

СТРУКТУРА МИКРОПЛАНКТОНА В ВОДЕ р. ВОЛГА НА УЧАСТКЕ с. ПРИЛУКИ – пгт КРАСНЫЙ ПРОФИНТЕРН (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н. И. Копытина *, И. В. Рыбакова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: *kopytina_n@mail.ru

Поступила в редакцию 28.08.2023

В августе 2021 г. в русловой части р. Волга, на участке с. Прилуки – пгт Красный Профинтерн проведены исследования бактерио- и микопланктона. Исследование проведено на 25 станциях. Дана характеристика количественной структуры сообществ гетеротрофных микроорганизмов по отдельным станциям и группам станций, выделенных по типу антропогенной нагрузки: “напротив населенных пунктов”, “нижняя граница населенных пунктов”, “5 км ниже населенных пунктов”, “10 км ниже населенных пунктов”, “водозабор”. Произведена оценка качества вод. Сапрофитные бактерии выделяли методом глубинного посева, общую численность бактерий и спорангий грибов определяли методом прямого счета с применением эпифлуоресцентного микроскопа. Численность бактерий на станциях составляла 98.65–99.97% (в среднем 98.63%) и превышала грибную в 73.0–3824.4 раз (в среднем в 1177.8 раз). Биомасса бактерий формировала – 90.01–99.86% (в среднем 98.63%) и превосходила грибную в 9.0–663.8 раз (в среднем в 168 раз). Кластерный анализ количественной структуры сообществ микроорганизмов по группам выявил их высокое сходство: по численности – 86.6–98.3%, по биомассе – 88.2–98.9%. Качество воды в группах оценено по микробиологическим показателям, как переходное от загрязненных вод к грязным, от β-мезасапробных к полиасапробным, по трофности – от мезотрофных к эвтрофным.

Ключевые слова: бактериопланктон, микопланктон, численность и биомасса микроорганизмов, сапрофитные бактерии, качество воды.

DOI: 10.47021/0320-3557-2023-40-49

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых многочисленных компонентов водных экосистем являются гетеротрофные организмы, в состав которых входят бактерии и грибы. Известно, что они быстро реагируют на воздействие различных биотических и абиотических факторов, регулируют поток органических веществ, способствуют самоочищению водоемов, являются компонентами трофических цепей, а также прямо или косвенно воздействуют на численность других гидробионтов [Терехова, 2008 (Terekhova, 2008); Тастамбек и др., 2016 (Tastambek et al., 2016)].

В подавляющем большинстве случаев микробиологические показатели могут самым лучшим образом характеризовать качество воды, используемой для питьевого и производственного водоснабжения. Микроорганизмы являются настолько тонкими индикаторами, что часто превосходят по чувствительности многие химические и физические методы [Романенко, 1979 (Romanenko, 1979)].

Бактериопланктон русловой части Рыбинского водохранилища и само водохранилище неоднократно исследовали в комплексных экспедициях [Корюлов et al., 2018, 2019]. Известны многочисленные микологические исследования р. Волга и водоемов, связанных с ней. В этих работах отражены видовой состав грибов и их распространение [Домашова, 1971, 1974 (Domashova, 1971, 1974); Захарова,

1973, 1975 (Zakharova, 1973, 1975); Милько, Захарова, 1976 (Milko, Zakharova, 1976); Солнцева 1980 (Solntseva, 1980); Солнцева и др., 1987, 1989, 1990 (Solntseva et al., 1987, 1989, 1990); Семенова, Терехова, 1990 (Semenova, Terekhova, 1990); Потехина и др., 2021 (Potekhina et al., 2021)], дана характеристика экологических показателей: динамика численности, биомассы, продуктивности; отражено влияние абиотических и биотических факторов, источников загрязнения воды на структуру комплексов микромицетов [Семенова, Терехова, 1990 (Semenova, Terekhova, 1990); Терехова и др. 1998 (Terekhova et al., 1998); Терехова, 2008 (Terekhova, 2008)]. Классическим методом исследования бактерий и грибов является посев на специальные среды. При изучении микроорганизмов реки Волга был также применен и метод прямого микроскопирования, с использованием специфических люминисцентных красителей, который позволяет более точно выявить численность и биомассу микроорганизмов, что необходимо для понимания их роли в экосистемах [Терехова и др., 1991 (Terekhova et al., 1991); Терехова, Швед, 1992 (Terekhova, Swede 1992); Корюлов et al., 2018, 2019].

Цель работы – дать характеристику количественной структуры сообществ гетеротрофных микроорганизмов (бактерий и вод-

ных грибов) в воде русловой части р. Волга на участке с. Прилуки – пгт Красный Профинтерн по отдельным станциям и группам стан-

ций, выделенных по типу антропогенной нагрузки. Оценить качество вод данного участка р. Волга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В августе 2021 г. во время рейса НИС “Академик Топчиев” в русловой части р. Волга, в пределах Ярославской области на участке с. Прилуки – пгт Красный Профинтерн отобраны пробы воды для исследования бактерио- и микопланктона. Пробы взяты, напротив, в нижней границе, ниже на 5 и 10 км населенных пунктов с различной численностью населения (с. Прилуки, г. Углич, г. Мышкин, с. Коприно, г. Рыбинск, г. Тутаев, г. Ярославль, пгт Профинтерн), а также в районах водозабора населенных пунктов. Воду

отбирали батометром объемом 2 л на 25 станциях с глубины 0.3 м: набирали в стерильные стеклянные флаконы емкостью 0.5 л и закупоривали стерильными пробками, часть пробы использовали для выделения сапрофитных бактерий, остальную – фиксировали 40%-ным формалином (0.5 мл на 100 мл воды) [Кузнецов, Дубинина, 1989 (Kuznetsov, Dubinina, 1989)]. Средняя температура воды изменялась в пределах 21.0–24.0°C, прозрачность – 110–140 см, электропроводность – 214–244,4 Ом⁻¹, растворенный O₂ – 8.68–10.42 мг/л.

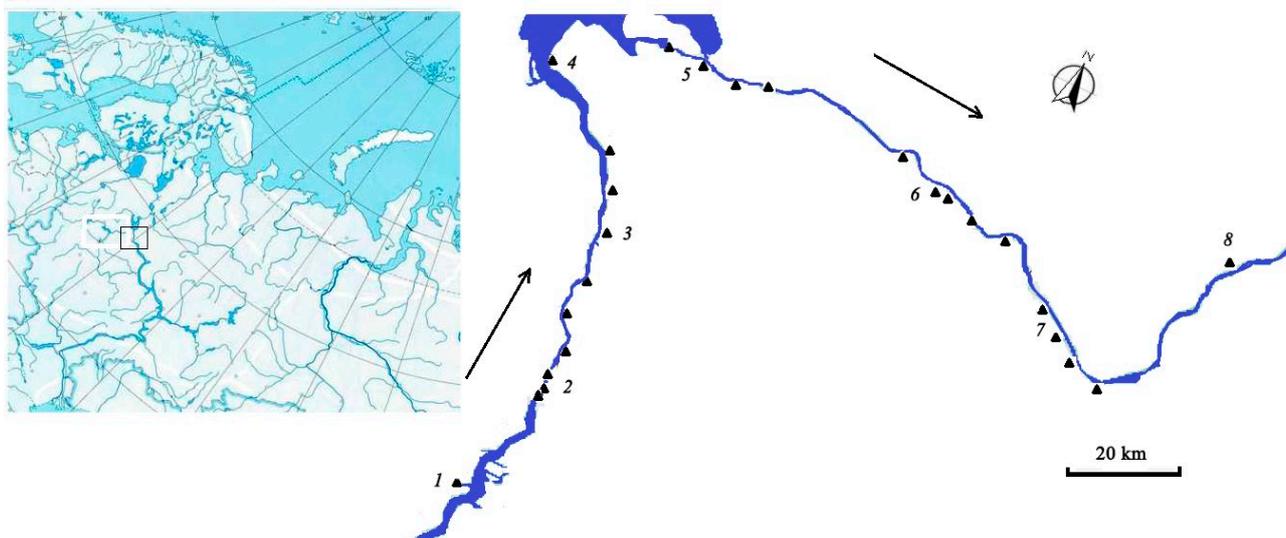


Рис. 1. Карта-схема отбора проб: 1 – с. Прилуки, 2 – г. Углич, 3 – г. Мышкин, 4 – с. Коприно, 5 – г. Рыбинск, 6 – г. Тутаев, 7 – г. Ярославль, 8 – пгт Красный Профинтерн. Стрелка указывает направление течения реки.

Fig. 1. Outline sampling map: 1 – Priluki, 2 – Uglich, 3 – Myshkin, 4 – Koprino, 5 – Rybinsk, 6 – Tutaev, 7 – Yaroslavl, 8 – Krasny Profintern. The arrow indicates the direction of the river.

Сапрофитные бактерии выделяли методом глубинного посева на рыбопептонный агар (РПА) в двух повторностях [Романенко, 1979 (Romanenko, 1979)], численность выражали в КОЕ/мл (колониеобразующие единицы).

Общая численность микропланктона. Численность и размеры бактерий определяли методом прямого счета с применением эпифлуоресцентного микроскопа (Olympus BX51, Япония) с системой анализа изображения. Для подсчета и установления размерно-морфологических групп гетеротрофных бактерий отфильтровывали 2 мл воды через черные ядерные фильтры с диаметром пор 0.17 мкм (производство ОИЯИ, г. Дубна, Россия) и последующей окраской флуорохромом DAPI (4,6-диамидино-2-фенилиндол) [Porter, Feig, 1980].

Для подсчета спор грибов (структуры грибов, дающие начало новому организму: споры различного генезиса, клетки мицелия (гифы)) фильтровали 30 мл воды через черные ядерные фильтры с диаметром пор 1.5 мкм. Фильтры фиксировали в парах этанола, окрашивали водным раствором люминесцентного красителя калькофлуора белого (концентрация 1:100 000, время окрашивания – 15 мин), который связывается с хитином и целлюлозой клеточных стенок грибов, поэтому грибные структуры приобретают ярко-зеленую люминесценцию [Терехова и др., 1991 (Terekhova et al., 1991)]. Фильтры просматривали на микроскопе ЛЮМАМ И-1, Россия.

Все препараты просматривали при увеличении $\times 1000$, объекты подсчитывали в деся-

ти полях зрения. Численность микроорганизмов рассчитывали по формуле:

$$N = e \times 10^6 \times \delta / a \times \varepsilon \times z,$$

где N – количество микроорганизмов в 1 мл воды; e – площадь фильтра, мм²; 10^6 – переводной коэффициент (мм² в мкм²); δ – сумма подсчитанных микроорганизмов в полях зрения; a – площадь окулярного сетчатого микрометра (в мкм²); ε – объем профильтрованной воды, мл; z – число полей зрения, где подсчитывались микроорганизмы на площади a .

Биомассу микроорганизмов рассчитывали по формуле:

$$B = N \times V \times d,$$

где B – биомасса микроорганизмов, мг сырой биомассы; N – численность микро-

организмов; V – объем клетки, мкм³; d – удельный вес равный 1 г/мл [Кузнецов, Дубинина, 1989 (Kuznetsov, Dubinina, 1989)]. Для вычисления объемов микроорганизмов использовали формулы аналогичных геометрических фигур.

Санитарное состояние исследуемого района оценивали по общему числу бактерий и сапрофитных бактерий.

Обработка данных проведена с использованием программы MS Excel и пакета статистических программ PRIMER® 5.2.8. (функции Similarity, CLUSTER), входным форматом пакета служат матрицы типа пробы×таксоны [Clarke et al., 2014].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сапрофитные бактерии. Средняя численность сапрофитных бактерий по станциям составляла $1.20 \pm 0.9 \times 10^4$ КОЕ/мл, минимум – 0.4×10^4 (Водозабор г. Мышкин), максимум – 4.8×10^4 КОЕ/мл (нижняя граница г. Ярославль).

Суммарная численность и биомасса микроорганизмов. На исследуемом участке реки средняя численность гетеротрофных бактерий была $8.00 \pm 1.8 \times 10^6$ кл./мл, наибольшая разница в численности составила 2.8 раз: минимум – 4.4×10^6 (5 км ниже г. Тутаев), максимум – 12.4×10^6 кл./мл (выше водозабора г. Мышкин). В общей численности микроорганизмов бактерии определяли 98.65 (нижняя граница г. Мышкин) – 99.97% (10 км ниже г. Рыбинск). Различия в численности бактерий по станциям незначительное, что подтверждает коэффициент сходства Брей-Кертиса, минимальное значение которого соответствовало 85.26%. Среднее значение биомассы гетеротрофных бактерий – $492.5 \pm 175.9 \times 10^{-3}$ мкг/мл, максимальное различие в значениях биомассы составляло 6.2 раз. Минимум биомассы – 153.9×10^{-3} мкг/мл (5 км ниже г. Тутаев), максимум – 954.6×10^{-3} мкг/мл (нижняя граница г. Ярославль). Бактериопланктон был представлен мелкими кокками с размерами 0.2–0.3 мкм и эллипсоидными клетками размером <1.0 мкм, эта группа составляла в среднем 97% общей численности. Крупные палочки, размером свыше 2.0 мкм, присутствовали в воде практически всех станций в количестве 2.5% общей численности бактерий, но достигали 5–7% на станциях 10 км ниже г. Рыбинск, у центрального водозабора и нижней границы г. Ярославль. Нитчатые формы присутствовали только в воде нижней части Угличского водохранилища: с. Прилуки, в черте г. Углич и составили 0.2–2.0% общей численности бактериопланктона.

Грибы были представлены небольшими фрагментами гиф 30–80×2–6 мкм и мелкими одиночными или сгруппированными округлыми спорами размером 2.0–7.0 мкм. Средняя численность пропагул грибов соответствовала $1.75 \pm 2.31 \times 10^4$ кл./мл, по станциям исследования изменялась в 47 раз: от 0.226×10^4 (нижняя граница пгт Красный Профинтерн) до 10.7×10^4 кл./мл (5 км ниже г. Мышкин). Средняя биомасса грибов – 6.24×10^{-3} мкг/мл, биомасса по станциям различалась в 71.2 раза: от 0.679×10^{-3} до 48.34×10^{-3} мкг/мл на этих же станциях, соответственно. В структуре микобиоты споровая компонента составляла от 3.18 (напротив г. Углич) до 53.40% (напротив г. Рыбинск), соответственно фрагменты мицелия от 46.56 до 96.82% на тех же станциях. Данные пропорции свидетельствуют об активном функционировании грибов в районе исследования.

Численность бактерий превышала грибную в 73.0 (нижняя граница г. Мышкин), в 3824.8 раза (10 км ниже г. Тутаев), в среднем в 1177.8 раз, биомасса бактерий превосходила грибную в 9.0–663.8 раз на тех же станциях, в среднем в 168 раз. В долевом отношении биомасса бактерий составляла – 90.0–99.86%, в среднем $98.63 \pm 1.97\%$ общей. Следовательно, главным компонентом микробиологических сообществ являлись бактерии, которые доминировали в количественной структуре сообществ по численности и биомассе.

Кластерный анализ численности и биомассы микроорганизмов по станциям выявил их высокое сходство: значения коэффициентов сходства по численности соответствовали 74.49–99.21%, по биомассе – 71.03–98.34%.

Группы станций, сапрофитные бактерии. Полученные результаты также проанализиро-

вали по группам станций, объединенных по типу антропогенной нагрузки: “напротив населенных пунктов”, “нижняя граница населенных пунктов”, “5 км ниже населенных пунктов”, “10 км ниже населенных пунктов”, “водозабор”.

Кластерный анализ, выполненный, по значениям численности сапрофитных бактерий показал высокое сходство групп станций – от 79.1% (“нижняя граница населенных пунктов” и “водозабор”) до 99.8% (“нижняя граница населенных пунктов” и “5 км ниже населенных пунктов”) (рис. 1). Максимальная средняя численность сапрофитных бактерий выявлена в группе “нижняя граница населенных пунктов” (1.92×10^4 КОЕ/мл), следовательно, на станциях этой группы было повышенное содержание легкодоступных органических соединений (табл. 1).

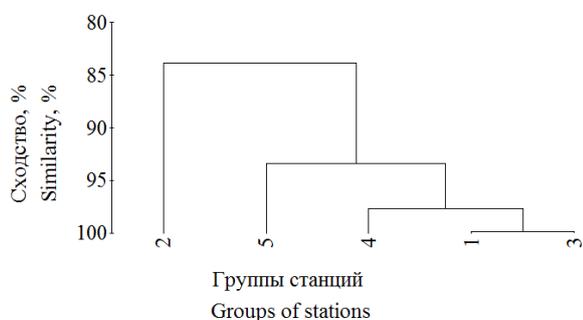


Рис. 2. Кластерный анализ сходства выделенных групп станций по средней численности сапрофитных бактерий в воде р. Волга на участке с. Прилуки – пгт Красный Профинтерн (по коэффициенту Брей-Кертиса). 1 – группа станций “напротив населенных пунктов”; 2 – группа станций “нижняя граница населенных пунктов”; 3 – группа станций “5 км ниже населенных пунктов”; 4 – группа станций “10 км ниже населенных пунктов”; 5 – группа станций “водозабор”.

Fig. 2. Cluster analysis of the similarity of the selected groups of stations by the average number of saprophytic bacteria in the water of the Volga River at the river stretch Priluki – Krasnyi Profintern (using the Bray-Curtis coefficient). 1 – group of stations “across from a settlement”; 2 – group of stations “lower border of a settlement”; 3 – group of stations “5 km downstream from a settlement”; 4 – group of stations “10 km downstream from a settlement”; 5 – group of stations “water intake”.

Группы станций, по результатам прямого счета. Кластерный анализ, осуществленный, по значениям общей средней численности микроорганизмов также выявил высокую степень сходства всех групп станций (рис. 2a). Сходство изменялось от 86.6% (“10 км ниже населенных пунктов”) до 98.3% (“напротив населенных

пунктов” и “5 км ниже населенных пунктов”). Отличия групп станций по общей численности микроорганизмов статистически незначимы. Выявлена слабая корреляционная связь между значениями численности бактерий и грибов по группам станций – 0.4.

Кластерный анализ, выполненный по средним значениям биомассы микроорганизмов выявил сходство сообществ в группах от 88.2% (“напротив населенных пунктов” и “5 км ниже населенных пунктов”) до 98.9% (“напротив населенных пунктов” и “10 км ниже населенных пунктов”) (рис. 2b, табл. 1). В группах станций “нижняя граница населенных пунктов” и “5 км ниже населенных пунктов” отмечены наиболее низкие значения биомассы бактерий, потому что в этих группах преобладали мелкоразмерные формы. Между всеми группами отличия в значениях биомассы статистически незначимы, но группа “5 км ниже населенных пунктов” отличается от остальных: соотношение биомассы бактерий и грибов минимально – 26.9 раз. В других группах соотношение биомассы бактерий и грибов изменялось от 98.3 (“водозабор”) до 205.5 раз (“нижняя граница населенных пунктов”). В структуре микобиоты всех групп преобладал мицелиальный компонент от 58.6 (“5 км ниже населенных пунктов”) до 71.0% (“нижняя граница населенных пунктов”). По группам станций вычислена высокая отрицательная корреляционная связь между биомассой бактерий и грибов – -0.85 , что свидетельствует о разных условиях среды, благоприятных для развития этих групп микроорганизмов.

В исследуемый период, в группах станций с различной антропогенной нагрузкой, выявлены близкие количественные характеристики бактерио- и микопланктона.

Оценка качества воды. По микробиологическим показателям дана оценка качеству воды согласно ГОСТу 17.1.2.04–77 “Оценка состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов”. Качество воды во всех выделенных группах станций по общей численности бактерий соответствует характеристике: грязные воды, класс полисапробные. Однако, по численности сапрофитных бактерий и индексу (соотношение общего числа бактерий к сапрофитам) качество воды соответствует состоянию: загрязненные воды, β -мезасапробные. В общем, качество воды можно оценить, как переходное от загрязненных вод к грязным, от β -мезасапробных к полисапробным, по трофности – от мезотрофных к эвтрофным. Еще одним показателем чистоты воды

является доля (%) численности сапрофитных бактерий к общему числу бактерий, данный показатель изменялся от 0.09 (водозабор)

до 0.25 (нижняя граница населенных пунктов), что соответствует характеристике – загрязненная [Романенко, 1979 (Romanenko, 1979)].

Количественные характеристики бактерио- и микопланктона в выделенных группах станций (среднее значение ± стандартное отклонение)

Quantitative characteristics of bacterio- and mycoplankton in selected groups of stations (mean value ± standard deviation)

Параметры Parameters	Группа станций / Group of stations				
	“Напротив населенных пунктов” “Across from a settlement”	“Нижняя граница населенных пунктов” “Lower border of a settlement”	“5 км ниже населенных пунктов” “5 km downstream from a settlement”	“10 км ниже населенных пунктов” “10 km downstream from a settlement”	“Водозабор” “Water intake”
Численность сапрофитных бактерий (N_b), КОЕ/мл 1×10^4 Number of saprophytic bacteria (N_b), CFU/ml 1×10^4	1.03±0.30	1.92±1.66	1.04±0.52	1.14±0.40	0.82±0.38
Общая численность бактерий ($N_{об}$), кл./мл 1×10^6 Total number of bacteria ($N_{об}$), cell/ml 1×10^6	7.86±1.72	7.75±1.34	7.57±2.01	7.68±0.25	8.70±9.04
Численность грибов (N_g), пропагул/мл, 1×10^4 Number of fungi (N_g), propagules/ml, 1×10^4	3.34±2.30	1.22±1.45	2.99±3.85	5.27±0.18	1.04±0.36
Средняя общая численность микроорганизмов ($N_{мо}$), 1×10^6 кл./мл Average total number of microorganisms ($N_{мо}$), 1×10^6 cell/ml	7.89	7.76	7.60	7.68	8.71
Биомасса бактерий (B_b), мкг/мл 1×10^{-3} Biomass of bacteria (B_b), $\mu\text{g/ml } 1 \times 10^{-3}$	550.37±140	485.52±240	396.12±127	528.36±169	547.22±115
Биомасса грибов (B_g), мкг/мл 1×10^{-3}	2.68±0.80	2.84±2.38	14.73±17.20	2.95±1.67	5.56±3.34
Общая биомасса микроорганизмов ($B_{мо}$), мкг/мл 1×10^{-3} Total biomass of microorganisms ($B_{мо}$), $\mu\text{g/ml } 1 \times 10^{-3}$	553.0	487.0	411.0	531.0	553.0

ОБСУЖДЕНИЕ

Наши результаты согласуются с данными, полученными ранее другими авторами. Так в августе 2007 г. в Рыбинском водохранилище средняя численность бактерий в воде была 7.10×10^6 кл./мл [Корулов et al., 2016]. Летом 2005–2007 гг. в верхневолжских водохранилищах (Иваньковское и Рыбинское) в сообществах бактериопланктона значения средней численности и биомассы достигали $7.59–7.62 \cdot 10^6$ кл./мл и $381–624$ мг/м³, следовательно, в исследуемый период, по значениям численно-

сти, биомассы и продукции бактериопланктона эти водоемы были эвтрофными [Корулов et al., 2019]. В 2015–2016 гг. ниже по течению р. Волга, на большей части акватории Горьковского водохранилища, качество воды охарактеризовано как “весьма грязная” и “сильно грязная” [Корулов et al., 2020]. Следовательно, в течение длительного периода времени, в русле реки и ее водохранилищах складывается неблагоприятная экологическая обстановка.

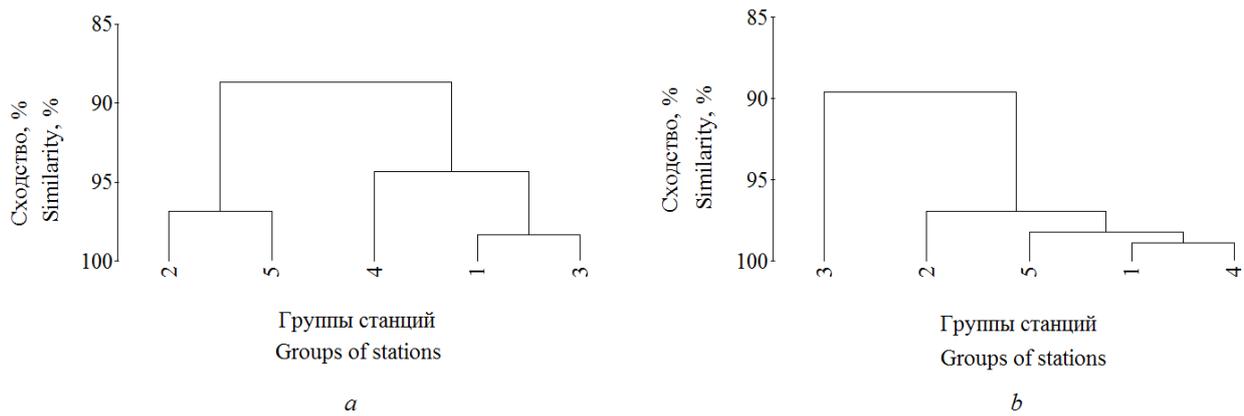


Рис. 3. Кластерный анализ сходства, выделенных групп станций, по средней численности (а) и биомассе (b) микроорганизмов в воде реки Волга на участке от с. Прилуки до пгт Красный Профинтерн (коэффициент Брей-Кертиса). 1 – группа станций “напротив населенных пунктов”; 2 – группа станций “нижняя граница населенных пунктов”; 3 – группа станций “5 км ниже населенных пунктов”; 4 – группа станций “10 км ниже населенных пунктов”; 5 – группа станций “водозабор”.

Fig. 3. Cluster analysis of the similarity of the selected groups of stations by the average number (a) and biomass (b) of microorganisms in the water of the Volga River at the river stretch Priluki – Krasnyi Profintern (Bray-Curtis coefficient). 1 – group of stations “across from a settlement”; 2 – group of stations “lower border of a settlement”; 3 – group of stations “5 km downstream from a settlement”; 4 – group of stations “10 km downstream from a settlement”; 5 – group of stations “water intake”.

В воде каскадов водохранилищ (Иваньковское, Углическое, Рыбинское, Горьковское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское), в районах крупных городов и в русловой части реки, вплоть до Астрахани были изучены численность и видовой состав грибов. Установлено, что наиболее заспорена вода в прибрежной части реки, районах крупных городов и ниже по течению до 20 км, достигая значений от нескольких тысяч до десятков тысяч КОЕ/л [Милько, Захарова, 1976 (Milko, Zakharova, 1976)]. В нашем исследовании отмечены максимальные количественные показатели грибов в воде напротив населенных пунктов и на 5 км ниже.

Исследование грибов в бассейне р. Волга методом люминесцентной микроскопии проведено в Куйбышевском водохранилище [Терехова и др. 1991 (Terekhova et al., 1991)]. Биомасса бактерий превосходила грибную в 10–30 раз, грибная биомасса составляла 1.16–2.1 мкг/мл, (2.6–5.8% общей) доля мицелия 42.2%. В микропланктоне р. Обь биомасса микроскопических грибов определялась от 3 до 37%, доля спор в структуре микробиокомплексов в среднем была 69.3%, биомассы – 49.3% [Корюлов, Kosolapov, 2011]. В наших исследованиях значения биомассы грибов изменялись от 0.679 до 48.34 мкг/мл с преобладанием мицелия – 46.56–96.82%, однако доля биомассы грибов соответствовала 0.14–10.00% общей. Во всех случаях ведущую роль играли бактерии, но отрицать роль водных грибов не

следует, особенно в деструкции трудноусвояемых соединений.

В исследуемых водоемах Поволжья описано 332 вида, которые представляют 86 родов терригенных грибов. Среди них 301 вид (70 родов) относятся к Ascomycota, 23 вида (8 родов) – Mucoromycota [Семенова, 1994 (Semenova, 1994)]. В воде р. Волга выявлено более 150 видов грибов из отделов Ascomycota, Mucoromycota, Basidiomycota, Oomycota [Домашова, 1971, 1974 (Domashova, 1971, 1974); Захарова, 1973, 1975 (Zakharova, 1973, 1975); Милько, Захарова, 1976 (Milko, Zakharova, 1976); Солнцева 1980 (Solntseva, 1980); Солнцева и др., 1987, 1989, 1990 (Solntseva et al., 1987, 1989, 1990)].

На фильтрах, в основном, отмечали мелкие шаровидные споры диаметром 2–7 мкм, характерные для представителей родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor* и дрожжевых форм грибов. Перечисленные роды грибов отмечены как доминирующие в видовом составе микробиоты воды, по всей протяженности реки [Захарова, 1975 (Zakharova, 1975); Милько, Захарова, 1976 (Milko, Zakharova, 1976); Солнцева и др., 1987, 1989, 1990 (Solntseva et al., 1987, 1989, 1990); Семенова, Терехова, 1990 (Semenova, Terekhova, 1990); Потехина и др., 2021 (Potekhin et al., 2021)]. В разработанных методах оценки качества природных вод, микроскопические грибы не учитываются. Однако известно, что видовая структура комплексов грибов изменяется при раз-

личных антропогенных нагрузках, установлены группы видов-индикаторов: соотношение светлоокрашенных и темноокрашенных видов, быстро- и медленно растущих форм, соотношение биомассы спор и мицелия [Терехова, 2007, 2008 (Terekhova, 2007, 2008); Копытина, 2020 (Kopytina, 2020)].

Бесспорно, при изучении процессов микробиологической деструкции в водоемах следует отдельно учитывать вклад водных грибов, способных продуцировать широкий

спектр биологически активных веществ и утилизировать труднодоступную для других микроорганизмов органику (хитин- и целлюлозо-содержащие субстраты). Грибы широко распространены, а в связи с загрязнением возрастает доля патогенных видов, поэтому они существенно влияют на процессы, происходящие в водоемах [Терехова и др., 1991 (Terekhova et al., 1991); Ларцева, 2016 (Lartseva, 2016); Voronin, Zhdanova, 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В структуре сообществ микроорганизмов доминировали бактерии. Численность бактерий на станциях составляла 98.65–99.97% и превышала грибную в 73.0–3824.4 раз (в среднем в 1177.8 раз). Биомасса бактерий формировала от 90.0 до 99.86%, в среднем $98.63 \pm 1.97\%$ и превосходила грибную в 9.0–663.8 раз (в среднем в 168 раз). Кластерный анализ количественной структуры микроорганизмов по станциям выявил их высокое сходство: минимальное значение коэффициента Брей-Кертиса по численности соответствовало 89.9%, по биомассе – 72.4%. Отличия количественной структуры сообществ микроорганизмов по станциям статистически незначимы.

В группах станций, выделенных по типу антропогенной нагрузки, отмечено высокое

сходство количественной структуры сообществ микроорганизмов: по численности – 86.6–98.3%, по биомассе – 88.2–98.9%. По группам станций вычислена высокая отрицательная корреляционная связь между биомассой бактерий и грибов – -0.85 , что свидетельствует о разных условиях среды, благоприятных для развития этих групп организмов. Качество воды в группах оценено по микробиологическим показателям (общая численность бактерий, численность сапрофитных бактерий, доля (%) численности сапрофитных бактерий к общему числу бактерий) как переходное от загрязненных вод к грязным, от β -мезасапрофитных к полисапрофитным, по трофности – от мезотрофных к эвтрофным.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность ст. лаборанту лаборатории микробиологии Института внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН Микряковой И.С. за помощь в отборе проб и оформлении дневника рейса.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН № 121051100102-2 “Роль прокариотных и эукариотных микроорганизмов и вирусов в структуре и функционировании водных экосистем”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 17.1.2.04-77 Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Дата введения 01.07.78. Ограничение срока действия снято по Приказу Минприроды России от 16.04.92 № 60 (ИУС № 9–94).
- Домашова А.А. О флоре водных фикомицетов Нижнего Поволжья // Микол. и фитопатол. 1971. Т. 5, Вып. 2. С. 188–193.
- Домашова А.А. Новый вид гриба из Волги – *Aphanomyces volgensis* Domash. // Микол. и фитопатол. 1974. Т. 8, Вып. 4. С. 369–370.
- Захарова Л.И. Предварительные данные о количестве водных грибов в р. Волге // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. 1973. № 20. С. 7–9.
- Захарова Л.И. К видовому составу микрофлоры р. Волги // Антропогенные факторы в жизни водоемов. Труды ИБВВ АН СССР. 1975. Т. 30 (33). С. 157–163.
- Копытина Н.И. Микобиота пелагиали Одесского региона северо-западной части Черного моря // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 52. С. 140–163. DOI: 10.17223/19988591/52/8.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- Ларцева Л.В. Сапролегниоз икры судака при искусственном разведении в дельте р. Волги // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 129–137.
- Милько А.А., Захарова Л.И. Заспоренность грибами воды реки Волги // Микол. и фитопатол. 1976. Т. 10, Вып. 3. С. 222–225.

- Потехина Р.М., Ларина Ю.В., Фицев И.М., Макаева В.И., Альмитова Л.И., Матросова Л.Е. Распространение мицелиальных грибов в водных объектах Поволжья // Ученые записки казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 245, № 1. С. 154–159. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-154-159.
- Романенко В.И. Микробиологические показатели качества воды и методы их определения // Водные ресурсы. 1979. № 6. С. 139–153.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- Семенова Т.А., Терехова В.А. Микромицеты Куйбышевского водохранилища. I. Оценка сезонной динамики и численности методом глубинного посева // Микол. и фитопатол. 1990. Т. 24, Вып. 2. С. 121–124.
- Семенова Т.А. Микобиота водоемов Среднего Поволжья: Автореф. дис....канд. биол. наук, 1994. 160 с.
- Солнцева И.О. Дрожжеподобные организмы в Рыбинском водохранилище и его побережье // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. 1980. № 45. С. 19–22.
- Солнцева И.О., Виноградова Г.И., Нагорная С.С., Квасников Е.А. Дрожжевая флора водохранилищ Верхней и Средней Волги // Микробиол. журн. Киев. 1987. Т. 49, Вып. 3. С. 38–41.
- Солнцева И.О., Виноградова Г.И. Дрожжевая флора воды и рыб Рыбинского водохранилища (Шекснинский плес) // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. 1989. № 82. С. 16–20.
- Солнцева И. О., Виноградова Г.И. Сезонные исследования дрожжевой флоры воды и рыб в Рыбинском водохранилище // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. 1990. № 85. С. 56–61.
- Тастамбек К.Т., Акимбеков Н.Ш., Ерназарова А.К., Кайырманова Г.К., Абдиева Г.Ж., Уалиева П.С., Жубанова А.А. Изучение микробного разнообразия в пробах воды и почвы Атырауской и Мангистауской областей // KazNUBu Iletin. Ecology series. 2016. №3 (48). С. 77–83.
- Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
- Терехова В.А. Анализ биоиндикационного потенциала разных групп водной микобиоты // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова. Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Конференции по гидроэкологии. Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок. Школы-семинара Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки. 11–16 ноября 2008 г. Ч. 1. Борок. 2008. С. 136–148.
- Терехова В.А., Семенова Т.А., Полянская Л.М. Исследование грибов методом люминисцентной микроскопии // Микробиология. 1991. Т. 60, Вып. 5. С. 890–895.
- Терехова В.А., Швед Л.Г. Численность и биомасса микроскопических грибов в малых реках Среднего Поволжья // Биология внутренних вод. 1992. № 95, С. 21–25.
- Терехова В.А., Семенова Т.А., Шитиков В.К. Микромицеты Куйбышевского водохранилища. IV. Взаимодействие с абиотическими и биотическими факторами // Микол. и фитопатол. 1998. Т. 32, Вып. 1. С. 44–48.
- Clarke K.R, Gorley R.N, Somerfield P.J, Warwick R.M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 3rd edition PRIMER-E : Plymouth, 2014. 262 p.
- Kopylov A. I., Kosolapov D.B. The Structure of the Planktic Microbial Community in the Lower Reaches of the Ob River near Salekhard // Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4. № 1. P. 1–7. DOI: 10.1134/S1995425511010012.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Zabolotkina E.A., Kosolapova N.G. The trophic relationships between planktonic bacteria, heterotrophic nanoflagellates and viruses in a mesoeutrophic reservoir // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9. P. 297–305. DOI: 10.1134/S1995425516030082.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Lazareva V.I. Structure of Biotic Component of the Rybinsk Reservoir Ecosystem: Importance of Heterotrophic Bacteria (Review) // Inland Water Biology. 2018. Vol. 11. P. 237–244. DOI: 10.1134/S1995082918030082.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Rybakova I.V. Assessing the Abundance, Biomass, and Production of Heterotrophic Bacteria in Upper Volga Reservoirs // Water Resources. 2019. Vol. 46, №. 1. P. 45–51. DOI: 10.1134/S0097807819010093.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Mikryakova I.S. Long-Term Dynamics of Heterotrophic Bacterioplankton in a Large Eutrophic Reservoir // Inland Water Biology. 2020. Vol. 13, № 5. P. 585–591. DOI: 10.1134/S1995082920040045.
- Porter R.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identification and counting of aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25. № 5. P. 943–948.
- Voronin L.V., Zhdanova S.M. Mycoparasite Infection of *Daphnia cucullata* Sars, 1862 (Crustacea, Cladocera, Daphniidae) in Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia) // Inland Water Biolog. 2021. Vol. 14. P. 792–796. DOI: 10.1134/s1995082921060146.

REFERENCES

- Clarke K.R, Gorley R.N, Somerfield P.J, Warwick R.M. Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation, 3rd edition PRIMER-E: Plymouth, 2014, 262 p.
- Domashova A.A. Novii vid griba iz Volgi – *Aphanomyces volgensis* Domash. [New water mould species, *Aphanomyces volgensis* Domash. sp. nov., from the Volga]. *Mykol. i phytopatol.*, 1974, vol. 8, iss. 4. pp. 369–370. (In Russian)

- Domashova A.A. O flore vodnikh fikomitsetov nizhnego povolzhya [On flora of aquatic phycomycetes in lower povolzh'e]. *Mykol. i phytopatol.*, 1971. vol. 5, iss. 2, pp.188–193. (In Russian)
- GOST 17.1.2.04-77 Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii ribokhozyaistvennikh vodnikh obektov. Data vvedeniya 01.07.78. Ogranichenie sroka deistviya snyato po Prikazu Minprirody Rossii ot 16.04.92 № 60 (IUS № 9–94). (In Russian)
- Kopitina N.I. Mikrobiota pelagiali Odesskogo regiona severo-zapadnoi chasti Chyornogo morya [Mycobiota of the pelagic zone of Odessa region in the northwestern Black Sea]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2020, no. 52, pp. 140–163. DOI: 10.17223/19988591/52/8 (In Russian)
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B. The Structure of the planktic microbial community in the lower reaches of the Ob river near Salekhard. *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4. no. 1, pp. 1–7. doi: 10.1134/S1995425511010012.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Lazareva V.I. Structure of biotic component of the Rybinsk reservoir ecosystem: importance of heterotrophic bacteria (Review). *Inland Water Biology*, 2018, vol. 11, pp. 237–244. doi: 10.1134/S1995082918030082.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Mikryakova I.S. Long-Term dynamics of heterotrophic bacterioplankton in a large eutrophic reservoir. *Inland Water Biology*, 2020, Vol. 13, no. 5, pp. 585–591. DOI: 10.1134/S1995082920040045
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Rybakova I.V. Assessing the abundance, biomass, and production of heterotrophic bacteria in Upper Volga reservoirs. *Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 45–51. doi: 10.1134/S0097807819010093
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Zabotkina E.A., Kosolapova N.G. The trophic relationships between planktonic bacteria, heterotrophic nanoflagellates and viruses in a mesoeutrophic reservoir. *Contemporary Problems of Ecology*. 2016, vol. 9, pp. 297–305. doi: 10.1134/S1995425516030082.
- Kuznetsov S.I., Dubinina G.A. Metodi izucheniya vodnikh mikroorganizmov. M.: Nauka, 1989, 288 p. (In Russian)
- Lartseva L.V. Saprolegnizy ikri sudaka pri iskusstvennom razvedenii v delte r. Volgi [Saprolegnia caviar pike perch in artificial breeding in the Delta of the Volga river]. *Trudi VNIRO*, 2016, vol. 162, pp. 129–137. (In Russian)
- Milko A.A., Zakharova L.I. Zasporennost gribami vodi reki Volgi [Fungal spore infestation of the Volga]. *Mykol. i phytopatol.*, 1976, vol. 10, iss. 3, pp. 222–225. (In Russian)
- Porter R.G., Feig Y.S. The Use of DAPI for identification and counting of aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 1980, vol. 25, no. 5, pp. 943–948.
- Potekhina R.M., Larina Yu.V., Fitsev I.M., Makaeva V.I., Almitova L.I., Matrosova L.E. Rasprostranenie mitseliialnikh gribov v vodnikh obektakh Povolzhya. *Uchenie zapiski kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsini im. N.E. Baumana*, 2021, vol. 245, no. 1. pp. 154–159. doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-154–159 (In Russian)
- Romanenko V.I. Mikrobiologicheskie pokazateli kachestva vodi i metodi ikh opredeleniya. *Vodnie resursy*, 1979, no. 6, pp. 139–153. (In Russian)
- Semenova T.A. Mikrobiota vodoemov Srednego Povolzhya: Avtoref. dis....kand. biol. nauk, 1994. 160 p.
- Semenova T.A., Terekhova V.A. Mikromitseti Kuibishevskogo vodokhranilishcha. I. Otsenka sezonnoi dinamiki i chislennosti metodom glubinnogo poseva [Micromycetes of the Kujbyshev storage lake. I. Estimation of seasonal abundance dynamics by the submerged culture technique]. *Mykol. i phytopatol.*, 1990, vol. 24, iss. 2, pp. 121–124. (In Russian)
- Solntseva I.O. Drozhzhopodobnie organizmi v Ribinskom vodokhranilishche i Yego Pribrezhe. *Biol. vnutr. vod: Inform. byul.*, 1980, no. 45, pp. 19–22. (In Russian)
- Solntseva I.O., Vinogradova G.I. Drozhzhhevaya flora vodi i rib Ribinskogo vodokhranilishcha (Sheksninskii ples). *Biol. vnutr. vod: Inform. byul.*, 1989, no. 82, pp. 16–20. (In Russian)
- Solntseva I.O., Vinogradova G.I. Sezonnii issledovaniya drozhzhhevoi flori vodi i rib v Ribinskom vodokhranilishche. *Biol. vnutr. vod: Inform. byul.*, 1990, no. 85, pp. 56–61. (In Russian)
- Solntseva I.O., Vinogradova G.I., Nagornaya S.S., Kvasnikov Ye.A. Drozhzhhevaya flora vodokhranilishch Verkhnei i Srednei Volgi. *Mikrobiol. zhurn.* Kiev, 1987, vol. 49, iss. 3, pp. 38–41. (In Russian)
- Tastambek K.T., Akimbekov N.Sh., Yernazarova A.K., Kaiirmanova G.K., Abdieva G.Zh., Ualieva P.S., Zhubanova A.A. Izuchenie mikrobnogo raznoobraziya v probakh vodi i pochvi Atirauskoi i Mangistauskoi oblastei. *KazNU Bulletin. Ecology series*, 2016, no. 3 (48), pp. 77–83. (In Russian)
- Terekhova V.A. Analiz bioindikatsionnogo potentsiala raznikh grupp vodnoi mikrobioti. *Materiali III Vserossiiskoi konferentsii po vodnoi toksikologii, posvyashchennoi pamyati B.A. Flerova. Antropogennoe vliyanie na vodnie organizmi i ekosistemi. Konferentsii po gidroekologii. Kriterii otsenki kachestva vod i metodi normirovaniya antropogennikh nagruzok. Shkoli-seminara Sovremennye metodi issledovaniya i otsenki kachestva vod, sostoyaniya vodnikh organizmov i ekosistem v usloviyakh antropogennoi nagruzki. 11–16 Noyabrya 2008 g. CH. I. Borok*. 2008. pp. 136–148. (In Russian)
- Terekhova V.A. Mikromitseti v ekologicheskoi otsenke vodnikh i nazemnikh ekosistem. M.: Nauka, 2007, 215 p. (In Russian)
- Terekhova V.A., Semenova T.A., Shitikov V.K. Mikromitseti Kuibishevskogo vodokhranilishcha. IV. Vzaimo-deistvie s abioticheskimi i bioticheskimi faktorami [Micromycetes from Kujbyshev Reservoir. IV. Interactions with biotic and abiotic factors]. *Mykol. i phytopatol.*, 1998, vol. 32, iss. 1, pp. 44–48. (In Russian)

- Terekhova V.A., Semenova T.A., Polyanskaya L.M. Issledovanie gribov metodom lyuminiscentnoi mikroskopii. *Mikrobiologiya*, 1991, vol. 60, iss. 5, pp. 890–895. (In Russian)
- Terekhova V.A., Shved L.G. Chislennost i Biomassa Mikroskopicheskikh Gribov v malikh rekakh Srednego Povolzhya. *Biologiya vnutrennikh vod*, 1992, no. 95, pp. 21–25. (In Russian)
- Voronin L.V., Zhdanova S.M. Mycoparasite Infection of *Daphnia cucullata* Sars, 1862 (Crustacea, Cladocera, Daphniidae) in Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia). *Inland Water Biolog.*, 2021, vol. 14, pp. 792–796. doi: 10.1134/s1995082921060146.
- Zakharova L.I. K Vidovomu sostavu mikroflori r. Volgi. *Antropogennye faktori v zhizni vodoemov*, 1975, vol. 30(33), pp. 157–163. (In Russian)
- Zakharova L.I. Predvaritelnie dannie o kolichestve vodnikh gribov v r. Volge. *Biol. vnutr. vod: Inform. byul.*, 1973, no. 20, pp. 7–9. (In Russian)

**MICROPLANKTON STRUCTURE IN THE VOLGA RIVER WATER
ON THE SITE OF THE VILLAGE OF PRILUKI –
THE VILLAGE OF KRASNY PROFINTERN (YAROSLAVL REGION)**

N. I. Kopytina^{*}, I. V. Rybakova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences

*152742 Borok, Russia, e-mail: *kopytina_n@mail.ru*

Revised 28.08.2023

In August 2021, in the channel part of the Volga River, within the river stretch between Priluki village and Krasnyi Profintern townlet, studies of bacterio- and mycoplankton have been carried out. The study was conducted at 25 stations. The quantitative structure of communities of heterotrophic microorganisms is presented by individual stations and by groups of stations identified by the type of anthropogenic load: “across from a settlement”, “lower border of a settlement”, “5 km downstream from a settlement”, “10 km downstream from a settlement”, “water intake”. The water quality was assessed. Saprophytic bacteria were isolated by the pour-plate method, the total number of bacteria and fungal propagules was determined by direct counting using an epifluorescence microscope. The total number of bacteria at the stations ranged 98.65–99.97% (on average 98.63%) and exceeded the fungi number by 73.0–3824.4 times (on average 1177.8 times). The bacterial biomass amounted to 90.0–99.86% (on average 98.63%) and exceeded the fungal one by 9.0–663.8 times (on average 168 times). In the structure of mycobiota, the mycelium biomass ranged 46.56–96.82% (on average 62.06%), which indicates the functional activity of fungi. Cluster analysis of the quantitative structure of microbial communities, for individual stations, revealed their high similarity: the values of the Bray-Curtis coefficients for number ranged 74.49–99.21%; for biomass – 71.03–98.34%. Cluster analysis of microbial communities by station groups also revealed their significant similarity: in number – 86.6–98.3%; in biomass – 88.20–98.87%. For groups of stations, a high correlation was found between the biomass of bacteria and fungi – 0.85, which indicates different environmental conditions favorable for the development of these microorganisms. The water quality in the station groups was appraised as transitional from polluted to dirty waters, from β -mesosaprobic to polysaprobic, and in trophicity, from mesotrophic to eutrophic.

Keywords: bacterioplankton, mycoplankton, number and biomass of microorganisms, saprophytic bacteria, water quality