

2. Снытко В.А. Семенов Ю.А., Давыдова Н.Д. Ландшафтно-геохимическая оценка территории первоочередного формирования КАТЭКа // Региональные ландшафтно-геохимические исследования. – Иркутск: Изд-во СО АН СССР. – 1986. – С. 3-54.
3. Снытко В.А. Ландшафтно-геохимическое районирование и прогноз изменения геосистем // География и природные ресурсы. – 1984. – № 3. – С. 18-28.
4. Исаченко А.Г. Методы прикладных исследований. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
5. Бондарев А.А., Шульга И.Ю. Гидрохимия водных объектов западной части района КАТЭКа. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 46 с.
6. Корытный Л.М. Водно-балансовая характеристика Назаровской котловины // Природные и экономические факторы формирования КАТЭКа. – Иркутск: Изд-во СО АН СССР, 1980. – С. 62-71.



УДК 579.68

Е.Я. Мучкина, В.Б. Новикова

БАКТЕРИОПЛАНКТОН МАЛОГО РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ПРУДА БУГАЧ) В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

Среди пригородных рекреационных водоемов важную роль играют пруды – искусственные водоемы в естественных или искусственных углублениях, образовавшиеся в результате запруды на реках и имеющие специфические условия обитания гидробионтов. Пруды как неглубокие континентальные водоемы часто подвержены «цветению» цианобактерий, что снижает качество воды и определяет актуальность их исследования с целью оценки состояния экосистемы и разработки рекомендаций по регулированию качества воды [2].

Важнейшим компонентом трофических цепей водных экосистем являются бактерии, осуществляющие минерализацию взвешенного и растворенного органического вещества, быстро наращивающие свою биомассу, потребляемую водными организмами различных систематических групп [12; 13; 16; 14; 17]. Целью настоящей работы явилось изучение уровня развития бактериопланктона малого водохранилища – пруда Бугач в многолетнем ряду наблюдений (1997-2001 гг.) и оценка трофического статуса водоема и качества воды.

Объекты и методы исследования. В комплексе совместных с лабораторией экспериментальной гидроэкологии ИБ СО РАН гидробиологических работ в течение вегетационного периода 1997-2001 гг. проведены исследования бактериопланктона данного водоема, расположенного в окрестностях города Красноярска. Источником питания пруда являются реки Бугач, Пятково и Каракуша. Бугач – это неглубокий, мелководный евтрофный водоем, расположенный в зоне островной лесостепи, частично занятой пастбищами и полями. В западной части ландшафта наблюдается заболачивание и формируются типичные гигрофитные ассоциации (горец земноводный, рдест курчавый и гребенчатый, рогоз широколистный, хвощ топяной, элодея, ряска). В южной части изучаемой территории расположена рекреационная зона, имеет комплекс отдыха – пляж, лодочная станция.

Летом в связи с недоступностью для большей части населения Красноярска традиционных удаленных мест летнего отдыха пруд Бугач интенсивно используется для купания, рыболовства и рыболовных мероприятий. Площадь водосбора пруда составляет 116, а площадь поверхности – 0,32 квадратных километра, глубина – до шести метров. Ежегодно в пруду наблюдается продолжительное интенсивное «цветение» цианобактерий, вода характеризуется высокими значениями pH (среднее – 8,6) [1].

Концентрации в воде K, Na, Ca и Mg и некоторых тяжелых металлов (Zn, Pb, Ni, Cu) были невысокими, не превышали предельно допустимых для рыбохозяйственных водоемов, а концентрации Al, Cr, Fe и Mn превышали предельно допустимые [3; 15].

Интегральные пробы воды отбирали батометром типа Дьяченко-Кожевникова в центре водоема с горизонтов 0-2 метра еженедельно с середины мая по сентябрь. Пробы бактериопланктона (в объеме 1 мл) фильтровали через капроновые микропористые фильтры («Химифил», Эстония) с диаметром пор 0,2 мкм. Бактерии на фильтрах окрашивали флуорескаминам и считали под люминесцентным микроскопом [9]. Температуру измеряли с помощью датчика «MERA-ELWRO» (Польша), значения pH – pHметром «pHep 2» (США).

Результаты и их обсуждение. Изменения температуры, прозрачности и pH пруда Бугач в исследуемый период представлены в таблице 1. В течение вегетационного сезона глубина на станции составляла 4 - 5 метров, прозрачность воды по диску Секки – 0,25 - 2,75 метра, температура поверхностных слоев воды в среднем за сезон составляла 16,9 - 19,7°C при максимальных значениях 21,5 - 24,9°C, вертикальная стратификация температуры отсутствовала. Значения pH щелочные – 7,9 - 10,1. Содержание растворенного в воде кислорода составляет 3,8 - 17,0 мг/л у поверхности, 1,3 - 15,8 мг/л – у дна.

Гидрологические и гидрохимические показатели пруда Бугач (1997-2001 гг.)

Год	Месяц	Температура, °C		Прозрачность, м		pH	
		min – max	x	min - max	x	min - max	x
1997	июнь	14,0 – 21,5	16,8	0,5 – 0,7	0,6	7,9 – 8,7	8,4
	июль	18,5 – 21,0	19,7	0,5 – 0,7	0,6	8,4 – 8,9	8,6
	август	15,5 – 21,5	18,6	0,6 – 0,7	0,6	8,7 – 9,2	8,9
	сентябрь	11,0 – 14,0	12,5	0,9 – 1,5	1,1	8,7 – 9,1	8,8
	среднее знач.	–	16,9	–	0,7	–	8,7
1998	июнь	13,8 – 18,2	15,8	0,8 – 1,5	1,1	7,9 – 8,4	8,1
	июль	20,8 – 23,0	22,0	0,4 – 0,9	0,6	9,1 – 9,5	9,2
	август	19,0 – 22,2	20,8	0,8 – 2,8	1,3	8,9 – 9,3	9,1
	сентябрь	14,0 – 18,0	16,0	0,5 – 0,5	0,5	9,0 – 9,1	9,0
	среднее знач.	–	18,7	–	0,9	–	8,8
1999	май	13,5 – 17,2	13,4	0,6 – 0,7	0,7	9,0 – 9,2	9,1
	июнь	16,5 – 18,2	15,8	0,5 – 0,7	0,6	8,5 – 9,1	8,9
	июль	19,6 – 24,9	22,6	0,2 – 0,8	0,6	9,0 – 9,1	9,0
	август	18,6 – 22,5	20,7	0,5 – 0,7	0,6	8,7 – 9,1	8,9
	сентябрь	17,0 – 17,0	17,0	0,8 – 0,8	0,8	8,2 – 8,2	8,2
	среднее знач.	–	18,1	–	0,6	–	8,9
2000	май	8,2 – 16,1	12,0	1,0 – 1,1	1,05	9,1 – 9,3	9,2
	июнь	17,8 – 23,2	20,8	0,5 – 2,5	1,25	8,7 – 9,1	8,8
	июль	20,5 – 22,6	21,5	0,4 – 0,9	0,6	8,6 – 9,5	9,1
	август	18,6 – 22,5	20,7	0,5 – 0,7	0,6	9,0 – 9,8	9,4
	сентябрь	9,4 – 16,5	13,9	0,4 – 0,6	0,5	8,1 – 8,9	8,5
	среднее знач.	–	17,8	–	0,8	–	9,0
2001	май	13,5 – 20,8	16,2	0,6 – 0,8	0,7	9,5 – 9,6	9,5
	июнь	19,5 – 22,6	21,4	0,5 – 0,6	0,6	9,0 – 9,8	9,4
	июль	19,5 – 23,5	21,5	0,4 – 0,4	0,3	8,4 – 10,1	9,2
	август	18,9 – 22,9	20,4	0,1 – 0,6	0,4	8,2 – 9,5	8,8
	сентябрь	11,5 – 18,8	17,9	0,6 – 0,6	0,6	8,5 – 8,5	8,5
	среднее знач.	–	19,7	–	0,5	–	9,1

В течение исследуемых пяти лет наблюдались изменения общей численности бактериопланктона в пруде Бугач. Известно, что основная схема годового цикла бактериопланктона во внутренних водоемах характеризуется наличием нескольких сезонных пиков численности [5; 7; 4]. Весенний пик обусловлен поступлением в водоем большого количества органических веществ с паводковыми водами. Летний пик связан с массовым развитием водорослей и прижизненными выделениями фитопланктона. Также немалое значение имеют оптимальные для жизнедеятельности бактерий температуры. Осенью снижению числа бактерий способствует выедание их зоопланктоном.

В пруду Бугач в период исследования прослеживается сезонная динамика изменения общей численности бактериопланктона. В вегетационный период 1997 года этот показатель изменялся от 0,9 до 5,0 млн кл/мл при среднем значении за сезон 2,5 млн кл/мл (рис. 1). Минимальные значения наблюдались в начале и конце сезона. В конце июня наблюдается пик

(4,5 млн кл/мл), и в третьей декаде июля зарегистрирован максимум численности – 5,0 млн кл/мл, что связано с массовым развитием фитопланктона. С начала августа отмечается снижение численности с некоторыми колебаниями в рамках естественных природных флуктуаций.

В 1998 г. величины общей численности бактериопланктона не отличались от предыдущего года и были в пределах от 1,3 до 5,8 млн кл/мл при среднем значении за сезон 2,6 млн кл/мл (рис. 2). При этом в сезонной динамике бактериопланктона после некоторого уменьшения в середине июня наблюдался первый пик (4,3 млн кл/мл) – с последующим резким спадом численности (1,5 млн кл/мл) в конце месяца, что может быть вызвано выеданием зоопланктоном. В июле отмечалось постепенное увеличение общей численности бактериопланктона с максимумом в конце месяца (5,8 млн кл/мл) и повторялось значительное снижение (до 1,3 млн кл/мл) в начале августа, что, по-видимому, обусловлено начавшимся снижением температуры.

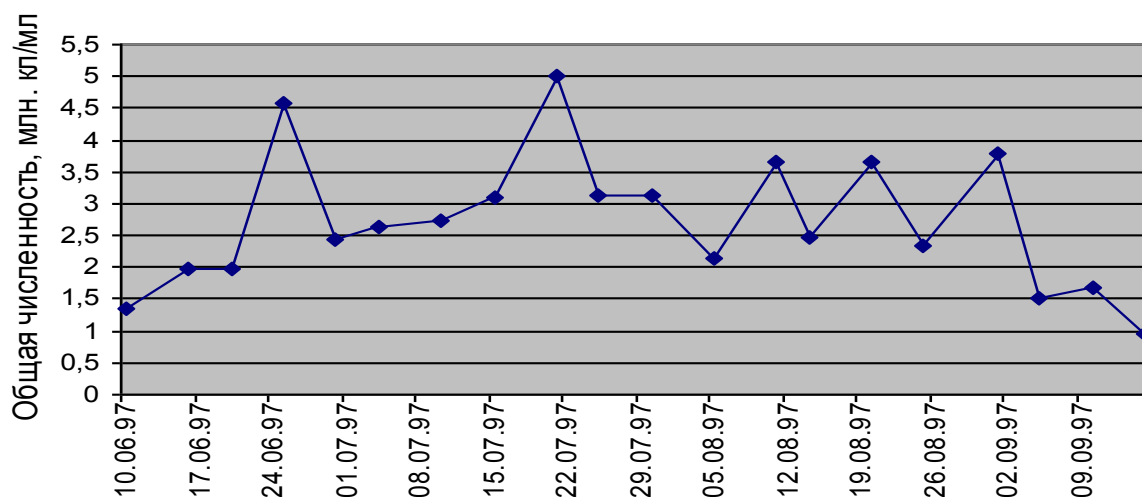


Рис. 1 Динамика общей численности бактериопланктона пруда Бугач (июнь-сентябрь 1997 г.)

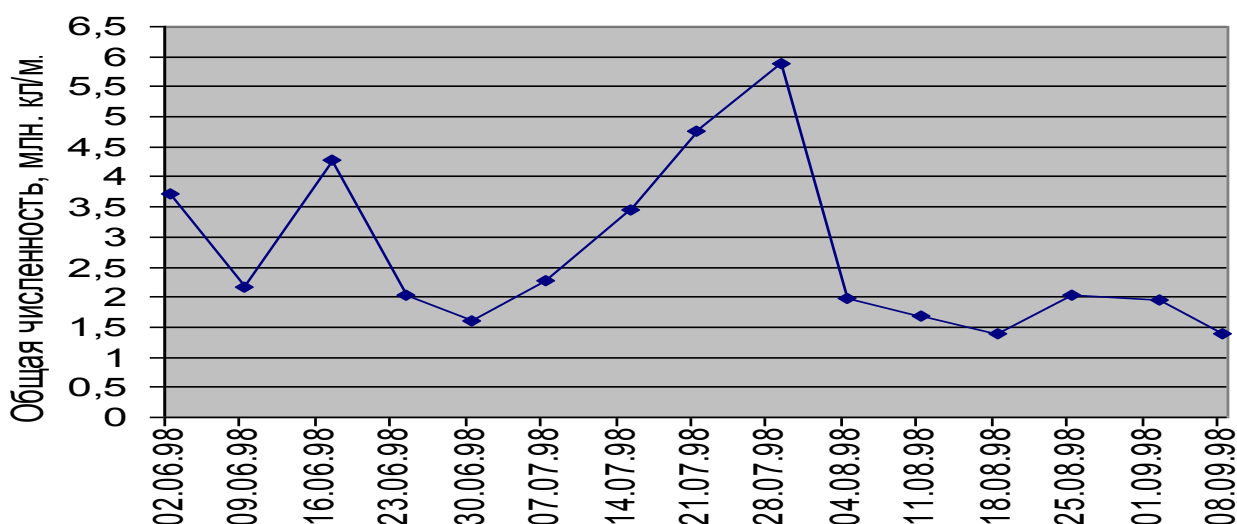


Рис. 2 Динамика общей численности бактериопланктона пруда Бугач (июнь-сентябрь 1998 г.)

В 1999 г. амплитуда колебаний общей численности бактерий сохранялась на уровне двух предыдущих лет и изменялась от 0,6 до 4,9 млн кл/мл, составляя в среднем за сезон 2,4 млн кл/мл (рис. 3). В динамике развития бактериопланктона выявлены три пика: в конце мая – (5,0 млн кл/мл), начале июня (4,0 млн кл/мл) и начале августа (4,9 млн кл/мл). В начале июля при некоторых колебаниях происходило уменьшение числа бактерий до 1,0 млн кл/мл. После первой декады августа

численность бактериопланктона постепенно снижалась, как и в предыдущий вегетационный сезон.

В 2000 г. уровень развития бактериопланктона снизился: общая численность изменялась от 0,7 до 2,5 млн кл/мл со средним значением за сезон 1,5 млн кл/мл (рис. 4). При этом наблюдались три пика – в конце июня (2,3 млн кл/мл), в конце июля (2,5 млн кл/мл) и в конце сентября (2,4 млн кл/мл) с небольшими колебаниями в течение сезона.

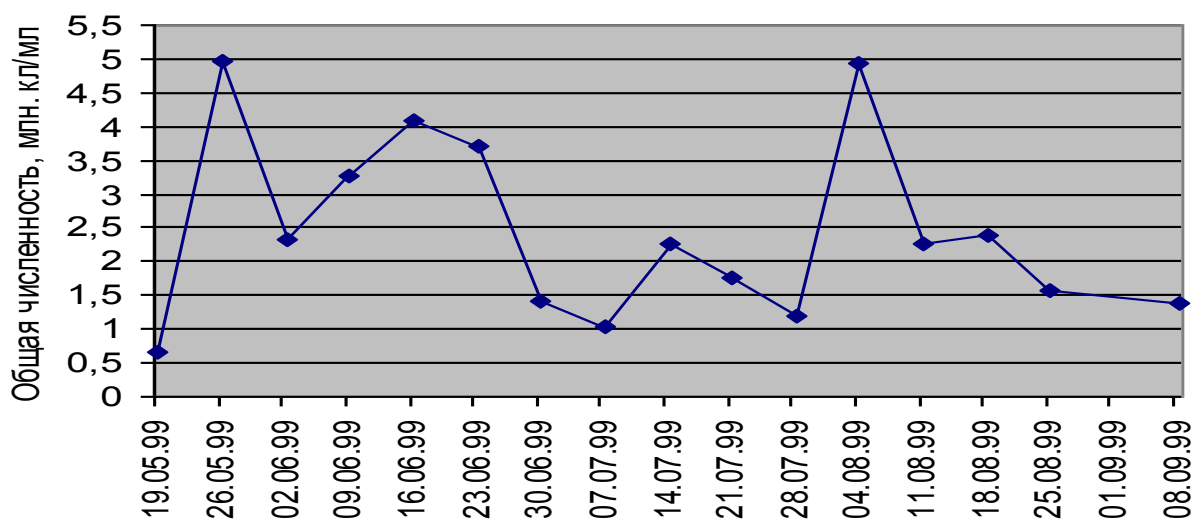


Рис. 3 Динамика общей численности бактериопланктона пруда Бугач (май-сентябрь 1999 г.)

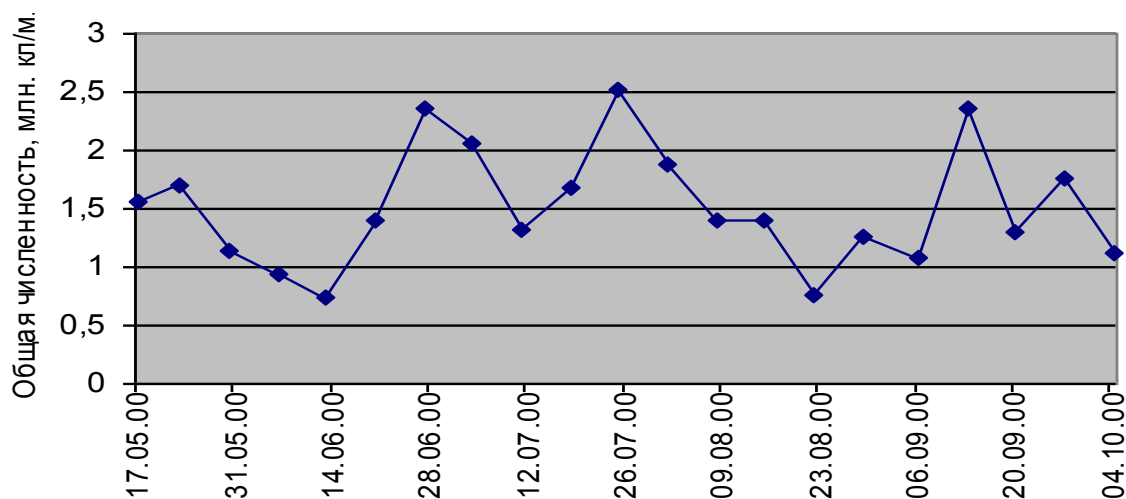


Рис. 4 Динамика общей численности бактериопланктона пруда Бугач (май-сентябрь 2000 г.)

В 2001 г. произошло дальнейшее снижение численности бактериопланктона в среднем за год до 0,9 млн кл/мл и уменьшение амплитуды колебаний от 0,5 до 1,6 млн кл/мл (рис. 5). В вегетационный период минимальные значения общей численности бактериопланктона отмечались до середины июня. Увеличение до максимального значения (1,6 млн кл/мл) зарегистрировано 20 июня, во второй половине июля (1,5 млн кл/мл) и в конце августа (1,3 млн кл/мл). Характер сезонных изменений 2001 г. сходен с 2000 г., но пики сдвинуты на более ранние сроки.

В пруду Бугач изменения средних за месяц значений общей численности бактерий в течение вегетационных сезонов носили различный характер. Так, меньшее развитие отмечалось в разные месяцы: июнь (1997 г.); июль (1999 г.); август (2000 г.); сентябрь (1998 г.), а наибольшие величины были зарегистриро-

ваны в июне 1999 г., июле 1997, 1998, 2000, 2001 гг. (табл. 2).

Сравнительный анализ сезонной динамики общей численности бактериопланктона с использованием критерия Стьюдента [8] в каждый год за период исследований показал (табл. 3), что изменение численности в летние месяцы проявлялось в 1997–2000 гг. Так, в июле 1997 г. произошло резкое достоверное увеличение численности бактерий и уровень их развития отличался от июня и августа; в 1998 г. отмечалось плавное увеличение численности от июня к июлю и резкое достоверное снижение в августе. В 1999 г. максимальные значения численности зарегистрированы в июне, а в июле происходит резкое достоверное снижение количества бактерий; в 2000 г. динамика численности бактериопланктона схожа с 1997-м, в 2001 г. достоверных отличий в динамике по месяцам не выявлено.

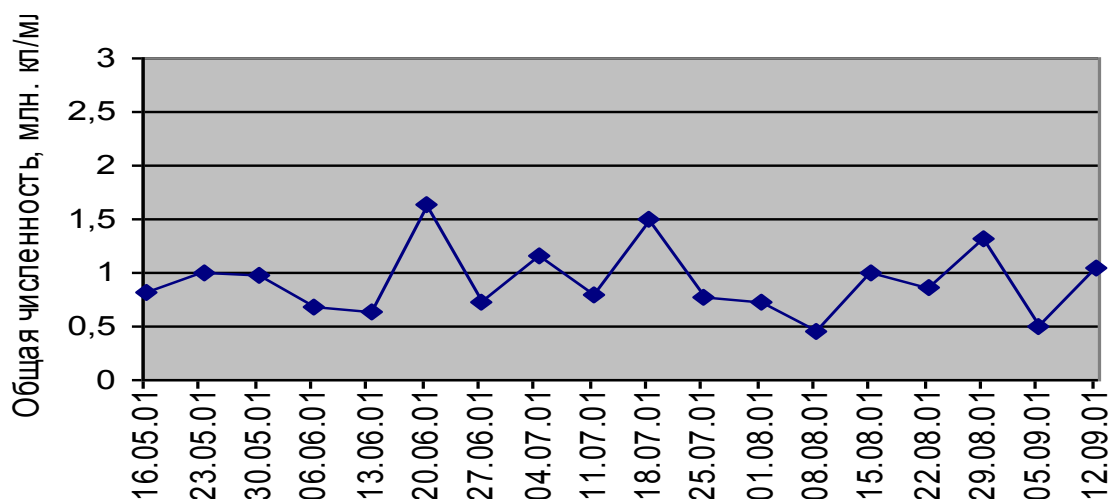


Рис. 5 Динамика общей численности бактериопланктона пруда Бугач (май-сентябрь 2001 г.)

Таблица 2

**Сезонная динамика общей численности бактериопланктона
(млн кл/мл) пруда Бугач (май-сентябрь 1997–2001 гг.)**

Месяц	Год				
	1997	1998	1999	2000	2001
Май	-	-	2,82 ± 2,17	1,46 ± 0,16	0,94 ± 0,06
Июнь	2,24 ± 0,53	2,76 ± 0,52	2,96 ± 0,48	1,36 ± 0,36	0,92 ± 0,24
Июль	3,28 ± 0,35	4,10 ± 0,78	1,56 ± 0,28	1,89 ± 0,25	1,06 ± 0,17
Август	2,84 ± 0,33	1,78 ± 0,15	2,80 ± 0,74	1,34 ± 0,18	0,87 ± 0,14
Сентябрь	1,98 ± 0,62	1,68 ± 0,29	-	1,63 ± 0,28	0,77 ± 0,28
Среднее значение за вегет. сезон	2,45 ± 0,369	2,58 ± 0,562	2,35 ± 0,455	1,54 ± 0,113	0,89 ± 0,101
GV, %	30	43	33	16	25

В многолетней динамике (см. табл. 2, 3) значимые отличия средневегетационных значений общей численности бактерий в течение 1997–1999 гг. (2,5–2,7 млн кл/мл) не зарегистрированы. В 2000 г. наблюдалось достоверное уменьшение общей численности бактериопланктона (1,5 млн кл/мл) по сравнению с предыдущими годами ($p < 0,95$ и $0,99$). В 2001 г. произошло последующее снижение уровня численности

бактериопланктона (0,9 млн кл/мл) с достоверным отличием от 1997, 1998 и 1999 годов. Наибольшей вариабельностью отличался 1998 г. ($CV=43\%$), наименьшим – 2000 г. ($CV=16\%$). Таким образом, в многолетней динамике развития бактериопланктона наблюдался стабильный уровень в период 1997–1998 гг. и достоверное снижение численности в 2000–2001 гг. (см. табл. 3).

Таблица 3

**Дифференциация статистических рядов общей численности бактериопланктона пруда Бугач
по многолетним данным (1997 – 2001 гг.) по критерию Стьюдента**

Год	Месяц	1997				1998				1999				2000				2001			
		июнь	июль	август	X	июнь	июль	август	X	июнь	июль	август	X	июнь	июль	август	X	июнь	июль	август	X
1997	июнь	-	1,65	0,97	-	0,70	1,97	0,85	-	1,01	1,15	0,62	-	1,37	0,60	1,62	-	<u>2,28</u>	<u>2,15</u>	<u>2,50</u>	-
	июль	-	-	0,92	-	0,84	0,96	<u>4,18</u>	-	0,54	<u>3,91</u>	0,59	-	<u>2,78</u>	<u>3,23</u>	<u>5,01</u>	-	<u>5,63</u>	<u>5,69</u>	<u>6,51</u>	-
	август	-	-	-	-	0,13	1,48	<u>2,96</u>	-	0,21	<u>2,98</u>	0,05	-	<u>3,01</u>	<u>2,26</u>	<u>4,05</u>	-	<u>4,69</u>	<u>4,81</u>	<u>5,47</u>	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	0,43	-	-	-	<u>4,49</u>	-	-	-	<u>7,23</u>
1998	июнь	-	-	-	-	-	1,42	1,82	-	0,28	2,03	0,04	-	<u>2,21</u>	1,50	<u>2,58</u>	-	<u>3,23</u>	<u>3,09</u>	<u>3,50</u>	-
	июль	-	-	-	-	-	-	<u>2,92</u>	-	1,23	<u>3,05</u>	1,21	-	<u>3,17</u>	<u>2,69</u>	<u>3,44</u>	-	<u>3,88</u>	<u>3,80</u>	<u>4,08</u>	-
	август	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,37</u>	0,67	1,37	-	1,05	0,40	<u>1,89</u>	-	<u>3,07</u>	<u>3,11</u>	<u>4,41</u>	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	-	-	-	<u>3,08</u>	-	-	-	<u>4,70</u>
1999	июнь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,55</u>	0,18	-	<u>2,66</u>	1,98	<u>3,17</u>	-	<u>3,81</u>	<u>3,73</u>	<u>4,19</u>	-
	июль	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,61	-	0,43	0,88	0,67	-	1,63	1,53	<u>2,21</u>	-
	август	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,75	1,17	1,93	-	<u>2,44</u>	<u>2,31</u>	<u>2,58</u>	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,62</u>	-	-	-	<u>4,37</u>
2000	июнь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,19	0,06	-	1,04	0,76	1,28	-
	июль	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,83	-	<u>2,81</u>	<u>2,77</u>	<u>3,57</u>	-
	август	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,43	1,15	2,11	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>4,35</u>
2001	июнь	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,63	-
	июль	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,55	-
	август	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: Подчеркнуто одной чертой $p < 0,05$.

Оценка качества воды пруда Бугач по значениям общей численности бактерий показала, что в 1997-1999 гг. она оценивалась классом удовлетворительной чистоты, разрядом достаточно

чистая (3а), а в 2000-2001 годах характеризовалось классом чистой воды, разрядом вполне чистая (2б) в рамках классификации В.Н. Жукинского и др. [6] (табл. 4).

Таблица 4

**Оценка качества воды и трофического статуса пруда Бугач
по микробиологическим показателям (вегетационный период 1997-2001 гг.)**

Показатель	Годы	
	1997–1999	2000–2001
Класс, разряд качества воды по Жукинскому [6]	3а - удовлетворительной чистоты, слабозагрязненная	2б – удовлетворительной чистоты, достаточно чистая
Трофический статус по Романенко [10]	Евтрофный	Мезоевтрофный

По уровню развития бактериопланктона пруд Бугач в период с 1997 по 1999 год характеризовался как евтрофный водоем, в 2000 и 2001 гг. – как мезоевтрофный в соответствии с классификацией В.И. Романенко [10].

Таким образом, уровень развития бактериопланктона в 1997-2001 гг. свидетельствует об

интенсивности происходящих в пруду Бугач микробиологических процессов, а анализ межгодовой динамики численности бактерий указывает на уменьшение степени евтрофирования водоема. При этом состояние экосистемы в 1997-2000 гг. может быть оценено как экологический прогресс, а в 2001 г. – как фоновый [11].

Литература

1. Гладышев М.И., Колмаков В.И., Кравчук Е.С. и др. Рост и выживание цианобактерий в эксперименте в водах "цветущего" и "нецветущего" водоемов // Докл. РАН, 2000. – Т. 35. – № 2. – С. 272-274.
2. Гладышев М.И., Колмаков В.И., Гаевский Н.А., Иванова Е.А. Разработка основ биоманипулирования, направленного на улучшение состояния рекреационных водоемов г. Красноярск // Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. – 316 с.
3. Гладышев М.И., Мучкина Е.Я., Грибовская И.В. и др. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 3. – С. 320-328.
4. Донецкая В.В. Зависимость сезонной динамики бактериопланктона водоемов от факторов среды // Структура и функционирование сообществ водных микроорганизмов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. – 248 с.
5. Драбкова В.Г. Роль бактерий в продукции и деструкции в пресных водоемах // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. – Минск: Изд-во БГУ, 1973. – С. 187-192.
6. Жукинский В.Н., Оксик О.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журнал. – 1993. – Т. 29. – № 24. – С. 62-76.
7. Кожова О.М., Мамонтова Л.М. Бактериопланктон ангарских водохранилищ и статистические методы его анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 118 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М: Высш. школа, 1990. – 352 с.
9. Поглазова М.И., Мицкевич И.Н. Применение флуорескамина для определения количества микроорганизмов в морской воде эпифлуоресцентным методом // Микробиология. – 1984. – Т. 53. – № 5. – С. 850-857.
10. Романенко В.И. Микроорганические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 296 с.
11. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
12. Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Bacterial production in fresh and salt water ecosystems: a cross-system overview // Mar. Ecol. Prog. Ser. -1988. - V. 43. - P. 1-10.
13. Coveney M.F., Wetzel R.J. Biomass, production and specific growth rate of bacterioplankton and coupling to primary production in an oligotrophic lake // Limnol. Oceanogr. – 1995. – V. 40. – P. 118-120.
14. Felip M., Pace M.L., Cole J.J. Regulation of planktonic bacterial growth rates: The effects of temperature and resources // Microb. Ecol. – 1996. – V. 36. – P. 15-28.

15. Gladyshev M.I., Gribovskay I.V., Moskvicheva A.V., Muchkina E.Y., Chuprov S.M., Ivanova E.A. Content of Metals in Compartments of Ecosystem of a Siberian Pond // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2001. – 41. – P. 157-162.
16. Simon M., Cho B.C., Azam F. Significance of bacterioplankton biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1992. – V. 86. – P. 103-110.
17. Vrede K., Vrede T., Isaksen A., Karlsson A. Effects of nutrients (phosphorous, nitrogen and carbon) and zooplankton on bacterioplankton and – a seasonal study // Limnol. Oceanogr. – 1999. – V. 44. – № 7. – P. 1616-1624.