

УДК [556.555.579.68:582.23](285.33)

Т. В. Головки, Л. И. Багнюк

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА
ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Проведен ретроспективный анализ формирования микробиологического режима Каневского водохранилища, а также изучены пространственно-временные изменения количественных показателей бактериопланктона его верхнего участка на современном этапе.

Ключевые слова: бактериопланктон, сапрофитные бактерии, коэффициент бактериальной сукцессии.

Микробиологические исследования в верхней части Каневского водохранилища в полном объеме в последний раз проводились в конце 1990-х годов [3]. Необходимость получения новых данных определяется динамичным характером таких факторов, как гидрологический режим и антропогенная нагрузка, которые способны спровоцировать изменение направления бактериальной сукцессии и роли бактериопланктона в экосистеме водоема. Наряду с оценкой современного состояния бактериального населения водной толщи Каневского водохранилища необходим ретроспективный анализ формирования его микробиологического режима, становление которого отличается от такового в других водохранилищах днепровского каскада. Определение основных структурных показателей бактериопланктона верхнего участка Каневского водохранилища и анализ их величин в пространственно-временном аспекте — основная задача настоящего исследования.

Материал и методика исследований. В основу статьи положены результаты исследований на верхнем участке Каневского водохранилища летом 2004 г., круглогодичного мониторинга на его двух русловых станциях в 2003—2006 гг., результаты наших исследований конца 1990-х годов [3], а также другие литературные данные. В экспедиционных выездах пробы отбирали согласно стандартной сетке станций, в круглогодичных исследованиях — на участке выше и ниже устья р. Сырец, принимающей антропогенную нагрузку со значительной части города Киева. С использованием общепринятых в водной микробиологии методов количественного учета микроорганизмов [7] были определены следующие показатели: общая численность и биомасса планктонных бактерий, количество сапрофитных микроорганизмов, минерализующих легко окисляемые органические вещества, рассчитан коэффициент бактериальной сукцессии [5].

© Головки Т. В., Багнюк Л. И., 2009

Результаты исследований и их обсуждение

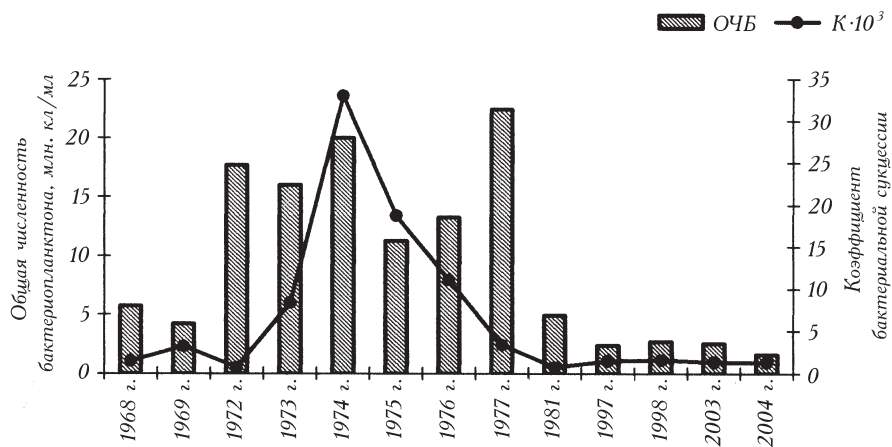
Как показал ретроспективный анализ литературных данных, микробиологический режим Каневского водохранилища формировался следующим образом. В 1960-е годы, до строительства Каневской ГЭС общая численность бактерий в Днепре от Киева до Канева колебалась в пределах 4,2—9,0 млн. кл/мл, количество сапрофитных микроорганизмов варьировало от 1,3 до 5,1 тыс. кл/мл. Характер распределения планктонных бактерий на данном участке реки независимо от сезона и водности года определялся загрязняющим влиянием промышленно-бытовых стоков города Киева [2]. Наиболее существенные загрязнения вносили Гавань, промышленные стоки Дарницкого ра-на, р. Лыбедь и канал Бортической очистительной системы, под влиянием которых общее содержание бактериопланктона увеличивалось в 1,5—9 раз [1, 4].

Строительство в 1972 г. Каневского гидроузла привело к угнетению функциональной активности бактериопланктона и снижению самоочистительной способности водоема на фоне увеличения количественных показателей содержания бактерий [1]. Уже в первые два года после начала заполнения водохранилища плотность бактериопланктона возросла в 4 раза, а на третий год — в 10 раз, оставаясь высокой до конца 1970-х (рис. 1).

Увеличение содержания сапрофитных бактерий не было столь резким. По данным С. И. Кошелевой [4], в этот период антропогенная нагрузка на водоем включала значительное количество стойкого органического вещества и прочих загрязняющих веществ, оказавших более заметное влияние на бактериопланктон в целом, чем на бактерии, использующие легко окисляемую органику.

Невзирая на негативные последствия зарегулирования стока Днепра Каневской ГЭС, уже на пятый год после окончания заполнения водохранилища, по данным Г. Н. Олейник [4], содержание планктонных бактерий уменьшилось до исходных значений. Тенденция дальнейшего снижения величины данного показателя отмечена нами в стационарных исследованиях в 1992—1993 гг. в 10 км от Киевской ГЭС, а также в 1997—1998 гг. на 10 станциях, охватывающих верхнюю часть Каневского водохранилища в пределах 28 км [3].

Характер и направленность сукцессии микроорганизмов в природной среде можно оценить по соотношению общего количества бактерий и численности отдельной группы на традиционной питательной среде (в нашем случае сапрофитов на мясо-пептонном агаре) [5]. На основании литературных и собственных данных мы рассчитали коэффициент бактериальной сукцессии ($K \cdot 10^3$) за период с конца 1960-х гг. до настоящего времени (см. рис. 1). Низкие значения данного показателя соответствуют увеличению роли быстрорастущих организмов, активно потребляющих субстрат, высокие — характеризуют этапы сукцессии, сопряженные с замедлением деструкционных процессов. Последнее отмечено в период становления Каневского водохранилища, когда данный показатель увеличивался по сравнению с предыдущими годами в 7 раз. К концу 1990-х гг. величина коэффициента бактериальной сукцессии существенно снизилась, что свидетельствует о



1. Многолетняя динамика общей численности бактериопланктона (ОЧБ) и величины коэффициента бактериальной сукцессии ($K \cdot 10^3$).

возрастании роли бактериопланктона в процессах самоочищения и возможности справляться с авто- и аллохтонными нагрузками.

Многолетняя динамика развития бактериопланктона в Каневском водохранилище имеет иной характер, чем в других водохранилищах Днепровского каскада, в которых в период их становления зарегистрированы низкие значения коэффициента бактериальной сукцессии и активизация бактериальных процессов [6]. По всей видимости, различия обусловлены своеобразием морфометрии и гидрологии Каневского водохранилища, которое имеет очень высокий водообмен и речной или озерно-речной режим на большей части акватории. Характерной особенностью формирования количественных показателей бактериопланктона в Каневском водохранилище является наличие на значительном протяжении защитных сооружений, предохраняющих от затопления около 8 тыс. га лугов, что уменьшает поступление в него взвешенного органического вещества. В других водохранилищах Днепра, вследствие затопления пахотных земель, ложе на протяжении многих лет служило источником обогащения воды веществами органической природы, что приводило к увеличению доли сапрофитных бактерий и снижению величины $K \cdot 10^3$.

Как было установлено нами в конце 1990-х гг., размах пространственно-временных колебаний величин общей численности и биомассы бактериопланктона составлял 0,8—17,6 млн. кл/мл и 0,3—13,1 мг/л соответственно [3]. По результатам последних исследований вариабельность структурных показателей бактериопланктона, как с учетом пространственных (лето 2004 г.), так и временных (русловая станция 2003—2006 гг.) изменений, существенно снизилась, составляя 0,87—2,64 млн. кл/мл и 0,35—0,96 мг/л в первом случае и 0,56—3,56 млн. кл/мл и 0,11—1,43 мг/л — во втором (табл. 1).

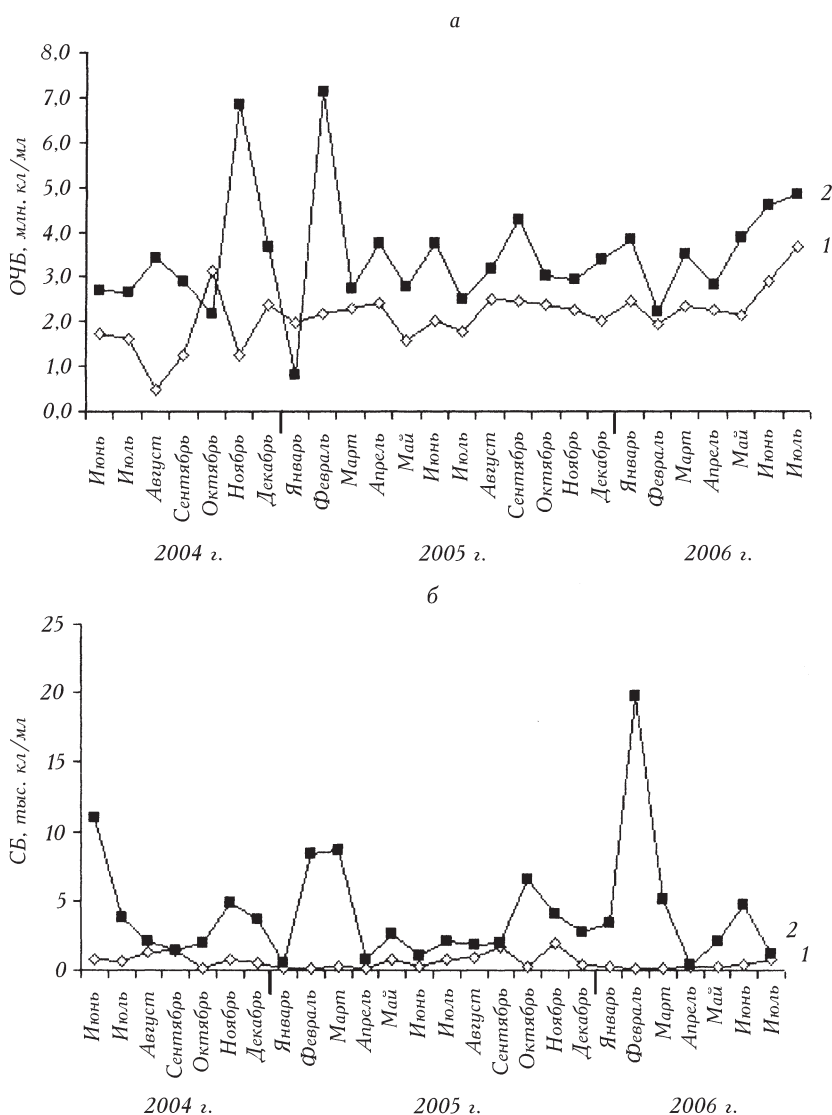
Коэффициент вариации (x) для совокупности всех величин общей численности бактерий на русловой станции, несмотря на некоторое снижение

1. Структурные показатели бактериопланктона верхнего участка Каневского водохранилища в различные годы

Годы, количество станций	Сезоны	t , °C	ОЧБ	В	СБ
1997 г., 8 станций	Лето	23,6	2,20	1,72	1,43
	Осень	10,5	4,28	3,13	2,01
	В среднем	17,0	$3,44 \pm 3,75$	$2,42 \pm 2,89$	$1,72 \pm 1,79$
	Весна	10,1	2,33	1,17	0,73
1998 г., 10 станций	Лето	24,5	2,81	3,18	6,71
	Осень	8,5	4,89	2,77	3,01
	В среднем	14,9	$3,35 \pm 2,02$	$2,37 \pm 1,57$	$3,48 \pm 0,49$
2004 г., 11 станций	Лето	23,8	$1,75 \pm 0,52$	$0,56 \pm 0,21$	$1,54 \pm 1,35$
	Зима	0,8	2,65	0,63	0,55
	Весна	10,0	2,69	0,68	0,33
2003 г.*	Лето	21,3	2,70	0,93	2,55
	Осень	9,7	1,98	0,53	0,23
	В среднем	9,7	$2,55 \pm 0,55$	$0,70 \pm 0,21$	$0,90 \pm 1,49$
	Зима	0,9	1,77	0,49	0,91
	Весна	8,0	1,38	0,30	0,44
2004 г.*	Лето	18,7	1,32	0,40	1,09
	Осень	8,7	2,19	0,49	0,48
	В среднем	10,4	$1,57 \pm 0,62$	$0,42 \pm 0,19$	$0,85 \pm 0,51$
	Зима	11,9	0,47	2,10	0,41
	Весна	22,5	0,72	2,09	0,68
2005 г.*	Лето	14,8	0,93	3,32	0,99
	Осень	0,6	0,52	2,10	0,67
	В среднем	12,5	$0,66 \pm 0,21$	$2,40 \pm 0,71$	$0,69 \pm 0,24$
	Зима	1,5	1,78	0,48	0,20
	Весна	13,1	2,19	0,64	0,25
2006 г.*	Лето	21,2	2,67	0,84	0,60
	Осень	9,0	1,84	0,48	0,11
	В среднем	11,5	$2,18 \pm 0,65$	$0,64 \pm 0,29$	$0,35 \pm 0,23$

Примечание. Здесь и в табл. 2: ОЧБ — общая численность бактериопланктона (млн. кл/мл); В — биомасса бактериопланктона (мг/л); СБ — численность сапрофитных бактерий (тыс. кл/мл); * стационарная русловая станция.

по сравнению с концом 1990-х гг., оставался на достаточно высоком уровне. В 1998 г. этот показатель составлял 60%, в 2003, 2004, 2005 и 2006 гг. — соот-



2. Влияние стока р. Сырец на общую численность бактерий (а) и содержание сапрофитных бактерий (б) в водохранилище. Здесь и на рис. 4: 1 и 2 — станции 1 и 2, расположенные, соответственно, выше и ниже устья р. Сырец.

ответственно 22, 39, 30 и 30%. Происшедшие в бактериопланктоне структурные перестройки, а также снижение его биомассы, связанное с уменьшением размеров бактериальных клеток, слабо отразились на изменении за истекшие годы средней численности бактерий, то есть можно говорить об относительной стабилизации уровня развития бактериопланктона.

Значительная изменчивость содержания планктонных бактерий как в прошлом, так в настоящее время имеет несколько причин: разнообразие биотопов исследуемого участка Каневского водохранилища, нестабильность гидрологических условий в результате работы Киевской ГЭС, закономер-

2. Изменение структурных показателей бактериопланктона в водохранилище под влиянием стока рек Сырец и Лыбедь в летний период

Станции	ОЧБ	В	СБ	ОЧБ	В	СБ	ОЧБ	В	СБ
	1997 г.			1998 г.			2004 г.		
1	2,28	1,09	0,34	2,27	2,16	0,68	2,05	0,69	0,53
2	3,23	2,19	0,47	4,22	5,50	0,95	1,68	0,55	0,62
3	1,12	0,77	0,35	1,68	1,58	0,86	1,38	0,51	1,06
4	3,23	2,29	4,82	2,63	3,13	0,88	2,64	0,96	1,05

Примечание. 1, 2 — выше и ниже устья р. Сырец; 3, 4 — выше и ниже устья р. Лыбеди.

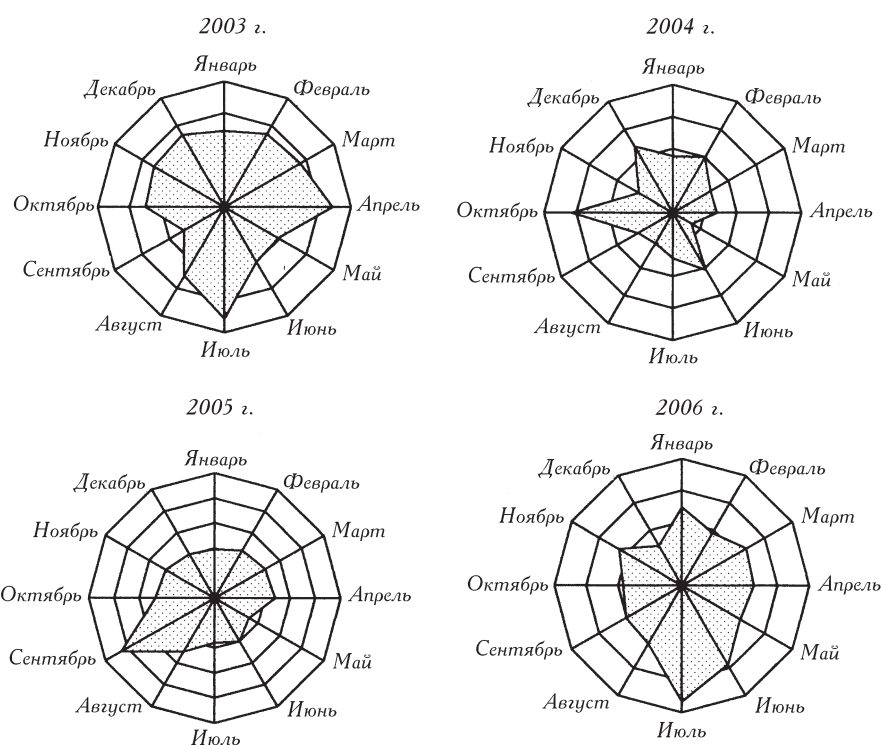
ные сезонные флуктуации в развитии биоты, в том числе и бактериопланктона. Поступление в водохранилище воды из рек, принимающих на себя промышленно-бытовые и терригенные стоки, является одним из факторов, влияющих на пространственно-временную характеристику бактериопланктона (табл. 2).

Нетрудно заметить, что влияние р. Сырец, вода которой перед поступлением в водохранилище проходит через сеть небольших озер, где загрязнения частично и в различные годы в разной степени разбавляются и аккумулируются, проявляется слабее. Река Лыбедь, испытывающая как ранее, так и в настоящее время более значительную антропогенную нагрузку, стабильно оказывает более существенное влияние на количественные показатели планктонных бактерий. Летом 2004 г. вследствие обильных дождей и «эффекта разбавления» эти различия были не столь существенными.

Разовые исследования водоема, фиксирующие экологическую ситуацию в конкретное время, не всегда дают объективную картину пространственно-временного распределения бактериопланктона. Для выявления закономерностей динамики его развития был проведен многолетний мониторинг на станциях, расположенных выше (ст. 1) и ниже (ст. 2) устья р. Сырец, результаты которого показали существенное влияние ее стока на содержание бактериопланктона в водохранилище. В процессе многолетнего мониторинга также установлено выраженное влияние р. Сырец на содержание в водохранилище бактерий, минерализующих биохимически лабильное органическое вещество (рис. 2).

Изменения количества сапрофитных бактерий по акватории водохранилища были более существенными, чем бактериопланктона в целом (см. табл. 1). Содержание этих микроорганизмов, численность которых зависит, главным образом, от концентрации легкоусваиваемых органических веществ (ОВ) автохтонного и аллохтонного происхождения, варьировало от 0,04 до 41,72 в конце 1990-х гг. и от 0,13 до 5,7 тыс. кл/мл — в настоящее время. В пространственном распределении сапрофитных бактерий четких закономерностей не установлено.

В сезонной динамике численности бактериопланктона (в том числе и сапрофитных бактерий) в 1997—1998 гг. на русловых станциях водохранилища прослеживается отчетливая тенденция увеличения показателей от

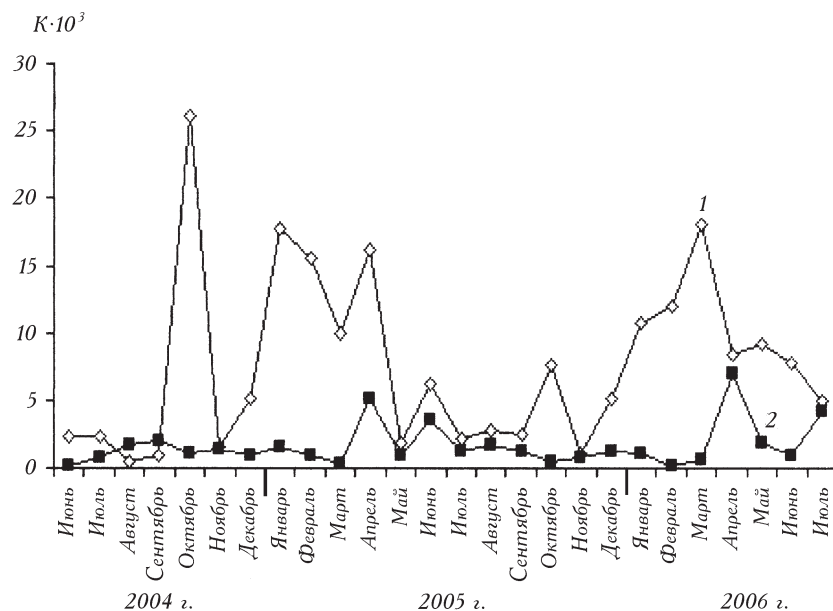


3. Сезонная динамика общей численности бактерий на русловой станции в различные годы.

весны к осени [3]. В пойменных водоемах и на некоторых русловых станциях, подверженных влиянию стоков рек, развитие бактериопланктона имеет иную динамику, достигая максимума, как правило, в период максимального накопления органического вещества — летом.

Тенденция к увеличению содержания бактерий от весны к осени, отмеченная на русловых станциях в конце 1990-х гг., подтвердилась в стационарных исследованиях в многоводные 2004 и 2005 годы. В 2003 и 2006 гг., водность которых была ниже, сезонные изменения численности и биомассы бактерий на данной станции имели такую же динамику развития, как в закрытых и полуоткрытых пойменных водоемах в конце 1990-х гг., достигая максимальных значений летом (рис. 3). Численность сапрофитных бактерий, более чувствительных к уровню содержания органического вещества и температуре, независимо от периода исследований и гидрологических условий, была самой высокой летом (см. табл. 1).

Круглогодичные исследования позволили отметить еще два существенных момента. Во-первых, в межсезонье развитие бактерий происходит дискретно, то есть их содержание при переходе от минимума к максимуму и наоборот в силу нестабильности гидрологического и антропогенного факторов, колеблется около некоей средней. Во-вторых, уровень развития бактериопланктона в зимний период достаточно высок и порой сопоставим с таковым весной, летом и осенью.



4. Влияние стока р. Сырец на величину и динамику коэффициента бактериальной сукцессии ($K \cdot 10^3$) в водохранилище.

Как уже отмечалось выше, коэффициент бактериальной сукцессии является весьма информативным для оценки пространственной и временной динамики развития бактериопланктона в водоеме. Стационарные исследования в районе стока р. Сырец, проведенные в 2004—2006 гг., свидетельствуют о том, что коэффициент бактериальной сукцессии также служит индикатором качества поступающего в водохранилище органического вещества. Величина данного показателя ниже устья реки была неизменно меньшей, что указывает на увеличение в бактериопланктоне доли быстрорастущих сапрофитных бактерий в результате возрастания содержания в воде биохимически подвижных аллохтонных органических соединений (рис. 4).

Временные изменения коэффициента бактериальной сукцессии на станции, расположенной выше устья р. Сырец, характеризуются высокими значениями с октября по май и низкими — в период активной вегетации биоты, следуя сезонной динамике ее развития. Под влиянием стока реки наблюдается отсутствие четких сезонных изменений величин данного показателя, что может быть связано только с неравномерностью аккумуляции в реке и выноса в водохранилище органических загрязнений.

Заключение

Резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть следующее. Уровень количественного развития бактериопланктона в верхней части Каневского водохранилища стабилизировался в 1990-х гг. На современном этапе бактериопланктон, сохраняя общий уровень и основные закономерности пространственно-времен-

ного распределения конца 1990-х гг., проявляет тенденцию к снижению вариабельности структурных показателей. При этом поступление воды из притоков, протекающих по урбанизированным территориям, оказывает существенное влияние на численность планктонных бактерий и на характер их сукцессии, что свидетельствует о наличии в водохранилище зон экологического риска.

**

Показано, що процес формування мікробіологічного режиму Канівського водосховища через низку обставин має інший характер порівняно з таким реєстри водосховищ дніпровського каскаду. У верхній частині Канівського водосховища рівень кількісного розвитку бактеріопланктону стабілізувався у 1990-х рр. На сучасному етапі бактеріопланктон, зберігши основні закономірності просторово-часового розподілу кінця 1990-х рр., проявляє тенденцію до зниження варіабельності структурних показників. Стаціонарні дослідження дозволили встановити, що надходження води з притоків, що течуть по урбанізованих територіях, може істотно впливати на чисельність планктонних бактерій і на характер їх сукцесії у водосховищі.

**

It has been shown that the process of the formation of the microbiological regime of the Kanev reservoir have essential differences from that one in other Dneper reservoirs. The level of the quantitative parameters of the bacterioplankton in upper site Kanev's reservoir was stabilized in beginning of 1990's. In contemporary time the main regularities of the spatial and temporal distribution of the bacterioplankton are preserving. In that time the lowering of the variability water bacteria's structural indices is being observed. Monitoring's investigations was shown that the inflow anthropogenic load from the tributary be able to affect on the planctonic bacteria's quantity and it's succession.

**

1. Гавришова Н.А., Черницкая Л.Н. Бактерио- и фитопланктон Киевского участка Каневского водохранилища в период его становления // Гидробиол. журн. — 1980. — Т. 16, № 4. — С. 10—19.
2. Гак Д.З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. — М.: Наука, 1975. — 254 с.
3. Головки Т.В., Якушин В.М., Тронько Н.И. Бактериопланктон Каневского водохранилища и его продукционные характеристики // Гидробиол. журн. — 2003. — Т. 39, № 4. — С. 58—65.
4. Жданова Г.А., Кошелева С.И., Олейник Г.Н. и др. Сравнительная оценка качества воды на речном участке Каневского водохранилища // Там же. — 1986. — Т. 22, № 5. — С. 50—53.
5. Кожевин А.П., Кочкина Г.А., Ягодина Т.Г., Звягинцев Д.Г. О критериях микробной сукцессии в почве // Микробиология. — 1980. — Т. 49, № 2. — С. 335—341.
6. Михайленко Л.Е. Бактериопланктон Днепровских водохранилищ. — Киев, 1999. — 298 с.
7. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. — М.; Л.: Наука, 1965. — 364 с.