

Е. М. Макарова

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ЮЖНОГО ПЛЕСА ОЗ. МУНОЗЕРО (КАРЕЛИЯ)

E. M. Makarova

### STRUCTURAL AND FUNCTIONAL INDICATORS OF BACTERIOPLANKTON OF THE SOUTH STRETCH OF LAKE MUNOZERO (KARELIA)

**Аннотация.** Приведены результаты состояния пелагической части южного плеса озера Мунозеро (Карелия) по микробиологическим показателям за вегетационный сезон 2018 г. Для достижения поставленной цели было отобрано 27 проб в мае, июле и сентябре на различных горизонтах. Озеро Мунозеро является одним из уникальных озер Карелии за счет высокой минерализации (100 мг/л), низкого содержания биогенных и органических веществ. Общую численность, размерную структуру клеток и биомассу бактерий определяли с помощью люминесцентной микроскопии, путем фильтрации через черные нуклеопоровые трековые мембраны, после окрашивания бактерий акридином оранжевым. Общая численность бактерий варьировала от 0,66 до 1,85 млн кл/мл, а биомасса – от 0,13 до 0,66 г/м<sup>3</sup>. Средний объем клеток изменялся в диапазоне 0,18–0,34 мкм<sup>3</sup>. По численности преобладали кокковые формы бактерий. Время удвоения численности и продукцию бактерий определяли методом изолированных проб. Бактериальная продукция варьировала в пределах от 0,01 до 0,07 мг/л·сут<sup>-1</sup>. Р/В-коэффициент (сут<sup>-1</sup>) находился в пределах 0,05–0,2, что соответствовало времени удвоения 70–364 ч. Среднесуточная продукция за сезон составила 0,65 мг/л·сут<sup>-1</sup>. Физиологическая активность бактерий достигала максимума в конце вегетационного периода. Количество сапрофитных бактерий, учитываемых на РПА, изменялось от 19 до 550 КОЕ/мл. Численность олигокарбофильных бактерий, растущих на РПА:10, варьировала в пределах 200–850 КОЕ/мл. Вода южного плеса оз. Мунозеро в период исследования оценена как чистая–умеренно загрязненная с промежуточным классом качества 2–3. Южный плес озера Мунозеро характеризуется как мезотрофный водоем.

**Ключевые слова:** Мунозеро; бактериопланктон; общая численность; биомасса; скорость размножения; продукция; сезонная динамика; оценка качества воды.

**Сведения об авторе:** Макарова Елена Михайловна, SPIN-код: 6933-4086, Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, emm777@bk.ru.

**About the authors:** Makarova Elena Mikhailovna, SPIN code: 6933-4086, Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia, emm777@bk.ru.

#### Введение

Водные объекты, расположенные на территории Республики Карелия, имеют свои особенности. Водоемы гумидной зоны характеризуются повышенным содержанием гуминовых веществ,

**Abstract.** In article are presented the results of the state of the pelagic part of the south stretch of Lake Munozero (Karelia) according to microbiological indicators for the growing season of 2018. In the furtherance of this goal, 27 water samples were chosen in May, July and September at different strata. Munozero Lake is one of the unique lakes of Karelia due to its high salinity (100 mg/l), low-nutrient water sand organic substances. The total number, cell size dimensional structure and biomass of bacteria were determination by method of luminescence microscopy, by means of filtration through black nucleopore track membranes, after coloration bacteria by acridine orange. The total abundance of bacteria varied from 0,66 to 1,85 million cells/ml, and the biomass from 0,13 to 0,66 g/m<sup>3</sup>. The average cell volume varied in the range 0,18–0,34 μm<sup>3</sup>. Coccus form of bacteria prevailed in numbers. The doubling time and bacterial production were determined by the method of isolated samples. Bacterial production varied between 0,01 and 0,07 g/(m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup>). Specific growth rates (day<sup>-1</sup>) ranged around 0,05–0,2, giving doubling times of 70–364 h. The average daily production for the growing season was 0,65 g/m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup>. The physiological activity of bacteria was greatest at the end of the growing season. During the research period, the abundance of saprophytic bacteria growing on fish peptone agar was in the range of 19–550 CFU/ml. the abundance of oligotrophic bacteria growing on from starvation agar variable 200 to 850 CFU/ml. During the study period Water of the south stretch of the Lake Munozero was estimated as clean – moderately polluted with an intermediate quality class of 2–3. The south stretch of the Munozero is characterized as a mesotrophic water body.

**Key words:** Munozero; bacterioplankton; total abundance; biomass; reproduction rate; production; seasonal dynamics; water quality assessment.

железа и фосфора, высокой цветностью воды, слабой минерализацией, низкими величинами pH [7; 15]. Озеро Мунозеро является одним из немногих озер Карелии, которое отличается высокой минерализацией (100 мг/л), низким содержанием биогенных ( $P_{\text{общ}} - 10$  мкг/л,  $N_{\text{общ}} - 0,31$  мг/л) и органических веществ ( $C_{\text{орг}} - 2-4$  мг/л) [7; 13]. Северо-восточный плес озера входит в состав государственного природного заповедника «Кивач». К югу от озера расположен первый в России курорт «Марциальные Воды». В настоящее время южная часть озера подвергается антропогенному воздействию со стороны населенных пунктов: вдоль западного берега расположены поселок Спаская губа, деревня Готнаволоок, дачные поселки Черемушки и Петровское, вдоль северного берега – деревня Декнаволоок.

Важным звеном в потоке энергии в водоеме являются бактерии. Благодаря их функционированию происходит реализация поступления в трофическую цепь растворенного и взвешенного органического вещества (ОВ), и дальнейшее его поступление на более высокие трофические уровни. Значительная часть растворенного ОВ, образованного первичными продуцентами, метаболизируется бактериями. И чтобы оценить вклад бактериального звена в биотический круговорот водной экосистемы, необходимо определить количественные и функциональные показатели микрофлоры, ее вертикальное распределение и сезонную динамику.

Цель настоящего исследования – изучить количественное развитие и функциональную активность бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро.

#### Материалы и методы исследования

Озеро Мунозеро расположено на территории Республики Карелия в Кондопожском районе, относится к бассейну Балтийского моря и принадлежит к нижней части водосбора р. Шуя – притока Онежского озера. Мунозеро являет собой систему из четырех плесов, различающихся между собой по морфометрическим, гидрологическим характеристикам, влиянием водосборной территории, что позволяет рассматривать их как отдельные водоемы.

По данным А.В. Сабылиной и Икко (2019), для вод оз. Мунозеро характерна слабощелочная реакция среды – 7,5, низкое содержание железа – 0,05 мг/л, цветность – 13 град. Pt-Co шкалы [13]. Вода водоема относится к гидрокарбонатному классу группы кальция. Содержание биогенных элементов и изменение показателей содержания ОВ в воде южного плеса озера представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Показатели содержания ОВ в воде и концентрация биогенных элементов южного плеса оз. Мунозеро (Сабылина, Икко, 2019)**

Сезон	Горизонт	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	Фосфор, мкг/л		Азот, мгN/л	
				$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$	$N_{\text{орг}}$
Весна	Поверхностный	4,5	1,34	1	11	0,34	0,21
	Придонный	4,2	0,96	1	11	0,34	0,19
Лето	Поверхностный	4	0,75	0	9	0,24	0,21
	Придонный	3,7	0,69	0	13	0,49	0,23
Осень	Поверхностный	4,1	2,1	2	13	0,27	0,23
	Придонный	3,6	1,45	2	13	0,35	0,15

Микробиологические исследования были выполнены на южном плесе оз. Мунозеро (рис. 1) в вегетационный сезон 2018 г. (май, июль, сентябрь). Глубина станции – 19 м. Пробы воды были отобраны в зависимости от вертикального распределения температуры и глубины фотического слоя. Облавливали горизонты: в мае – 0,5, 5, 19 м, в июле – 0,5, 10, 17 м, в сентябре – 0,5, 5,5, 17 м. Всего для микробиологического анализа было отобрано 27 проб воды.

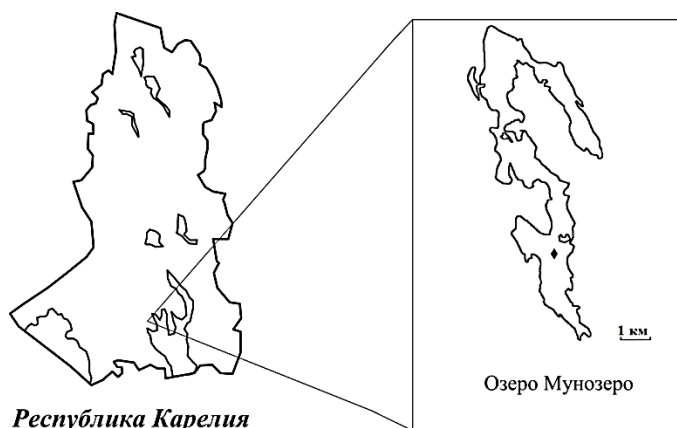


Рис. 1. Карта-схема оз. Мунозеро с расположением точки отбора проб на южном плесе

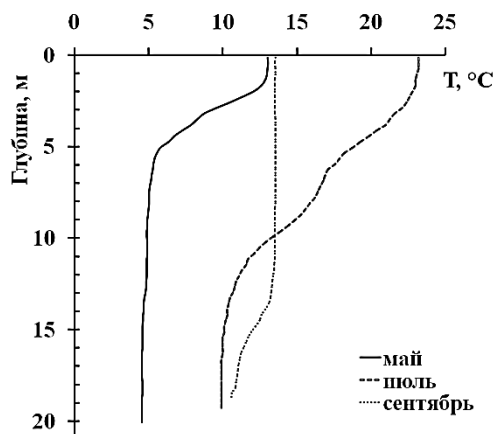


Рис. 2. Температура воды на южном плесе оз. Мунозеро в период отбора проб

Температура воды в период отбора проб изменялась в пределах: 4,5–13°C – в мае, 9,9–23,2°C – в июле, 10,6–13,5°C – в сентябре (рис. 2). Прозрачность воды составляла в мае – 5 м, в июле – 6,5 м, в сентябре – 5,5 м.

Исследования бактериопланктона включали определение количества палочковидных и кокковых форм бактерий, размерной структуры клеток, их биомассы, а также определение количественных показателей (общая численность, количество сапрофитных и олигокарбофильных бактерий) и функциональной активности (время удвоения, продукция, *P/B*-коэффициент) бактериопланктона.

Общую численность бактерий (ОЧБ), их размерную структуру и биомассу определяли методом прямого счета [10; 17; 18]. Продукцию и время удвоения бактерий определяли экспериментально методом изолированных проб воды по изменению численности бактерий в фильтрованных и нефильтрованных вариантах [2]. Расчет биомассы, продукции и времени удвоения бактерий производили по формулам, предложенным Гаком [1]. Количественный учет гетеротрофных бактерий производили по методу глубинного посева: сапрофитные бактерии (СБ) определяли на стандартной агаризованной среде РПА, количество олигокарбофильных бактерий (ОКБ) – на обедненной среде (РПА:10) [5; 11]. Средние в толще воды количественные и функциональные показатели бактериопланктона рассчитывали, как средневзвешенные.

Эколого-санитарное состояние южного плеса оз. Мунозеро (сапробность, трофность, загрязненность) оценивалось по количеству ОЧБ и сапрофитных бактерий [3; 12]. Статистический анализ выполнен в лицензированном пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

### Результаты и их обсуждение

Количественная характеристика бактериопланктона по южному плесу оз. Мунозеро за 2018 г. приведены в таблице 2. За время исследования ОЧБ изменялась от 0,66 до 1,85 (в среднем  $1,32 \pm 0,13$ ) млн. кл/мл. Разброс численности за вегетационный сезон составил 2,8 раза. В толще воды ОЧБ в мае составляла в среднем  $1,32 \pm 0,26$  млн кл/мл. В июле обсемененность воды бактериями снижалась до  $0,68 \pm 0,10$  млн кл/мл вследствие уменьшения в слое эплимниона фосфатов и нитратов из-за ассимиляции их фитопланктоном [13]. В сентябре вновь прослеживалось увеличение средних значений ОЧБ до  $1,11 \pm 0,18$  млн кл/мл.

Количество гетеротрофных микроорганизмов, способных для построения своей биомассы использовать органический углерод и разрушать многие классы органических соединений как природного, так и антропогенного происхождения, в среднем за вегетационный сезон достигало значений  $155 \pm 57$  КОЕ/мл и  $433 \pm 68$  КОЕ/мл сапрофитных и олигокарбофильных бактерий соответственно (табл. 2). Весной и осенью на глубине прозрачности воды, при слабой температурной стратификации, пики численности СБ и ОКБ совпадали с пиком ОЧБ. Летом, при максимальной ОЧБ в придонном горизонте, численность гетеротрофных бактерий была максимальной в поверхностном слое, где наблюдалась максимальная температура.

Таблица 2

## Количественная характеристика бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро в 2018 г.

	ОЧБ, млн кл/мл	Средний объем клетки, мкм <sup>3</sup>	Биомасса бактерий, г/м <sup>3</sup>	СБ, КОЕ/мл	ОКБ, КОЕ/мл
Май					
0,5	1,19	0,236	0,296	22	540
5	1,85	0,338	0,662	63	585
19	0,97	0,301	0,309	19	484
Июль					
0,5	0,66	0,207	0,145	550	850
10	0,68	0,178	0,128	87	265
17	0,97	0,177	0,182	21	200
Сентябрь					
0,5	0,73	0,309	0,241	186	330
5,5	1,35	0,260	0,371	247	360
17	1,03	0,228	0,248	200	285

Согласно классификации качества вод [12], вода южного плеса оз. Мунозеро по показателям ОЧБ и СБ в период исследования была оценена как чистая–умеренно загрязненная и имела промежуточный класс 2–3. Используя комплексную классификацию качества вод суши [8], исследуемый плес озера можно отнести к олиго-мезосапробным.

Морфологический состав клеток на южном плесе оз. Мунозеро представлен в основном кокковыми формами бактерий. В зависимости от горизонта отбора проб их доля от ОЧБ варьировала от 40 до 78% (в среднем за сезон – 67%). Доля палочковидных форм в среднем составляла 33% от ОЧБ. Лишь в летний период в поверхностном слое преобладали палочковидные формы (60% от ОЧ). Обилие кокковых форм констатирует высокий уровень активности бактериоценоза, следовательно, более интенсивный процесс самоочищения [14]. Для наглядной оценки динамики изменения размерной структуры бактериопланктона все клетки условно разделили на три группы: «мелкие» ( $V < 0,2$  мкм<sup>3</sup>), «средние» ( $0,2 \leq V < 0,8$  мкм<sup>3</sup>) и «крупные» ( $V \geq 0,8$  мкм<sup>3</sup>) [16]. Численно преобладали мелкие кокковые формы бактерий, средний размер которых достигал 0,09 мкм<sup>3</sup>, что косвенно свидетельствует об увеличении трофности водоема [9] и подтверждается гидрохимическими показателями [13]. В весенне-летний период доля мелких кокковых форм составляла 97%, в сентябре их доля снизилась до 87%, при этом объем клеток увеличился почти в 1,8 раз, появились крупные формы. В мае среди палочек преобладали (58%) крупные формы клеток (в среднем 0,5 мкм<sup>3</sup>). В июле и сентябре среди палочек большую долю (54%) составляли средние формы (в среднем 0,36 мкм<sup>3</sup>).

Средние размеры клеток бактерий в озере за время исследования в среднем составляли:  $0,292 \pm 0,03$  мкм<sup>3</sup> – в мае,  $0,187 \pm 0,01$  мкм<sup>3</sup> – в июле,  $0,266 \pm 0,02$  мкм<sup>3</sup> – в сентябре.

В целом за вегетационный сезон в южном плесе морфологическая структура бактериального населения была вполне стабильной, размер клеток изменялся в 2 раза (табл. 3).

Биомасса бактерий в столбе воды в мае достигала  $0,44 \pm 0,12$  г/м<sup>3</sup>, что под 1 м<sup>2</sup> водного столба соответствовало 9,2 г/м<sup>2</sup>, в июле в среднем понизилась до  $0,13 \pm 0,02$  г/м<sup>3</sup> (2,4 г/м<sup>2</sup>), и в сентябре увеличилась до  $0,30 \pm 0,04$  г/м<sup>3</sup> (5,2 г/м<sup>2</sup>).

По показателям ОЧБ и биомассе южный плес оз. Мунозеро можно оценить как мезотрофный [3; 8].

Таблица 3

## Морфологическая и размерная структура бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро

	Кокки		Палочки	
	Количество, %	Средний объем, мкм <sup>3</sup>	Количество, %	Средний объем, мкм <sup>3</sup>
Май	67	0,09	33	0,49
Июль	60	0,07	40	0,31
Сентябрь	74	0,12	26	0,41
Среднее	67	0,09	33	0,40

Общая активность бактериопланктона представлена в таблице 4. Средние значения показателя интенсивности размножения бактерий в мае и сентябре были близкими по значению:  $92 \pm 23$  ч и  $101 \pm 34$  ч соответственно. Однако весной размножение бактерий проходило интенсивно в придонном горизонте, а осенью – в поверхностном слое. Наиболее медленным размножение бактерий было в июле (в среднем в столбе воды  $271 \pm 105$  ч). Сезонная динамика продукции в мае составляла  $0,05 \pm 0,01$  мг/л·сут<sup>-1</sup>, в июле снижалась до  $0,01 \pm 0,005$ , а в сентябре вновь достигала  $0,05 \pm 0,02$  мг/л·сут<sup>-1</sup>. Небольшое содержание ОВ и взвешенных веществ влияет на низкий уровень активности бактерий, и особенно в летний период, когда наблюдалась высокая температура среды и отсутствие осадков. Среднесуточная продукция за вегетационный сезон составила  $0,03$  мг/л·сут<sup>-1</sup>. Р/В-коэффициент – показатель максимального суточного прироста биомассы, в зависимости от сезона отбора проб, в среднем в столбе воды составлял: весной –  $0,16$  сут<sup>-1</sup>, летом –  $0,08$  сут<sup>-1</sup>, осенью –  $0,19$  сут<sup>-1</sup>. Несмотря на максимальные значения ОЧБ в мае, показатели физиологической активности были наибольшими в конце вегетационного периода. Такая ситуация в весенний период может свидетельствовать о привнесении с водосборной территории аллохтонной микрофлоры в половодье.

Таблица 4

**Микробиологические показатели физиологической активности южного плеса оз. Мунозеро: время удвоения (g, ч), продукция (P, мг/л·сут<sup>-1</sup>), Р/В-коэффициент (сут<sup>-1</sup>)**

	Горизонт	g	P	P/B
Весна	Поверхностный	123	0,04	0,13
	Придонный	77	0,07	0,22
Лето	Поверхностный	155	0,02	0,11
	Придонный	364	0,01	0,05
Осень	Поверхностный	70	0,07	0,24
	Придонный	137	0,03	0,12

Анализ данных показал, что продукция бактерий зависела от количества органического вещества и минерального фосфора в воде озера. Коэффициент корреляции Спирмена между продукцией бактерий и содержанием в воде БПК<sub>5</sub> и P<sub>мин</sub> был достоверным ( $r = 0,94$  и  $r = 0,84$  соответственно,  $p = 0,05$ ,  $n = 6$ ).

Сравнивая полученные результаты с показателями бактериопланктона на северо-западном плесе [6], можно заключить, что южная часть озера обсеменена бактериями больше, и их физиологические процессы протекают быстрее из-за различной морфометрии плесов и более сильного влияния на южный участок антропогенного фактора. Также районы озера различаются по разряду сапробности: южный плес озера характеризуется как переходный от олигосапробного к мезосапробному, в то время как северо-западный плес имеет статус олигосапробного.

Сравнение полученных данных по показателям бактериопланктона с более ранними исследованиями [5; 7] показало, что данные по ОЧБ и биомассе бактерий сопоставимы, а количество СБ увеличилось на порядок (табл. 5). Различия могут быть связаны с методическими особенностями (предыдущие исследования проводили только в поверхностном слое воды), периодами отбора проб и районами исследования (места отбора проб не указаны).

Таблица 5

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

Период отбора	Район озера	ОЧБ, млн кл/мл	Биомасса бактерий, мг/л	СБ, КОЕ/мл
Июнь–июль 1968 г.**	–*	0,29	–*	–*
Октябрь 1990 г.***	–*	0,81	0,34	31
Май, июль, сентябрь 2018 г.	Южный плес	0,86	0,23	253
Май, июль, сентябрь 2018 г.****	Северо-западный плес	0,82	0,21	116
Май, июль, сентябрь 2018 г.	Средняя по двум плесам	0,93	0,25	128

\* – нет данных; \*\* – [Кузнецов и др., 1971]; \*\*\* – данные Тимаковой [Озера Карелии, 2013]; \*\*\*\* – данные Макаровой [Макарова, 2019]

### Заключение

Таким образом, на южном плесе оз. Мунозеро в 2018 г. функциональная активность бактерий зависела от количества легкоминерализуемого органического вещества и биогенных элементов. Кроме того, на показатели бактериоценоза влияло развитие фитопланктона. К концу вегетационного сезона наблюдалось увеличение функциональной активности бактерий до максимальных значений. Ввиду погодных условий наименьшие количественные показатели были зафиксированы летом при высокой температуре. По сравнению с остальными районами озера, южная часть оз. Мунозеро испытывает большее антропогенное влияние, что сказывается на более интенсивном развитии микробиального сообщества. Статус южного плеса оз. Мунозеро можно охарактеризовать как мезотрофный. Подсчитанные *P/B*-коэффициенты для южного плеса оз. Мунозеро могут быть использованы для расчета балансовой модели биопродуктивности озера.

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

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гак Д. З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. М.: Наука. 1975. 254 с.
2. Иванов М. В. Метод определения продукции бактериальной биомассы в водоеме // Микробиология. 1955. Т. 24. № 1. С. 70–89.
3. Копылов А. И., Косолапов Д. Б. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоемов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: сб. тр. Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–27 октября 2007 г.). СПб: ЛЕМА. 2007. С. 176–181.
4. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука. 1989. 288 с.
5. Кузнецов С. И., Романенко В. И., Кузнецова Н. С. Микробиологическая характеристика озер Карелии // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 1971. № 22. С. 3–14.
6. Макарова Е. М. Бактериопланктон северо-западного плеса озера Мунозеро (Республика Карелия) // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 57–65.
7. Озера Карелии. Гидрология, гидрохимия, биота / Под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 2013. 468 с.
8. 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.
9. Павельева Е. Б., Родэ Л. Ю. Микрогетеротрофный планктон в оз. Кривом // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии: Сб. науч. работ по материалам Международной конференции. М.: товарищество научных изданий КМК. 2006. С. 91–97.
10. Разумов А. С. Микробиальный планктон воды // Труды Всесоюзного гидробиологического общества. 1962. Т. 12. С. 60–190.
11. 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.
12. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат. 1992. 318 с.
13. Сабылина А. В., Икко О. И. Оценка тенденций изменения химических показателей воды озера Мунозеро в многолетнем плане // Труды КарНЦ РАН. Серия Лимнология. 2019. № 9. С. 76–90.
14. Семушин А. В. Экология гетеротрофного бактериопланктонного сообщества прибрежных поверхностных вод Соловецкого архипелага: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2003. 138 с.
15. Теканова Е. В., Калинин Н. М., Кравченко И. Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 1. С. 90–100. <https://doi.org/10.7868/S2587556618010083>
16. Уманская М. В. Бактериопланктон разнотипных водоемов Самарской области // Протисты и бактерии озер Самарской области. Тольятти, 2009. С. 61–77.
17. Hobbie J. E., Daley R. J., Jasper S. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. 1977. V. 33. № 5. P. 1225–1228.
18. Zimmermann R., Iturriaga R., Becker-Birck J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration // Appl. Environ. Microbiol. 1978. V. 36. № 6. P. 926–935.

### REFERENCES

1. Gak, D. Z. (1975). Bakterioplankton i ego rol' v biologicheskoy produktivnosti vodokhranilishch [Bacterioplankton and its role in biological productivity of reservoirs]. Moscow. (In Russian).

2. Ivanov, M. V. (1955). Method for determination of bacterial mass production in a reservoir [Metod opredeleniya produktzii bakterial'noj massy v vodoeme] *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 24(1). 79-89. (In Russian).
3. Kopylov, A. I., & Kosolapov, D. B. (2007). Mikrobiologicheskie indikatory evtrofirovaniya presnykh vodoemov [Microbiological indicators of eutrophication of freshwater bodies]. In: *Bioindikatsiya v monitoring 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. 176-181. (In Russian).
4. Kuznetsov, S. I., Dubinina, G. A. (1989). Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods of study of aquatic organisms]. Moscow. (In Russian).
5. Kuznetsov, S. I., Romanenko, V. I., Kuznetsova, N. S. (1971). Mikrobiologicheskaya kharakteristika ozer Karelii [Microbiological characterization of Karelian lakes]. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN [Proceedings of IBIW RAS]*, (22), 3-14. (In Russian).
6. Makarova, E. M. (2019). Bakterioplankton severo-zapadnogo plesa ozera Munozero (Respublika Kareliya) [Bacterioplankton of the north-western stretch of Lake Munozero (the Republic of Karelia)]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2(2). 57-65. (In Russian).
7. Oзера Karelii (2013). Hidrologiya, gidrokhimiya, biota [Lakes of Karelia. Hydrology, hydrochemistry, biota]. N. N. Filatov, V. I. Kukharev. (Eds.). Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ. (In Russian).
8. Oksiyuk, O. P., Zhukinskiy, V. N., Braginskiy, L. P., Linnik, P. N., Kuz'menko, M. I., & Klenus, V. G. (1993). Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Complex ecological classification of quality of the inland surface water]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 2(4). 62-76. (In Russian).
9. Pavel'eva, E. B., & Rodeh, L. Yu. (2006). Mikroheterotrofnyy plankton v oz. Krivom [Microheterotrophic plankton in Lake Krivoe]. In *Sostoyanie i problemy produktivnoy gidrobiologii: Sbornik nauchnykh rabot po materialam dokladov na Mezhdunarodnoy konferentsii, Moscow*, 91-97. (In Russian).
10. Razumov, A. S. (1962). Mikrobial'nyy plankton vody [Water microbial plankton]. *Trudy Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obshchestva*, 12. 60-190. (In Russian).
11. Romanenko, V. I., & Kuznetsov, S. I. (1974). Ekologiya mikroorganizmov presnykh vodoemov [Ecology of microorganisms of freshwater bodies]. Leningrad. (In Russian).
12. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem. (1992). In *Guide on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems, St. Petersburg*. (In Russian).
13. Sabylina, A. V., & Ikko, O. I. (2019). Otsenka tendentsij izmeneniya himicheskikh pokazatelej vody ozera Munozero v mnogoletnem plane [Changes in the chemical composition of lake munozero (Karelia) water over the past 60 years]. *Trudy KarNTS RAN. Seriya Limnologiya*, (9). 76-90. (In Russian).
14. Semushin, A. V. (2003). Ehkologiya geterotrofnogo bakterioplanktonnogo soobshchestva pribrezhnykh poverkhnostnykh vod Solovetskogo arhipelaga. Avtoref. diss. ... kand. biol. Nauk. Syktyvkar. (In Russian).
15. Tekanova, E. V., Kalinkina, N. M., & Kravchenko, I. Yu. (2018). Geochemical peculiarities of Biota functioning in Water Bodies of Karelia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (1). 90-100. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S2587556618010083>
16. Umanskaya, M. V. (2009). Bakterioplankton raznotipnykh vodoemov Samarskoi oblasti. In *Protisty i bakterii ozer Samarskoi oblasti. Tol'yatti*, 61-77. (In Russian).
17. Hobbie, J. E., Daley, R. J., & Jasper, S. (1977). Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(5), 1225-1228.
18. Zimmermann, R., Iturriaga, R., & Becker-Birck, J. (1978). Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. *Appl. Environ. Microbiol.*, 36(6), 926-935.

---

Макарова Е. М. Структурно-функциональные особенности бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро (Карелия) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 2. С. 19–25. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/03>

Makarova, E. M. (2020). Structural and functional indicators of bacterioplankton of the south stretch of lake Munozero (Karelia). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 4–25. (In Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/03>

---

дата поступления: 10 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Макарова Е.М.