abundance of oligotrophic bacteria ranged from 150 to 1450 CFU/ml. The north-western stretch of Lake Munozero can be characterized as transitional from oligotrophic to mesotrophic.

Keywords: Munozero, bacterioplankton, water quality assessment, total abundance, biomass, bacterial production, vertical distribution, seasonal dynamics

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду региональных особенностей гумидной зоны на территории Республики Карелия водные объекты отличаются повышенной цветностью, низкими величинами pH, слабой минерализацией воды, повышенным содержанием гуминовых соединений, железа и фосфора [1, 2]. Однако существует несколько озер, отличающихся от остальных высоким качеством воды. Одним из таких озер является оз. Мунозеро [1].

Большую роль в формировании химического состава воды данного озера играет подземный сток с водосборной территории. Оз. Мунозеро отличается по своим геологическим, почвенным характеристикам и объемам поступления подземных вод от большинства озер Карелии [1, 3, 4]. По химическому составу воды озеро характеризуется высокой минерализацией — 97,8 мг/л, слабощелочной реакцией среды — 7,6, низкой цветностью — 8 град. Pt — Со шкалы. ПО — 5,6 мг О/л, содержание $P_{\text{общ}}$ — 10 мкг/л, $N_{\text{общ}}$ — 0,45 мг/л, содержание хлорофилла α — 1,4 мкг/л. Озеро является ультраолигогумусным гидрокарбонатного класса группы Са, олиготрофным [1]. Антропогенное воздействие на озеро проявляется со стороны населенных пунктов: вдоль западного берега озера расположены поселок Спасская губа, деревня Готнаволоок, дачные поселки Черемушки и Петровское. Вдоль восточного берега северо-западного плеса озера расположены деревни Тереки, Мунозеро.

При оценке экологического состояния и загрязненности поверхностных вод часто используют микробиологические показатели. Активное функционирование бактерий обеспечивает поступление в трофическую сеть растворенного и взвешенного органического вещества. Высокая скорость метаболизма и способность утилизировать органические вещества разного рода и происхождения делают

бактериопланктон универсальным объектом биоиндикации [5].

Цель настоящего исследования — оценить современное состояние бактериопланктона и качество воды в северо-западном плесе оз. Мунозеро.

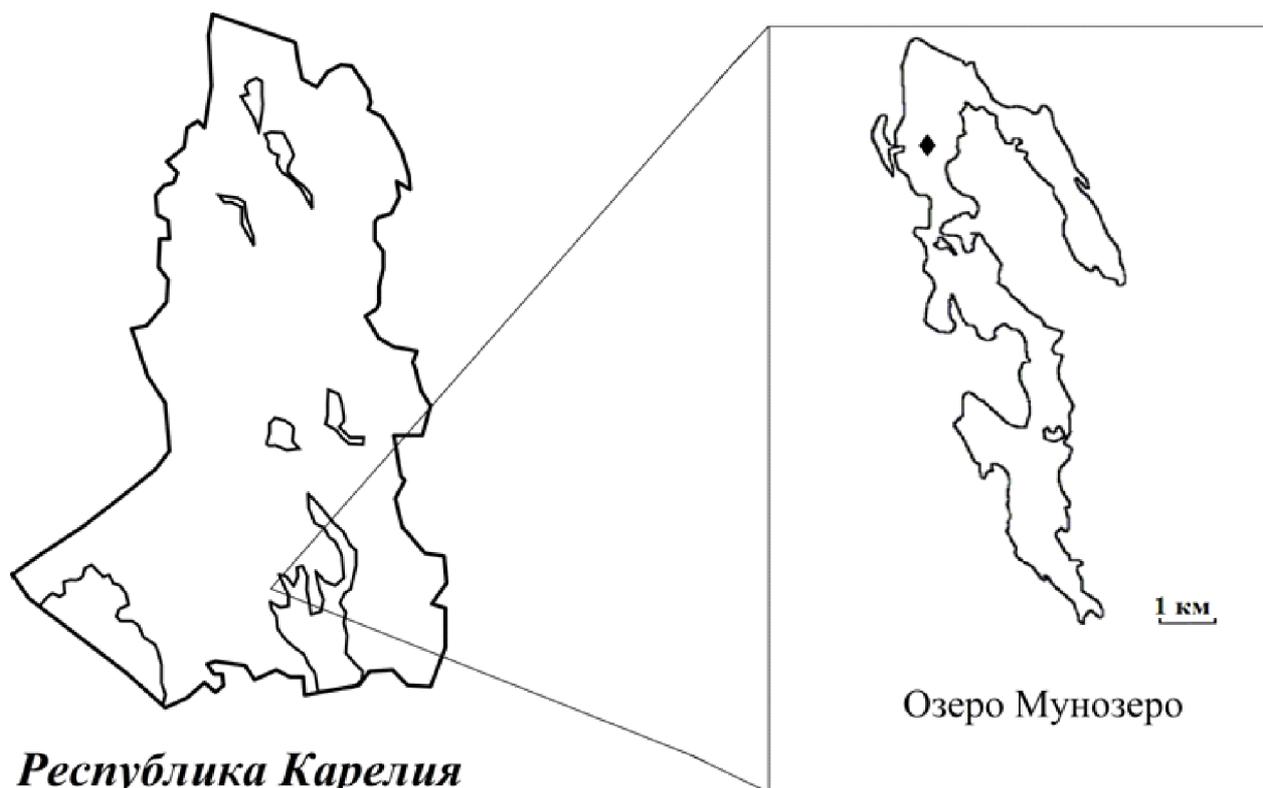
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оз. Мунозеро находится в Кондопожском районе Республики Карелия. Водоем относится к бассейну Балтийского моря и располагается в нижней части водосбора р. Шуя – притока Онежского озера. К югу от озера расположен первый в России курорт «Марциальные Воды», к северо-восточной его части примыкает заповедник «Кивач».

Озеро представляет собой систему из четырех плесов, соединенных проливами, которые могут рассматриваться как отдельные водоемы. Озеро вытянуто с севера на юг. Площадь водосборной территории — 25,6 км². В озеро впадают 7 ручьев, из него вытекает р. Мунозерка. Котловина озера образовалась вследствие денудационно-тектонической деятельности. Основными подстилающими породами являются габбро-диабазы, зеленокаменные сланцы, карбонатные породы [4]; также вблизи водосбора залегают подземные минеральные воды, что сказывается на химических показателях воды озера [6].

Материал собран в вегетационный сезон 2018 г. в центре северо-западного плеса оз. Мунозеро весной (16 мая), летом (26 июля) и осенью (26 сентября) на станции глубиной 40 м (рис. 1).

Температуру воды определяли при помощи СТД зонда YSI CastAway с GPS приемником, прозрачность измеряли диском Секки. Пробы воды были отобраны батометром Рутнера в зависимости от положения термоклина, а также от глубины фотического слоя. В мае облавливали горизонты 0,5, 2, 7,5, 38 м, в июле — 0,5, 8, 16, 37 м, в сентябре — 0,5, 9, 20, 37,5 м.



Республика Карелия

Рис. 1. Карта-схема оз. Мунозеро с расположением точки отбора проб в северо-западном плесе

Fig. 1. A schematic map of Lake Munozero with location of the sampling site in its north-western stretch

В период отбора проб температура в толще воды изменялась в пределах 4–13 °С в мае, 4,5–23,6 °С в июле, 4,6–13,6 °С в сентябре (рис. 2). Прозрачность воды составляла 7,3 м в мае, 8,0 м в июле, 9,0 м в сентябре.

Исследование бактериального населения включало в себя определение общей численности и биомассы бактериопланктона, количества сапрофитных (СБ) и олигокарбофильных (ОКБ) бактерий, а также скоростей размножения и продукции бактерий.

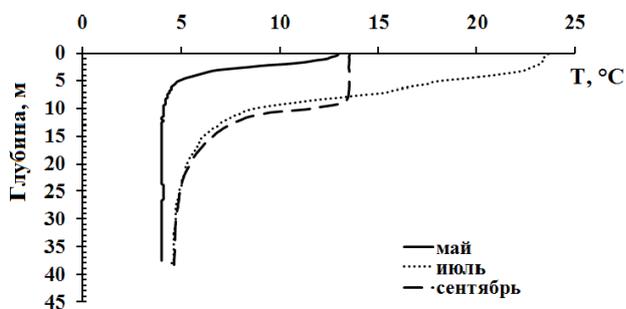


Рис. 2. Температура воды в северо-западном плесе оз. Мунозеро в период отбора проб

Fig. 2. Water temperature in the north-western stretch of Lake Munozero during the sampling period

Общую численность (ОЧ) бактерий определяли методом прямого микроскопирования [7–9] с использованием люминесцентного микроскопа [10, 11] МИКМЕД-2 при увеличении $\times 1600$. Размеры бактериальных клеток измеряли с помощью лицензированной компьютерной программы MultiMedia Catalog (ММС), обладающей возможностью калибровки шкалы. Объем клеток рассчитывали как объем подходящих им по форме геометрических фигур (шар, эллипс, цилиндр). Продукцию и время удвоения бактерий определяли экспериментально скляночным методом [12, 13] с суточным инкубированием проб в термостате при температуре, соответствующей температуре горизонта отбора проб. Расчет биомассы, продукции и времени удвоения бактерий производили по формулам, предложенным Гаком [14]. Количество гетеротрофных бактерий определяли методом глубинного посева. Сапрофитные бактерии определяли на стандартной агаризованной среде РПА, количество олигокарбофильных бактерий — на обедненной среде (РПА:10). Посевы инкубировали при температуре 20–22 °С [15, 16]. Показатели численности микроорганизмов выражали в количестве колониеобразующих единиц в 1 мл воды (КОЕ тыс./мл).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность (ОЧ) бактерий в мае 2018 г. изменялась от до 0,707 до 1,187, в среднем составляя 0,883 млн кл./мл (рис. 3). Максимальное количество бактерий наблюдалось в толще воды ниже термоклина. Объем клеток в мае варьировал в узких пределах 0,234–0,332 мкм³. Средняя величина биомассы в толще воды составляла 0,252 г/м³, что под 1 м² водного столба соответствует 10,1 г/м², или 10 ккал/м².

В июле численность бактериопланктона находилась в пределах 0,603–0,857 (в среднем 0,756) млн кл./мл. Максимальные значения численности были характерны для поверхностного слоя. Вертикаль-

ное распределение бактериопланктона было равномерным, и с глубиной ОЧ бактерий значительно не менялась. Объем бактериальных клеток был ниже, чем в мае (0,183–0,221 мкм³). Средняя биомасса бактерий снизилась до 0,159 г/м³, или 5,8 г/м² (6 ккал/м²).

В сентябре ОЧ микроорганизмов варьировала от 0,763 до 1,074 и в среднем составляла 0,864 млн кл./мл. Максимальные значения численности были характерны для слоя термоклина. Объем клеток бактерий был крупнее, чем в июне (0,196–0,315 мкм³). Распределение биомассы бактерий в толще воды, как и в мае, соответствовало распределению их ОЧ. Средняя биомасса бактерий достигала 0,223 г/м³, или 8,2 г/м² (8 ккал/м²).

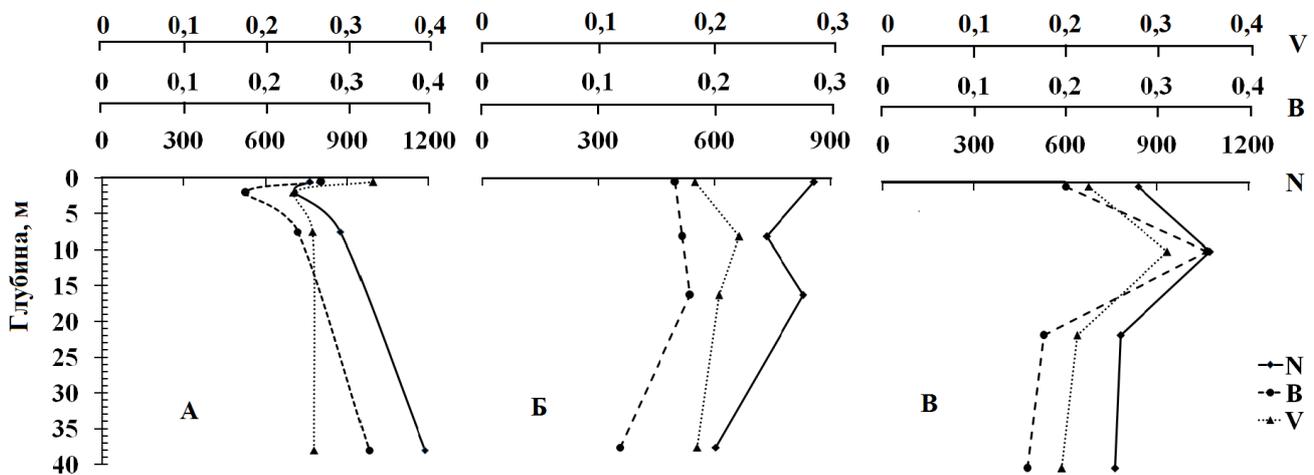


Рис. 3. Распределение общей численности (N, млн кл./мл), биомассы (B, г/м³) и среднего объема клеток (V, мкм³) бактериопланктона по вертикальному профилю в северо-западном плесе оз. Мунозеро в мае (A), июле (Б) и сентябре (B) 2018 г.

Fig. 3. Distribution of total abundance (N, mn cells/ml), biomass (B, g/m³) and average cell volume (V, μm³) of bacterioplankton along the vertical profile in the north-western stretch of Lake Munozero in May (A), July (Б), and September (B) 2018

Скорости размножения и продукции бактериопланктона на северо-западном плесе оз. Мунозеро были низкими (табл. 1). Максимальные полученные значения были зафиксированы в мае. Слабая скорость продуцирования бактерий в столбе воды наблюдалась в июле, что обуславливалось снижением количества легкоминерализуемого ОВ. В весенне-летний период бактериопланктон развивался более активно в слое эпилимниона, но в сентябре ситуация менялась и прирост численности бактерий увеличивался в слое гипolimниона.

Развитие гетеротрофного бактериопланктона зависит от наличия ОВ, которое, в свою очередь, является субстратом для бактерий. За время исследова-

ния количество гетеротрофного бактериопланктона в среднем составляло: сапрофитных бактерий (СБ) — 109 КОЕ/мл, олигокарбофильных (ОКБ) — 445 КОЕ/мл (табл. 2).

В северо-западном плесе оз. Мунозеро ОЧ бактериопланктона за весь период исследований варьировала от 0,603 до 1,187 млн кл./мл и в среднем имела значение 0,835 млн кл./мл. Наибольшая численность бактерий была зафиксирована в мае в придонном горизонте, наименьшая — там же в июле.

Средний объем клеток за исследуемый период значительно не менялся (от 0,183 до 0,332 мкм³), поэтому распределение биомассы в толще воды соответствовало распределению численности

Таблица 1. Микробиологические показатели физиологической активности северо-западного плеса оз. Мунозеро
Table 1. Microbiological indicators of physiological activity of the north-western stretch of Lake Munozero

Глубина, м Depth, m	Время удвоения численности, ч Doubling time, hr	P/B коэффициент, сутки ⁻¹ Specific growth rates, day ⁻¹	Суточная продукция, млн кл/(мл·сут) Daily bacterial production, mn cells/(ml·day ⁻¹)	Суточная продукция, мг/(м ³ ·сут) Daily bacterial production mg/(m ³ ·day ⁻¹)
Май / May				
2	37,1	0,45	0,33	82
38	1872,2	0,01	0,01	3
Среднее Average	954,6	0,23	0,171	43
Июль / July				
0,5	724,6	0,023	0,02	5
16	1522,1	0,011	0,01	2
Среднее Average	1123,4	0,02	0,02	4
Сентябрь / September				
0,5	1266,8	0,01	0,01	3
20	77,8	0,21	0,18	40
Среднее Average	672,3	0,11	0,10	22

Таблица 2. Показатели гетеротрофного бактериопланктона северо-западного плеса оз. Мунозеро
Table 2. Indicators of heterotrophic bacterioplankton of the north-western stretch of Lake Munozero

Глубина, м Depth, m	СБ, КОЕ/мл Saprophytic bacteria, CFU·ml ⁻¹	ОКБ, КОЕ/мл Oligocarbophilic bacteria, CFU·ml ⁻¹	ОЧ/СБ Total abundance/ saprophytic bacteria
Май / May			
0,5	14	316	5,5×10 ⁴
2	184	933	3,8×10 ³
7,5	28	202	3,1×10 ⁴
38	28	167	4,2×10 ⁴
Июль / July			
0,5	294	473	2,9×10 ³
8	106	1450	6,9×10 ³
16	90	450	9,2×10 ³
37	32	294	1,9×10 ⁴
Сентябрь / September			
0,5	41	150	2,0×10 ⁴
9	106	374	1,0×10 ⁴
20	150	309	5,2×10 ³
37,5	230	217	3,3×10 ³

бактерий, что хорошо прослеживалось весной и осенью. Биомасса бактерий за вегетационный период варьировала от 0,118 до 0,355 г/м³, в среднем достигая 0,211 г/м³ (рис. 3).

Время удвоения бактерий является показателем интенсивности их размножения, благодаря которой можно судить о бактериальном самоочищении водоема. Скорость размножения обуславливалась наличием ОВ, что также подтверждалось и количе-

ственными данными гетеротрофного бактериопланктона. На горизонтах, где наблюдались более быстрые темпы размножения, количество гетеротрофного бактериопланктона было максимальным, и наоборот.

Полученные нами количественные показатели бактериопланктона частично согласуются с данными предыдущих лет (табл. 3). Самые ранние данные о бактериопланктоне оз. Мунозеро датиро-

ваны 1968 г. [17] и 1990 г. [1]. Немаловажным является и тот факт, что ранние исследования проводили лишь в поверхностном слое воды. Также отсутствуют данные о месте отбора проб, что является важным критерием для оз. Мунозеро, так как каждый из четырех плесов озера может рассматриваться как отдельный водоем. Тем не менее представленные в табл. 3 данные за 2018 г. отражают средние значения показателей за вегетационный сезон в поверхностном слое воды.

Интересно было так же сопоставить полученные данные ОЧ и биомассы бактерий с данными Онежского озера — крупного олиготрофного водоема, расположенного на территории Карелии. Ввиду

того, что Онежское озеро характеризуется гетерогенностью лимнических условий [18], мы сравнили данные, полученные на северо-западном плесе оз. Мунозеро с данными некоторых глубоководных олиготрофных районов Онежского озера [18]. Как видно из табл. 4, сопоставимость данных хорошо прослеживается в весенний период.

Таким образом, исследование бактериоценоза северо-западного плеса оз. Мунозеро показало, что по величине ОЧ бактерий и СБ северо-западный плес оценивается как олигосапробный [19]. Согласно классификации качества воды [20], вода исследуемого участка озера имеет промежуточный класс 2–3 и оценивается как чистая – умеренно загряз-

Таблица 3. Средние показатели общей численности, биомассы бактериопланктона и сапрофитной микрофлоры в оз. Мунозеро в разные периоды исследований

Table 3. Average indicators of total abundance and biomass of bacterioplankton, and saprophytic microflora in Lake Munozero in different periods of the study

	ОЧБ, млн кл./мл Total abundance of bacteria, mn cells·ml ⁻¹			Биомасса бактерий, мг/л Bacterial biomass, mg/l		Сапрофиты, КОЕ/мл Saprophytic bacteria, CFU·ml ⁻¹		
	1968*	1990**	2018***	1990**	2018	1968*	1990**	2018***
Мунозеро Munozero	0,29	0,81	0,82	0,34	0,212	–	31	116

* Данные [17]; ** Данные Тимаковой [1]; *** Данные настоящего исследования; «←» Нет данных

* Data [17]; ** Data collected by Timakova [1]; *** Data of the present study; “–” No data

Таблица 4. Сравнительные показатели общей численности и биомассы бактериопланктона в поверхностном слое воды

Table 4. Comparative indicators of the total abundance and biomass of bacterioplankton in the water surface layer

	Весна / Spring		Лето / Summer	
	ОЧБ, млн кл./мл Total abundance, mn cells/ml	Биомасса, г/м ³ Biomass, g/m ³	ОЧБ, млн кл./мл Total abundance, mn cells/ml	Биомасса, г/м ³ Biomass, g/m ³
Северо-западный плес озера Мунозеро* North-western stretch of Munozero Lake*	0,763	0,268	0,857	0,166
Петрозаводское Онего* Petrozavodskoye Onego*	0,8	0,26	0,7	0,22
Центральное Онего** Central Onego**	0,58	0,2	0,56	0,18
Южная часть Онежского озера** Southern part of Onego Lake**	0,67	0,22	0,92	0,31
Большая губа Повенецкого залива** Big Gulf of the Povenetskiy Bay**	–	–	1,56	1,54

* Данные настоящего исследования; ** Данные Тимаковой [18]; «←» Нет данных

* Data of the present study; ** Data collected by Timakova [18]; “–” No data

ненная. Согласно классификации А.И. Копылова и Д.Б. Косолапова [21] по величине биомассы бактерий исследуемый участок можно отнести к мезотрофному.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по данным за 2018 г. выявлено, что вертикальное распределение величин общей численности и биомассы бактериопланктона имело сходную динамику в весенний и осенний периоды. Средний объем клеток в толще воды за исследуемый период значительно не менялся. Показатели гетеротрофного бактериопланктона были неравномерно распределены по вертикали и зависели от стратификации и наличия ОВ. Впервые были подсчитаны *P/B*-коэффициенты для северо-западного плеса оз. Мунозеро. Полученные коэффициенты могут быть использованы для расчета балансовой модели биопродуктивности озера. Статус северо-западного плеса оз. Мунозеро можно охарактеризовать как переходный от олиготрофного к мезотрофному.

Работа выполнена в рамках Государственного задания в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Озера Карелии. Гидрология, гидрохимия, биота / Под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2013. 468 с.
2. Теканова Е.В., Калинкина Н.М., Кравченко И.Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 1. С. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083.
3. Старцев Н.С. Гидрогеологические условия и подземный сток // Поверхностные воды озерно-речной системы Шуя в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ АН СССР, 1991. С. 12–18.
4. Харкевич Н.С. Гидрохимия Кончезерской группы озер — уникальных водных объектов Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1991. 126 с.
5. ГОСТ Р.52.24.763-2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293792/4293792660.htm> (дата обращения 18.03.2019).
6. Бородулина Г.С. Подземный сток в Онежское озеро // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2015. С. 44–52.
7. Разумов А.С. Микробный планктон воды // Труды Всесоюзного гидробиологического общества. 1962. Т. 12. С. 60–190.
8. Hobbie J.E., Daley R.J., Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Applied and Environmental Microbiology. 1977. Vol. 33, No. 5. Pp. 1225–1228.
9. Zimmermann R., Iturriaga R., Becker-Birck J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration // Applied and Environmental Microbiology. 1978. Vol. 36, no. 6. Pp. 926–935.
10. Харламенко В.И. Определение численности и биомассы водных бактерий эпифлуоресцентным методом с использованием отечественных ядерных микрофильтров // Микробиология. 1984. Т. 53, № 1. С. 165–166.
11. Handbook of methods in aquatic microbial ecology / P.F. Kemp, J.J. Cole, B.F. Sherr, E.B. Sherr. (Eds.). Washington: Lewis Publishers, CRC Press, 1993. 800 p.
12. Иванов М.В. Метод определения продукции бактериальной биомассы в водоеме // Микробиология. 1955. Т. 24, № 1. С. 70–89.
13. Разумов А.С. Взаимоотношения между сапрофитными бактериями и планктоном в водоемах // Вопросы санитарной бактериологии. М.: Изд-во Академии медицинских наук СССР, 1948. С. 30–43.
14. Гак Д.З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. М.: Наука, 1975. 254 с.
15. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
16. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л.: Изд-во Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина АН СССР, 1974. 194 с.
17. Тимакова Т.М. Бактериопланктон как пищевой ресурс для развития зоопланктона // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 43–54.
18. Кузнецов С.И., Романенко В.И., Кузнецова Н.С. Микробиологическая характеристика озер Карелии // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 1971. № 22. С. 3–14.
19. Оксийок О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 2, № 4. С. 62–76.
20. Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб: Гидрометеиздат, 1992. С. 35–345.

21. Копылов А.И., Косолапов Д.Б. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоемов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем : сборник трудов Междунар. конф. (г. Санкт-Петербург, 23–27 октября 2007 г.). СПб: ЛЕМА, 2007. С. 176–181.

REFERENCES

- Ozera Karelii. Hidrologiya, gidrokimiya, biota [Lakes of Karelia. Hydrology, hydrochemistry, biota]. N.N. Filatov, V.I. Kukharev. (Eds.). Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ., 2013, 468 p. (In Russian).
- Tekanova E.V., Kalinkina N.M., Kravchenko I.Yu. Geokhimicheskie osobennosti funktsionirovaniya bioty v vodoemakh Karelii [Geochemical peculiarities of biota functioning in water bodies of Karelia]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Geography]*, 2018, no. 1, pp. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083. (In Russian).
- Startsev N.S. Hidrogeologicheskie usloviya i podzemnyy stok [Hydrogeological conditions and groundwater runoff]. In: *Poverkhnostnye vody ozerno-rechnoy sistemy Shuya v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya [Surface waters of the Shuya Lake and river system under the condition of anthropogenic pressure]*. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the USSR AS Publ., 1991, pp. 12–18. (In Russian).
- Kharkevich N.S. Hidrokimiya Konchezerskoy gruppy ozer — unikal'nykh vodnykh ob"ektov Karelii [Hydrochemistry of the Konchezer system of lakes, unique water bodies of Karelia]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ., 1991, 126 p. (In Russian).
- GOST R.52.24.763-2012. Otsenka sostoyaniya presnovodnykh ekosistem po kompleksu khimiko-biologicheskikh pokazateley [State Standard R.52.24.763-2012. Assessment of freshwater ecosystems state by a complex of chemical and biological indices] Available at: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293792/4293792660.htm> (accessed 18.03.2019). (In Russian).
- Borodulina G.S. Podzemnyy stok v Onezhskoe ozero [Groundwater runoff to Lake Onega]. In: *Krupneyshie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeyskoy territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviyakh [The largest lakes and reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes in the ecosystems under the influence of climate and anthropogenic factors]*. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ., 2015, pp. 44–52. (In Russian).
- Razumov A.S. Mikrobial'nyy plankton vody [Water microbial plankton]. *Trudy Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obshchestva [Proceedings of the All-Union Hydrobiological Society]*, 1962, vol. 12, pp. 60–190. (In Russian).
- Hobbie J.E., Daley R.J., Jasper S. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Applied and Environmental Microbiology*, 1977, vol. 33, no. 5, pp. 1225–1228. (In Russian).
- Zimmermann R., Iturriaga R., Becker-Birck J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, vol. 36, no. 6, pp. 926–935. (In Russian).
- Kharlamenko V.I. Opredelenie chislennosti i biomassy vodnykh bakteriy epifluorescentnym metodom s ispol'zovaniem otechestvennykh yadernykh mikrofil'trov [Estimation of abundance and biomass of aquatic bacteria with application of epifluorescent method using domestically-produced nuclear microfilters]. *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 1984, vol. 53, no. 1, pp. 165–166. (In Russian).
- Handbook of methods in aquatic microbial ecology. P.F. Kemp, J.J. Cole, B.F. Sherr, E.B. Sherr. (Eds.). Washington: Lewis Publishers, CRC Press, 1993, 800 p.
- Ivanov M.V. Metod opredeleniya produktsii bakterial'noy biomassy v vodoeme [Method of estimation of bacterial biomass production in a water body]. *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 1955, vol. 24, no. 1, pp. 70–89. (In Russian).
- Razumov A.S. Vzaimootnosheniya mezhdru saprofitnymi bakteriyami i planktonom v vodoemakh [Interrelations between saprophytic bacteria and plankton in water bodies]. In: *Voprosy sanitarnoy bakteriologii [Problems of sanitary bacteriology]*. Moscow: USSR Academy of Medical Sciences Publ., 1948, pp. 30–43 (In Russian).
- Gak D.Z. Bakterioplankton i ego rol' v biologicheskoy produktivnosti vodokhranilishch [Bacterioplankton and its role in biological productivity of reservoirs]. Moscow: Nauka [Science], 1975, 254 p. (In Russian).
- Kuznetsov S.I., Dubinina G.A. Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods of study of aquatic organisms]. Moscow: Nauka [Science], 1989, 288 p. (In Russian).
- Romanenko V.I., Kuznetsov S.I. Ekologiya mikroorganizmov presnykh vodoemov [Ecology of microorganisms of freshwater bodies]. Leningrad: Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the USSR AS Publ., 1974, 194 p. (In Russian).
- Timakova T.M. Bakterioplankton kak pishchevoy resurs dlya razvitiya zooplanktona [Bacterioplankton as a food resource for zooplankton development]. In: *Bioresursy Onezhskogo ozera [Bioresources of Lake Onego]*. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ., 2008, pp. 43–54. (In Russian).
- Kuznetsov S.I., Romanenko V.I., Kuznetsova N.S. Mikrobiologicheskaya kharakteristika ozer Karelii [Microbiological characterization of Karelian lakes]. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN*

- [*Proceedings of IBIW RAS*], 1971, no. 22, pp. 3–14. (In Russian).
19. Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N., Braginskiy L.P., Linnik P.N., Kuz'menko M.I., Klenus V.G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Complex ecological classification of quality of the inland surface water]. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [*Hydrobiological Journal*], 1993, vol. 2, no. 4, pp. 62–76. (In Russian).
20. Abakumov V.A. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Handbook on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1992, pp. 35–345. (In Russian).
21. Kopylov A.I., Kosolapov D.B. Mikrobiologicheskie indikatory evtrofirovaniya presnykh vodoemov [Microbiological indicators of eutrophication of freshwater bodies]. In: *Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ekosistem : sbornik trudov Mezhdunarodnoy konferentsii (Sankt-Peterburg, 23–27 oktyabrya 2007 g.)* [Bioindication in monitoring of freshwater ecosystems. Proceedings of the International Conference (Saint Petersburg, 23–27 October, 2007)]. Saint Petersburg: LEMA, 2007, pp. 176–181. (In Russian).

Поступила 19.03.2019

Принята к печати 06.05.2019