

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ЭВТРОФНЫХ ОЗЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА "САМАРСКАЯ ЛУКА"

© 2005 М.В. Уманская

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

В исследованных озерах, характеризующихся повышенным содержанием РОВ и биогенов и находящихся на разных стадиях эвтрофирования, выявлены большие различия основных показателей бактериопланктона: общей численности (3,6-18,6 млн кл/мл), численности сапрофитов (4,6-23,1 тыс. кл/мл), среднего размера клеток (0,083-0,192 мкм³), размерной структуры и т.д. Максимальные численности бактериопланктона выявлены в умеренно- и высокоэвтрофных террасных и карстовых озерах. Степень размерного разнообразия по индексу Шеннона возрастает с увеличением концентрации общего фосфора до 0,35 мг/л, и далее практически не изменяется. Численность сапрофитных бактерий максимальна в террасных озерах, а их вклад в общую численность – в хорошо аэрируемых жестководных озерах возвышенности. По степени сходства бактериального сообщества было выделено 3 группы озер. Количественные и структурные показатели бактериального сообщества отражают многообразие условий в исследованных озерах и представляет собой результат комплексного и разнонаправленного действия различных факторов среды.

Самарская Лука, на территории которой расположен одноименный Национальный Парк и Государственный Жигулевский заповедник, представляет собой излучину р. Волги в ее среднем течении. Здесь находится более 60 водоемов, 12 из которых были подробно исследованы комплексной экспедицией ИЭВБ РАН. Все исследованные водоемы, за исключением пойменных, являются бессточными озерами и прудами. Они характеризуются повышенным содержанием органического вещества и биогенных элементов и находятся на разных стадиях эвтрофирования [21]. Как известно, роль бактериопланктона в процессах деструкции и продуцирования органического вещества, круговороте биогенных элементов, трансформации химического состава воды и газового режима возрастает по мере увеличения продуктивности озер [6]. При этом в озерах разного типа формируется специфическое бактериальное сообщество, определяемое условиями данного водоема. Ранее нами уже была представлена характеристика бактериопланктона в некоторых водоемах Самарской Луки [18, 20]. Цель данной работы – проведение сравнительного анализа и определение наиболее характерных черт бактериального сообщества, в малых озерах разного типа.

Материалы и методы

Исследования проводили на 12 озерах Самарской Луки в период открытой воды. Общая характеристика района исследований, гидрологические, гидрохимические и биологические особенности исследованных озер подробно рассмотрены в работах [1-3, 8, 9, 14, 16, 17, 22]. Основные особенности исследованных озер приведены в таблице 1. Пробы воды отбирали с апреля по октябрь ежемесячно в 1999 г. (озера Б.Шелехметское, Клюквенное, Опкан, Лизинка, Подгорское, Верхний) и 2002 г. (озера Бездонное, Малое Карстовое, Ужиное, Харовое, Золотенка, Серебрянка). При отборе и обработке проб применялись общепринятые методы микробиологического и гидрохимического анализа [11, 13]. Для определения размерной структуры бактериопланктона в каждой пробе измеряли линейные размеры 100-150 бактериальных клеток и рассчитывали их объем. Все бактериальные клетки были разделены на 11 размерных классов в зависимости от их объема (табл. 2). Размерную структуру бактериопланктона определяли, учитывая вклад клеток каждого размерного класса в общую численность. Для определения средней размерной структуры бактериального сообщества был проанализирован весь массив данных по каждому озеру независимо от времени от-

Таблица 1. Общая характеристика исследованных озер

Озеро	Происхождение	Глубина макс., м	Площадь, га	Стратификация	Минерализация, мг/л	БПК ₅ , мгО/л	Трофический статус	Степень зарастания
Золотенка	карстовое	5,8	0,08	Д	59	3,1	М-Э	О
Серебрянка	карстовое	0,9	0,11	Н	37	5,2	У-Э	С
Бездонное	карстовое	8,0	0,14	Д	136	9,3	У-Э	О
М. Карстовое	карстовое	3,8	0,02	Д	101	16,4	В-Э	О
Ужиное	карстовое	1,8	0,05	Н	399	2,5	М-Э	С
Харовое	котловинное	1,9	0,04	Н	278	3,6	М-Э	С
Пр. Верхний	запрудное	1,5	1,47	Н	386	4,9	У-Э	У
Подгорское	запрудное	2,6	0,31	Э	336	10,6	В-Э	У
Опкан	старичное	0,8	5,87	Н	142	3,9	М-Э	С
Лизинка	старичное	0,9	–	Н	147	8,6	У-Э	С
Клюквенное	старичное	1,7	2,93	Н	115	11,1	В-Э	У
Б. Шелехметское	старичное	6,0	28,00	Э	342	4,6	У-Э	У

Примечание: степень зарастания: О- <2%; У – 2--40%; С - >40%;

стратификация: Д – длительная, Э – эпизодическая, Н – отсутствует;

трофический статус (определяли по величине индекса трофического состояния Карлсона ИТС): М-Э – мезоэвтрофный, ИТС 55-59; У-Э – умеренно-эвтрофный, ИТС 60-69; В-Э – высокоэвтрофный, ИТС 70-79.

Таблица 2. Размерные классы бактериальных клеток

Объем клеток, мкм ³	Номера размерных классов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
минимум	0,0125	0,025	0,050	0,10	0,2	0,40	0,80	1,60	3,20	6,40	12,80
максимум	0,0249	0,049	0,099	0,19	0,39	0,79	1,59	3,19	6,39	12,79	25,59

Таблица 3. Среднесезонные показатели бактериопланктона исследованных озер

озеро	Происхождение	Общая численность бактерий (ОЧБ), млн. кл./мл	Общая биомасса бактерий, мкг С/л	Средний объем клетки, мкм ³	Индекс Шеннона, Н _н	Численность сапрофитных бактерий	
						тыс. кл/мл	% ОЧБ
Ужиное	Карст.	4,65	42,5	0,122	2,37	21,6	1,49
Золотенка	Карст.	7,76	51,1	0,088	2,23	12,3	0,19
Опкан	Старич.	7,10	102,1	0,192	1,59	5,3	0,12
Харовое	Котлов.	8,45	71,3	0,112	2,27	7,8	0,16
Пр. Верхний	Запруд.	3,61	43,2	0,160	1,84	5,4	0,16
Б. Шелехметское	Старич.	4,64	28,8	0,083	2,19	6,1	0,14
Серебрянка	Карст.	10,22	96,3	0,126	2,39	7,4	0,09
Бездонное	Карст.	18,63	158,5	0,113	2,40	7,2	0,05
Лизинка	Старич.	11,58	95,3	0,110	2,25	23,1	0,21
Клюквенное	Старич.	12,06	100,7	0,111	2,28	16,6	0,15
Подгорское	Запруд.	5,06	42,5	0,112	2,14	4,6	0,09
М. Карстовое	Карст.	16,58	108,5	0,087	2,24	9,7	0,07

Примечание: в таблице озера расположены по степени увеличения ИТС

бора проб и определены средние доли клеток каждого размерного класса в общей численности. Степень размерного разнообразия бактериопланктона оценивали по индексу Шеннона, используя в качестве исходных данных численность различных размерных групп бактерий [15].

Для сравнительного анализа бактериального сообщества исследованных озер использованы средние за период наблюдений значения основных показателей (общая численность бактерий, общая биомасса, численность сапрофитных бактерий, средний размер клеток, размерная структура, индекс Шеннона). Такой подход позволяет охарактеризовать не мгновенное, а долговременное состояние бактериопланктона в том или ином водоеме, выявить наиболее существенные отличия и определить главные характерные черты бактериального сообщества каждого озера, остающиеся неизменными в течение периода открытой воды. Необходимо отметить, что такое сравнение не вполне корректно для пересыхающих водоемов Опкан и Ужиное, для которых ряд данных существенно меньше. Однако для общей характеристики бактериального сообщества и определения места этих водоемов в системе исследованных озер Самарской Луки такими данными, на наш взгляд, вполне можно пользоваться.

Для статистической обработки полученных данных использовался стандартный пакет STATISTICA 6,0.

Результаты и их обсуждение

Исследованные водоемы значительно отличались друг от друга по всем рассмотренным показателям бактериопланктона (табл. 3). Наибольшие величины общей численности (10,2-18,6 млн кл/мл) бактериопланктона выявлены в умеренно- и высокоэвтрофных озерах старичного и карстового происхождения с мягкой маломинерализованной водой. Жестководные озера различного происхождения и продуктивности характеризуются более низкой численностью бактериопланктона (3,6-8,5 млн кл/мл). Подобная, но менее выраженная тенденция прослеживается и для общей биомассы бактериопланктона. Это объясняется различиями среднего объема клеток (табл. 3)

и особенностями размерной структуры бактериального сообщества в озерах различного типа (рис. 1). Во всех озерах в большей или меньшей степени присутствовали клетки всех размерных классов, но их соотношение было индивидуальным для каждого водоема (рис. 1), что и определило различия среднего размера объема клеток.

Наименьший средний размер имеют клетки в пойменном оз. Б. Шелехметское (табл. 3). По-видимому, это объясняется проточностью озера и его связью с Саратовским водохранилищем, где средний объем клеток еще меньше (0,076 мкм³). Основу размерной структуры этого озера составляют мелкие одиночные клетки 1-4-го классов, причем их доли практически равны (20-27% ОЧБ). Доля более крупных клеток (0,2-6,4 мкм³) составляет всего 4,5 %, и практически все они представляют собой нитевидные клетки разной длины (рис. 1).

Средний размер бактериальных клеток в карстовых озерах различен, что определяется различными условиями среды этих озер (уровень продуктивности, pH, глубина и др.) (табл. 3). Несмотря на это, размерная структура всех карстовых озер имеет высокое сходство (рис. 1): наибольшую численность имеют клетки 1 класса, доля клеток 2 класса относительно невелика (11-16%). В жестководных озерах возвышенности от 52 до 77% общей численности составляют клетки 3 и 4 классов, но их соотношение в разных озерах меняется (рис. 1). В оз. Клюквенное с интенсивным летним "цветением" фитопланктона доля самых крупных клеток 6-11 классов составляет 0,4%, кроме того относительно невелик и вклад наиболее мелких клеток 1 и 2 классов (14 и 11%, соответственно). В мелком и гумифицированном оз. Лизинка основной вклад в численность вносят два размерных класса – первый и четвертый (по 32%) (рис. 1).

Наибольший средний размер клеток поверхностного слоя воды был зарегистрирован в оз. Опкан (табл. 3). В этом озере практически полностью отсутствуют мелкие клетки (1-3 классов) и преобладают клетки 4 класса и более крупные (рис. 1). Возможно, возрастание доли более крупных клеток по сравнению с остальными озерами, связано с его мелко-

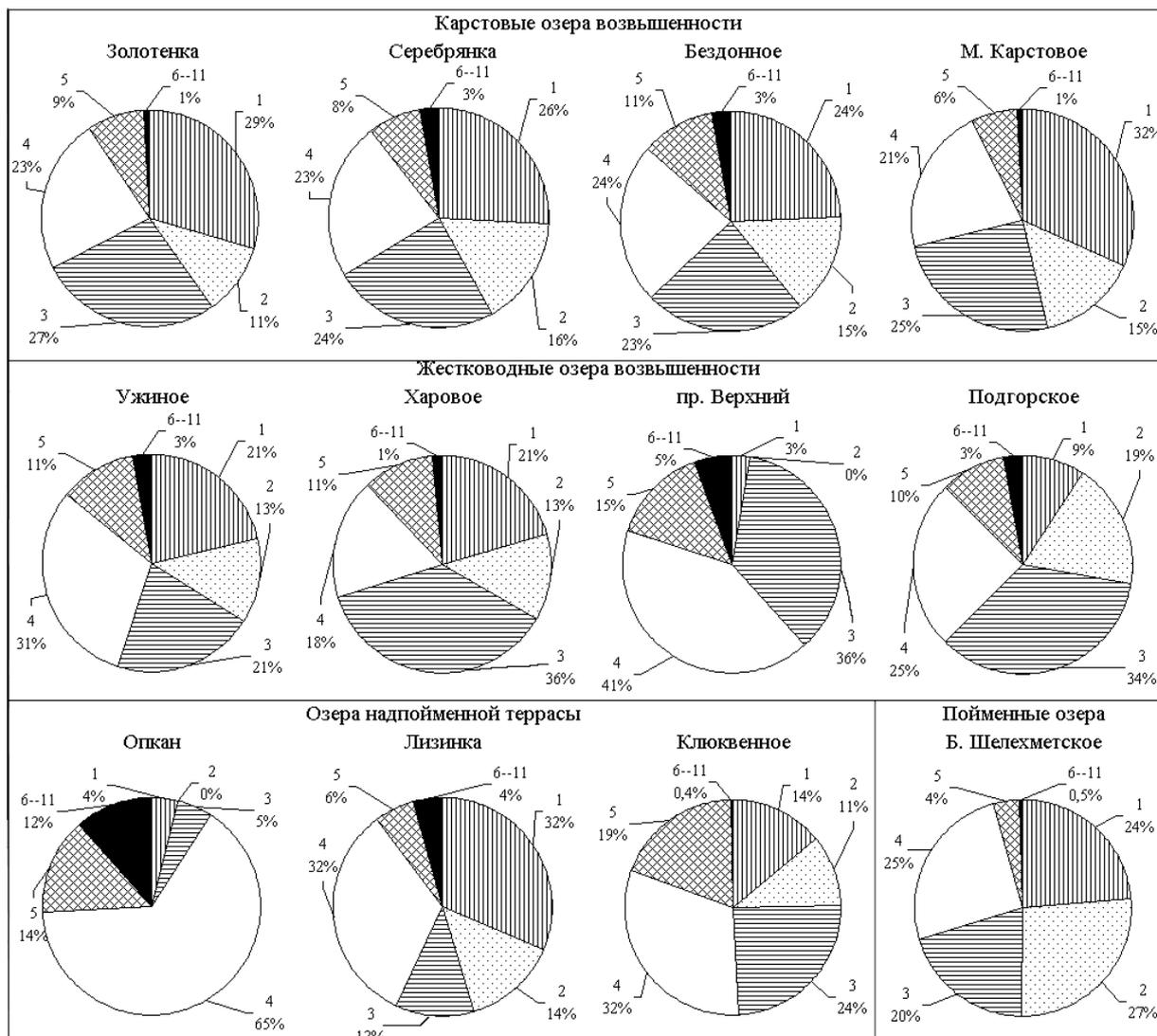


Рис. 1. Размерная структура бактериопланктона исследованных озер: на диаграммах указаны номера размерных классов и доли их численности (% ОЧБ)

водностью и пересыханием. В большинстве других мелких и/или пересыхающих озер (оз. Ужинное, Лизинка, Клюквенное, пр. Верхний) также увеличена доля клеток 4 класса (рис. 1).

Если рассматривать трофические группы исследованных озер как единые комплексы, то можно отметить тенденцию к увеличению общей численности бактерий и уменьшению среднего размера бактериальных клеток по мере увеличения продуктивности озер (рис. 2А). Аналогичное увеличение численности бактериопланктона с ростом продуктивности отмечено и в малых озерах других регионов и климатических зон [5, 7 и др]. Необходимо отметить, что по мере увеличения продуктивности озер выявлена тенденция к увеличению доли клеток 3 класса и уменьшению – 4 класса (рис. 2В). Одновременно, увеличение минерализации сопровождается возрастанием

вклада наиболее мелких клеток 1 класса (рис. 2С). Мелководность озер и их полное или частичное пересыхание приводит к возрастанию доли наиболее крупных клеток (рис. 2D). В каждом озере на структуру бактериопланктона воздействует комплекс различных факторов, причем действие отдельных факторов в ряде случаев имеет противоположную направленность. Результатом такого воздействия является большое разнообразие размерной структуры бактериального сообщества и отсутствие каких-либо четко выраженных закономерностей ее изменения в озерах разного типа.

Для оценки степени размерного разнообразия бактериального сообщества был использован индекс Шеннона (H_N), величина которого меняется в диапазоне 1,59-2,40 в разных озерах (табл. 3). Степень размерного разнообразия увеличивается при переходе от

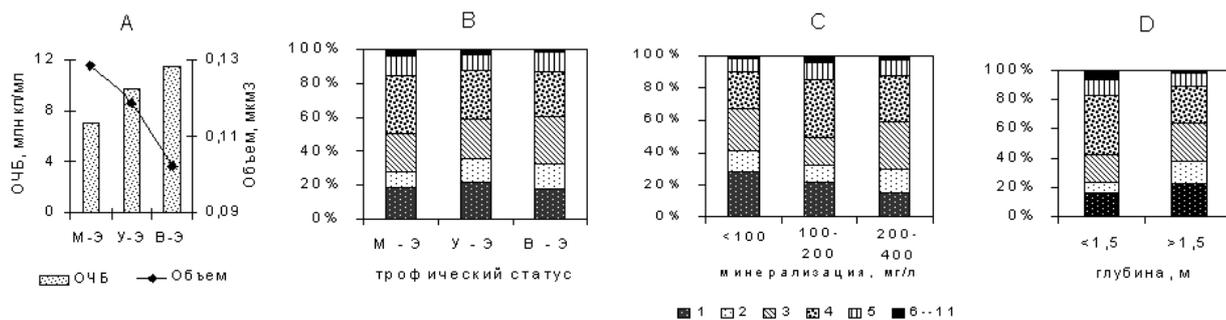


Рис. 2. Тенденции изменения общей численности, среднего объема (А) и размерной структуры бактериопланктона (В – D) в озерах с разными условиями среды

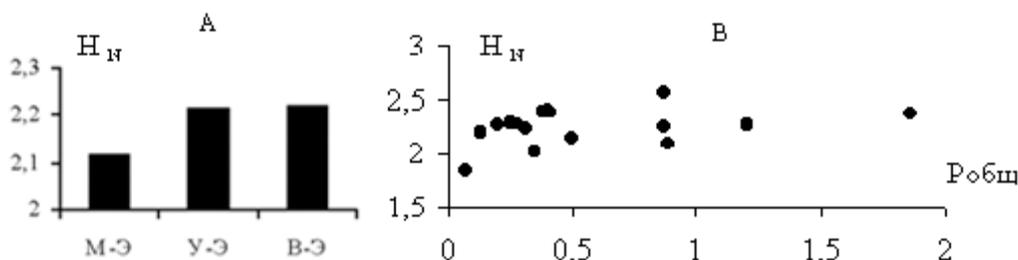


Рис. 3. Структурное разнообразие бактериопланктона (H_N) в озерах с различным трофическим статусом (А) и содержанием $P_{общ}$ (мгР/л) (В)

мезоэвтрофных озер к умеренноэвтрофным и при дальнейшем росте продуктивности не изменяется (рис. 3А). Изменения степени размерного разнообразия бактериопланктона в озерах разной продуктивности ранее практически не исследовались, однако в работах [4, 5, 15] отмечено увеличение размерного разнообразия при увеличении продуктивности озер. Это изменение авторы связывают с ростом концентрации общего фосфора от 0,03 до 0,2–0,25 мг/л в наиболее продуктивных озерах. В большинстве из исследованных нами озер содержание общего фосфора было выше [3, 14] – от 0,07 до 0,87 мг/л в большинстве озер, достигая 1,2 мг/л в оз. Лизинка и даже 1,8 мг/л в придонном слое воды оз. М. Карстовое. Именно это определило некоторое различие в выявленных тенденциях (рис 3В). В исследованных озерах степень размерного разнообразия бактериопланктона с увеличением концентрации общего фосфора до 0,35 мг/л возрастает, и далее практически не изменяется.

Бактерии, способные к росту и образованию колоний на богатых органическими субстратами средах (сапрофитные), составляют небольшую часть бактериального сообщества водных экосистем. Наибольшей средней

численностью сапрофитных бактерий отличаются озера надпойменной террасы – мелкие и гумифицированные (табл. 3, рис. 4). При этом численность сапрофитов неожиданно высока в наименее продуктивном (ИТС 55) озере Ужиное (табл. 3). Можно предположить, что это связано с его пересыханием, и, как следствие, попаданием в водную толщу бактерий и/или питательных веществ из взмученного грунта. Возможно этим же объясняется и высокая численность сапрофитов в оз. Лизинка, которое, хотя и не пересыхало полностью, но было близко к этому (глубина осе- нью не превышала 30 см).

В большинстве исследованных озер доля сапрофитов в общей численности бактериопланктона (ОЧБ) не превышала 0,5% ОЧБ, однако в отдельных случаях могла достигать 1,49% ОЧБ (табл. 3). Полученные результаты соответствуют известным литературным данным [6, 10, 12 и др.] для эвтрофных озер. Наименьший вклад в общую численность сапрофиты вносят в карстовых озерах с выраженным анаэробным гипolimнионом, а наибольший – в хорошо аэрируемых жестководных озерах возвышенности (табл. 3, рис. 4).

Для того, чтобы определить основные экологические факторы, определяющие чис-

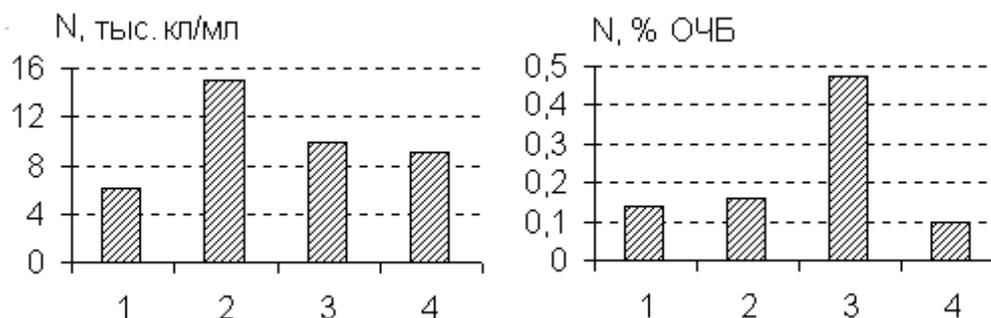


Рис. 4. Численность сапрофитных бактерий в исследованных озерах. По оси X – группы озер: 1 – пойменные; 2 – террасные; 3 – жестководные озера возвышенности; 4 – карстовые озера

ленность сапрофитных бактерий, в исследованных озерах был проведен анализ вариаций для всей совокупности данных ежемесячных наблюдений. Результаты проведенного анализа показывают, что количество сапрофитных бактерий в исследованных озерах зависит от наличия специфических питательных веществ в аэробной толще воды и увеличивается с уменьшением глубины водоема, увеличением цветности воды и ИТС, в порядке уменьшения значимости фактора.

Несмотря на значительные отличия исследованных озер друг от друга по микробиологическим показателям с помощью методов статистического анализа было выделено три четко выраженные группы озер. В первую группу входят умеренно- и высокоэвтрофные карстовые озера возвышенности. Вторую группу образуют водоемы надпойменной террасы, а также сильно отличающееся от них по химическому составу воды карстовое оз. Ужинское. Возможно, их объединение в одну группу связано с пересыханием этого озера, так же, как озер Лизинка и Опкан. Все остальные водоемы объединены в третью группу с высоким сходством, несмотря на значительные различия входящих в него водоемов. Сюда вошли пойменное озеро Б.Шелехметское, карстовое лесное оз. Золотенка и три водоема возвышенности, по-видимому, искусственного происхождения.

Представленные результаты характеризуют состояние бактериопланктона только поверхностного слоя воды исследованных озер. Особенности вертикального распределения бактерий в озерах сложны, зависят от гидрологического и гидрохимического режима водоема и требуют специального рассмот-

рения. Развитие же бактерий в аэрируемой толще воды, эпилимнионе, зависит в первую очередь от наличия органических субстратов, как автохтонного, так и аллохтонного происхождения. Поэтому, как и следовало ожидать, анализ количественных показателей развития бактериопланктона демонстрирует их явную зависимость от продуктивности (трофического статуса) водоема. Полученные данные естественно продолжают ряд данных о количественном развитии и структуре бактериопланктона в малых водоемах различной продуктивности [5, 7] и позволяют проследить, сохраняются ли при дальнейшем увеличении трофического статуса выявленные ранее закономерности. Как свидетельствуют наши данные, общая численность бактериопланктона продолжает увеличиваться с ростом ИТС, однако это увеличение несколько меньше, чем можно было бы ожидать. Размерное разнообразие бактериопланктона, как показывают приведенные результаты, также увеличивается, но только до определенной концентрации фосфора или определенной ИТС, а при дальнейшем их увеличении не изменяется. При переходе от умеренно-эвтрофных к высокоэвтрофным водоемам происходит сдвиг размерной структуры бактериопланктона в сторону более мелких клеток и, в результате, снижение среднего размера клеток. На количественные показатели и размерную структуру бактериопланктона кроме трофического статуса водоема оказывают влияние и другие факторы. В частности, увеличение цветности воды приводит к увеличению как общей численности бактериопланктона, так и численности сапрофитов; уменьшение глубины озера сопровождается возрастанием

доли крупных клеток в структуре планктона и увеличением среднего размера клеток и т.д.

Таким образом, развитие бактериопланктона в исследованных озерах определяется многими факторами. Количественные и структурные показатели бактериального сообщества отражают многообразие условий в исследованных озерах и представляет собой результат комплексного и разнонаправленного действия различных факторов среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быкова С.В., Тишакова О.Г., Уманская М.В.* Характеристика летнего планктона озер национального парка "Самарская Лука" // Материалы межрегиональной научно-практической конф. "Экологические проблемы Среднего Поволжья". Ульяновск, 1999.
2. *Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Номоконова В.И., Тишакова О.Г.* К оценке состояния бессточных водоемов национального парка "Самарская Лука" по химико-биологическим показателям // Материалы Всерос. науч. конф. "Фундаментальные и прикладные аспекты функционирования водных экосистем". Саратов: Саратовский университет, 2001.
3. *Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Шерышева Н.Г.* Гидрохимическая характеристика озер центрального района национального парка "Самарская Лука" // Экологические проблемы заповедных территорий России / Под ред. С.В. Саксонова. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003.
4. *Гуренович Т.Г.* Расчет продукции бактериопланктона с учетом его размерной структуры // Тр. ЗИН. 1989. Т. 205.
5. *Гуренович Т.Г.* Особенности развития бактериопланктона и бактериобентоса разнотипных рыбохозяйственных водоемов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 1995.
6. *Драбкова В.Г.* Темпы природного и антропогенного эвтрофирования озер // Восстановление экосистем малых озер. СПб.: Наука, 1994.
7. *Драбкова В.Г., Локк С.И., Островская Т.А.* Изменения микробиологических показателей озер по мере их эвтрофирования // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980.
8. Инвентаризация водоемов Национального Парка "Самарская Лука": Отчет (заключ.) о НИР № 4-99 от 11.01.99 / Руководитель работы Г.С. Розенберг. Тольятти, 2000.
9. *Конева Н., Саксонов С.В.* Растительность некоторых водоемов возвышенной части Самарской Луки // Заповедное дело России: принципы, проблемы, приоритеты: Матер. межд. научн. конф. Т. 1. Бахилова Поляна, 2003.
10. *Кузнецов С.И.* Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970.
11. *Кузнецов С.И., Дубинина Г.А.* Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989.
12. *Михайленко Л.Е.* Бактериопланктон днепровских водохранилищ. Киев, 1999.
13. *Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.* Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990.
14. *Номоконова В.И.* Биоресурсный потенциал и трофический статус некоторых водоемов Самарской области // Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами / Под ред. Г.С. Розенберга, С.В. Саксонова. Тольятти, 2003.
15. *Олейник Г., Гурняк Д., Свионтецки А.* Применение индекса Шеннона в гидромикробиологических исследованиях // VIII Съезд Гидробиологического общества РАН: Тезисы докладов. Т. 2. Калининград, 2001.
16. *Паутова В.Н.* Лимнологические исследования в Юго-восточной части Самарской Луки. Положение в ландшафте, гидрологические и гидрохимические особенности водоемов // Известия СамНЦ РАН. 2001. Т.3. № 2.
17. *Поспелов А.П., Горбунов Ю.М., Уманская М.В., Поспелова М.Д.* Характеристика гидрохимического режима водоемов Самарской Луки // Известия СамНЦ РАН. 2000. Т.2. № 2.
18. *Романенко В.И., Кузнецов С.И.* Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л., 1974.

19. Романова Е.П., Поспелов А.П., Поспелова М.Д., Быкова С.В., Тишакова О.Г., Малиновская Е.И., Уманская М.В. Гидрохимическое и гидробиологическое обследование Большого Шелехметского озера (Самарская Лука) // Бюлл. Самарская Лука. 2001. № 11.
20. Уманская М.В. Лимнологические исследования в Юго-восточной части Самарской Луки. Особенности развития бактериопланктона // Известия СамНЦ РАН. 2002. Т.4. № 2.
21. Уманская М.В. Экологические особенности развития бактериопланктона малых эвтрофных озер Самарской Луки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2004.
22. Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Быкова С.В., Шерышева Н.Г., Горохова О.Г., Паутова В.Н. Общая характеристика некоторых водоемов Самарской Луки // Заповедное дело России: принципы, проблемы, приоритеты: Матер. межд. научн. конф. Т. 1. Бахилова Поляна, 2003.

THE MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTIC OF SMALL EUTROPHIC LAKES OF NATIONAL PARK SAMARSKAYA LUKA

© 2005 M.V. Umanskaja

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

In small eutrophic lakes which are characterized by high concentrations of DOC and nutrients, the high variation of the basic parameters of bacterioplankton is found: the total number (3,6-18,6 million cell/ml), the number of saprophytes (4,6-23,1 тыс. cell/ml), mean cell volume (0,083-0,192 мкм³), size structure, etc. Maximal total bacterioplankton numbers are revealed in moderate and high eutrophic terrace and karst lakes. Shannon index increased with the raise of total phosphorus concentration up to 0,35 mg/l, and further practically does not change. The analysis of size structure of a bacterioplankton of studied lakes shows that it depends from several of the investigated factors in almost equal degree. It was not possible therefore to allocate among them the main factor. Number of saprophytes is maximal in terrace lakes, and their contribution to the total number - in well aerated hardwater lakes of the Zhiguli height. 3 groups of lakes have been distinguished on a basis of similarity of bacterial community. Variation of quantitative and structural parameters of bacterioplankton of studied lakes is a result of complex and heterogeneous effects of several environmental factors.