

УДК 574.52 : 593.1

СВОБОДНОЖИВУЩИЕ ИНФУЗОРИИ УСИНСКОГО ЗАЛИВА
(КУЙБЫШЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ) В РАЗГАР ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО «ЦВЕТЕНИЯ»

© 2021 В.А. Андреева, С.В. Быкова, М.В. Уманская, Н.Г. Тарасова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

В работе приводится исследование свободноживущих инфузорий залива р. Усы (приток Куйбышевского водохранилища) в период массового развития цианобактерий. Изучалось разнообразие состава инфузорий в летнем планктоне, особенности его видовой структуры, пространственного распределения. Численность инфузорий в период исследования варьировала в пределах от 124 до 1176 тыс. экз./м³, биомасса – от 6,9 мг/м³ до 104,9 мг/м³. Достоверных различий сообществ инфузорий в разных экотопах залива (русло, побережье, заросли макрофитов) не выявлено. Однако в русловой части все показатели видового богатства и разнообразия, показатели количественного развития в среднем были выше, чем в литорали. Особенностью сообщества инфузорий Усинского залива в период цветения было массовое развитие представителей п/кл. Peritrichia (до 51 % численности и 66 % биомассы): одиночных (роды *Vorticella*, *Vaginicola*), ассоциированных с планктонными водорослями, и колониального свободноплавающего *Epistylis procumbens* Zacharias, 1897. Цветение воды существенно меняет структуру сообщества инфузорий: значительно уменьшается роль характерных для водохранилища трофических групп – альгофагов и неселективных всеядов при практически абсолютном доминировании бактерио-детритофагов. Показано, что на сообщество инфузорий в разгар цветения существенное влияние оказывают основные доминирующие виды цианобактерий.

Ключевые слова: свободноживущие инфузории, «цветение», цианобактерии, видовая структура, пространственное распределение, залив, водохранилище.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-127-134

Работа выполнена при частичной поддержке Губернского гранта в области науки и техники, утвержденного распоряжением Губернатора Самарской области от 30.06.2021 № 202-р. (грант № 38)

ВВЕДЕНИЕ

Река Уса, правобережный приток Волги, относится к равнинным рекам. Значительная ее часть (67 км из 143 км), находится в зоне подпора водами Куйбышевского водохранилища (Усинский залив). Заливы как более защищенные местообитания чаще и сильнее подвержены влиянию цианобактериального цветения.

*Андреева Вера Андреевна, инженер-исследователь лаборатории экологии простейших и микроорганизмов.
E-mail: begeta@mail.ru*

*Быкова Светлана Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов.
E-mail: svbykova514@gmail.com*

*Уманская Марина Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов.
E-mail: mvumansk67@gmail.com*

*Тарасова Наталья Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов.
E-mail: tnatag@mail.ru*

В связи с этим проблема влияния «цветения» на структуру планктонного сообщества в целом и в частности на его отдельные компоненты в заливах стоит наиболее остро.

По совокупности гидрологических, гидрохимических характеристик, структурных и продукционных показателей биоты, р. Уса относится к рекам, испытывающим умеренный антропогенный пресс с локальной повышенной нагрузкой в местах сброса сточных вод и в Усинском заливе [1]. Оценке ее современного состояния посвящен «Экологический паспорт...» реки, который представляет собой «комплекс данных, выраженных через систему показателей, отражающих экологическое благополучие водотока в соответствии с нормами охраны вод и требованиями к рекреационным зонам, регламентированными действующей научно-технической документацией» [1, с. 157]. Из биотических компонентов он включает следующие: фито-, метазоопланктон, зообентос и бактериопланктон. Инфузории как представители протозоопланктона являются довольно чувствительным компонентом план-

ктона и весьма ценным для оценки состояния водоема. Однако, в силу многих причин, они упускаются из виду при составлении документов, оценивающих состояние водоема.

Цель настоящей работы – оценить разнообразие состава инфузорий в летнем планктоне, особенности его видовой структуры в период активного цветения цианобактериями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование инфузорий проводили в рамках комплексной экспедиции ИЭВБ РАН с 15 по 18 августа 2012 г. в Усинском заливе от пос. Мироново до устья р. Усы (рис. 1); непосредственно в Куйбышевском водохранилище – лишь на станции ниже места впадения притока, напротив Яблоневого оврага. На русловых станциях отбор проб проводили батометром Дьяченко через каждые 2 м от поверхности до 10 метров и каждые 5 метров после 10 м до дна. В заливе, помимо интегральных русловых, отбирали литоральные пробы (из поверхностных горизон-

тов), часто в зарослевых экотопах: в Мироново – в зарослях ивы на правом берегу и камыша на левом берегу, в Голубой Гавани – в рогозе (правый берег), в Междуреченске – в зарослях разных макрофитов (правый берег) и осоке (левый берег). Глубины русловых станций в заливе по направлению к устью возрастали (табл. 1). Глубина на прибрежных участках не превышала 1,2 м. Количественный учет проводили на сулемовых препаратах. Объем пробы составлял 250 мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экологические условия в момент отбора проб. В период исследования температура воды в Усинском заливе составляла 23,9-25,2 °С и была выше, чем в водохранилище (табл. 1). Исследование пришлось на период массового развития синезеленых водорослей («цианобактериальное цветение»). Численность фитопланктона на отдельных станциях достигала 2,68 млрд кл./л., биомасса – 266 мг/л. Это во многом обусловило особые абиотические условия для развития ги-



Рис. 1. Схема района исследования

Таблица 1. Характеристика абиотических условий

Водоем	Пункт	Экотоп	Глубина, м	pH	T, °C	O ₂ , мг/л	O ₂ , %
Усинский залив	Мироново	русло	8,0	9.8	24,0	6,80	82
		прав. берег	0.8	9.8	24,0	7,96	94
		лев. берег	0.8	9.8	23.6	7,89	93
	Голубая Гавань	русло	11	9.8	25.2	8,30	101
		прав. берег	1,0	9.7	24.4	7,13	86
		лев. берег	0.8	9.8	24.4	7,11	85
	Междуреченск	русло	13	-	24,0	-	-
		прав. берег	1.2	9.4	24.4	6,42	77
		лев. берег	1,0	10	24.5	8,71	105
	т/б Жигули	русло	23,0	-	23.9	-	-
		лев. берег	0.8	9.9	24.3	9,30	111
	Устье р.Уса	русло	16,0	9.8	24.2	9,93	119
лев. берег		-	-	-	-	-	
Вдхр.	Яблоневый Овраг	русло	30,0	8.8	23.1	6,60	77

Примечание. «-» – отсутствие данных

добионтов. Активная реакция среды на всех станциях щелочная, причем в Усинском заливе рН выше, что очевидно обусловлено большим уровнем «цветения». В заливе, по сравнению с водохранилищем, более сильное «цветение» привело на некоторых станциях к перенасыщению кислородом водной толщи (до 119 %). Однако, на литоральных станциях содержание кислорода могло быть снижено, вплоть до его дефицита (ощущали запах сероводорода из придонного слоя воды в районе г. Междуреченск на правом берегу) (табл. 1). На водохранилищной станции более низкое содержание кислорода в районе Яблоневого оврага (табл. 1) вполне объяснимо локальными условиями (расположением поблизости комбината строительных материалов).

Видовое разнообразие. Всего в заливе в период исследования было зарегистрировано 37 видов, на водохранилищной станции – 18 (табл. 2). Сходство видового состава инфузорий отдельных станций несколько выше в русловой части, в то время как локальные литоральные сообщества на разных трансектах более своеобразны. Тем не менее, правобережное и левобережное сообщества в целом на 80 % сходны между собой по видовому составу, а с русловым сообществом – на 78 % и 64 %, соответственно. Большее ценотическое сходство отмечалось для «верхних» в заливе сообществ инфузорий (ст. Мироново и ст. Голубая Гавань, коэффициент Серенсена – 75 %) и «нижних» (ст. Устье Усы и ст. Яблоневый овраг, 70 %). Это свидетельствует в первом случае об устоявшемся сообществе собственно залива, а во втором – о значительном влиянии водохранилищных водных масс. Видовое разнообразие (по индексу Шеннона) по численности в среднем по станциям довольно схоже, лишь в русловой части залива среднее значение индекса Шеннона в пробе выше (3,25), чем в водохранилище (2,90) (табл. 2). «Левобережные» сообщества инфузо-

рий более разнообразны и выровнены (табл. 2) при меньшем количественном обилии.

Видовая структура. В период цветения основным средообразующим фактором для многих планктонных протистов и микрозоопланктона являются водоросли, что во многом способствует формированию специфических черт других компонентов планктона. Так, особенностью сообщества инфузорий Усинского залива в период цветения можно считать развитие в массовом количестве перитрих (п/кл *Peritrichia*) (51 % численности и 66 % биомассы): одиночных (роды *Vorticella*, *Vaginicola*), ассоциированных с планктонными водорослями и колониального свободноплавающего *Epistylis procumbens* Zacharias, 1897 (табл. 3). Представители р. *Vorticella* составляли 91 % численности и 80 % биомассы перитрих. Их идентификация в фиксированном состоянии невозможна, и на данном этапе проведена только до рода. Поскольку все выявленные представители р. *Vorticella*, относятся к довольно четко различающимся размерным фракциям (20-40 мкм, 40-60 мкм, >60 мкм), мы с достаточной степенью условности предполагаем их различную видовую принадлежность. Инфузории первой и третьей размерной фракции входят в доминантный комплекс практически на протяжении всего Усинского залива, однако *Vorticella* spp. размером 20-40 мкм занимают первую позицию на русловых станциях, а более крупные – чаще на литоральных.

Исследование колониального вида выявило устойчивый тренд уменьшения количества колоний *E. procumbens* и их вклада в общую численность и биомассу от верховьев залива к устью в разгар цветения. На первых трех трансектах (Мироново, Голубая Гавань, Междуреченск) колонии встречались во всех трех экотопах: правый берег, русло, левый берег. Перед впадением в водохранилище вид присутствовал только в

Таблица 2. Характеристика сообществ инфузорий в Усинском заливе 15-18.08.2012

Показатели	N	B	n	H_n	H_b	E_n	E_b	
Усинский залив	русло (5)*	851	40,7	31 (16)**	3,99 (3,25)	3,11 (2,55)	0,81 (0,81)	0,62 (0,65)
	правый берег (3)	623	53,2	25 (14)	3,19 (2,63)	2,35 (2,04)	0,69 (0,73)	0,48 (0,53)
	левый берег (5)	473	24,5	30 (13)	3,63 (2,89)	2,97 (1,99)	0,74 (0,78)	0,59 (0,52)
	в среднем литораль (8)	519	30,0	33 (13,4)	3,70 (2,79)	2,80 (2,01)	0,73 (0,76)	0,56 (0,52)
	в среднем Залив (13)	653	37,8	37(15)	3,89 (2,97)	2,96 (2,19)	0,73 (0,77)	0,56 (0,56)
Водоохранилище (1)	616	12,2	18	2,90	2,69	0,70	0,64	

Примечание. N – численность, тыс.экз./м³, B – биомасса, мг/м³, n – число видов, экз., H_n – индекс Шеннона по N , бит/экз., H_b – индекс Шеннона по биомассе, бит/экз., E_n – индекс Пиелу по численности, E_b – индекс Пиелу по биомассе; * – в скобках – число проб; ** – в целом для сообщества (в скобках – средние показатели в пробах)

Таблица 3. Состав структурообразующих (доминантов и субдоминантов, >1 %) видов сообщества инфузорий в Усинском заливе и Куйбышевском водохранилище

Виды	N, экз./л		Виды	B, мкг/л	
	абс.	%		абс.	%
Усинский залив (ст. 1 - ст. 5)					
<i>Vorticella</i> spp. (20-40 мкм)	168,9	25,9	<i>Vorticella</i> spp. (>60 мкм)	15,90	42,6
<i>Vorticella</i> spp. (>60 мкм)	105,8	16,2	<i>Rimostrombidium lacustris</i>	5,24	14,0
<i>Rimostrombidium lacustris</i> (Foissner, Skogstad et Pratt, 1988)	73,2	11,2	<i>Epistylis procumbens</i> Zacharias, 1897	4,72	12,6
<i>Coleps hirtus</i> (Muller, 1786)	39,7	6,1	<i>Vorticella</i> sp. (40-60 мкм)	2,34	6,3
<i>Halteria grandinella</i> (O.F. Muller, 1773)	38,8	5,9	<i>Vorticella</i> spp. (20-40 мкм)	1,40	3,7
<i>Rimostrombidium</i> spp.	37,8	5,8	<i>Didinium chlorelligerum</i>	1,06	2,8
<i>Vorticella</i> sp. (40-60 мкм)	28,9	4,4	<i>Frontonia atra</i> (Ehrb., 1833)	0,93	2,5
<i>Epistylis procumbens</i> Zacharias, 1897	19,4	3,0	<i>Frontonia</i> sp.	0,93	2,5
<i>Didinium chlorelligerum</i> Kahl, 1935	16,0	2,5	<i>Stentor</i> sp.	0,81	2,2
<i>Limnostrombidium viride</i> (Stein, 1867)	14,5	2,2	<i>Enchelys simplex</i> Kahl, 1926	0,81	2,2
Неидентифицированный вид	13,5	2,1	Неидентифицированный вид	0,46	1,2
<i>Urotricha</i> spp.	10,8	1,6	<i>Limnostrombidium viride</i>	0,45	1,2
<i>Chilodonella uncinata</i> (Ehrenberg, 1838)	9,2	1,4	<i>Amphileptus pleurosigma</i> (Stokes, 1884)	0,42	1,1
<i>Vaginicola crystallina</i> Entz., 1884	8,9	1,4			
<i>Balanion planctonicum</i> Foissner et al., 1994	8,0	1,2			
Водохранилище (ст. 6)					
<i>Chilodonella uncinata</i> (Ehrenberg, 1838)	230	37,3	<i>Rimostrombidium lacustris</i>	5,01	41,1
<i>Rimostrombidium</i> spp.	128	20,8	<i>Stentor</i> sp.	1,76	14,5
<i>Rimostrombidium lacustris</i>	70	11,4	<i>Chilodonella uncinata</i>	1,71	14,1
<i>Vorticella</i> spp. (20-40 мкм)	38	6,2	<i>Enchelys simplex</i> Kahl, 1926	1,17	9,6
<i>Urotricha</i> sp. 20-25mn	38	6,2	<i>Rimostrombidium</i> spp.	1,04	8,5
<i>Tintinnopsis cylindrata</i> Kof. et Cam., 1892	24	3,9	<i>Limnostrombidium viride</i>	0,43	3,5
<i>Balanion planctonicum</i>	20	3,2	<i>Vorticella</i> spp. (20-40 мкм)	0,35	2,9
<i>Limnostrombidium viride</i>	14	2,3	<i>Vorticella</i> sp. (40-60 мкм)	0,16	1,3
<i>Litonotus lamella</i> (Ehrb.) Schew.	10	1,6			
<i>Enchelys simplex</i> Kahl, 1926	8	1,3			
<i>Rhabdoaskenasia minima</i> Krainer & Foissner, 1990	8	1,3			
<i>Vaginicola crystallina</i>	8	1,3			

русловой части. В водохранилище в этот период он отсутствовал. Его морфометрические и функциональные характеристики представлены в табл. 4. Наиболее крупные колонии были зарегистрированы на правом берегу и в русловой части залива. Для сравнения: в период начала цветения (июнь 2021, наши данные) колонии *Epistylis* были значительно крупнее (табл. 4) и встречались на этом же участке Усинского залива с уменьшением числа колоний к устью. Возможно уменьшение такого показателя, как количество зооидов в колонии в разгар цветения является результатом «ограничивающего» влияния его длительности. Тем не менее, и в этот период вид способен формировать до 20 % общей биомассы. В ранг субдоминантов в Усинском заливе входит и гистофаг *Coleps hirtus* (Muller, 1786) (табл. 3), который способен раз-

виваться в особых микроаэробных условиях и активно участвует в разложении органического вещества (коэффициент сапробности S=2,7).

Доминантный комплекс инфузорий исследованной станции водохранилища после впадения Усы сочетает в себе типично водохранилищные (крупные и мелкие представители р. *Rimostrombidium*, *Tintinnopsis cylindrata*), нетипичный для водохранилища вид *Chilodonella uncinata* (Ehrenberg, 1838) (индекс сапробности S = 3,0) вспышка которого видимо локальна и обусловлена влиянием комбината строительных материалов, а также крупные (> 60 мкм) эпипланктонные виды р. *Vorticella*.

Трофическая структура. Явное преобладание (65-70 % численности и биомассы) бактериодетритофагов-фильтраторов (*Vorticella* spp.), питающихся гетеротрофными бактериями и

Таблица 4. Особенности развития *Epistylis procumbens* Zacharias, 1897 по акватории Усинского залива

Участки	Среднее число колоний	Среднее число зооидов в колонии	Средняя масса колонии, мкг	Вклад (N /B), %
<i>Начало цветения</i>				
Залив	55	21	0,536	3,0/47,5
Водохранилище	10	13,2	0,336	1,3/8,7
<i>Разгар цветения</i>				
Залив, русло (5)	24	9,7	0,263	2,6 / 20,2
Залив, правый берег (3)	14,7	12,4	0,334	2,1 / 7,8
Залив, левый берег (3)	29,3	6,4	0,172	0,7 / 2,3
Водохранилище	0	0	-	-

пикоцианобактерии, и гистофагов в Усинском заливе обусловлено процессами разложения, закономерно сопровождающими цианобактериальное цветение. В целом, цветение воды существенно меняет структуру инфузорного сообщества: значительно уменьшается роль характерных для водохранилища трофических групп – альгофагов и неселективных всеядов при практически абсолютном доминировании бактериодетритофагов (табл. 5). Интересен факт, что в планктоне не было обнаружено классических цианофагов (например, р. *Nassula*), однако они были встречены в микробных матах, всплывающих со дна и поднимающихся на поверхность в речной части Усы. Вклад инфузорий с симбиотическим водорослями в заливе ничтожно мал (1,4 % численности и 1,1 % биомассы). Это вполне объяснимо, поскольку уровень трофности водоема высок, прозрачность невысока и содержание кислорода, за небольшим исключением, благоприятно для гидробионтов, т.е. отсутствуют условия, провоцирующие развитие миксотрофов.

Пространственное распределение количественных характеристик сообщества. Максимальных значений показатели количественного развития инфузории достигали в районе ст. Голубая Гавань: численность (1176 тыс.экз./м³) – на русле и биомасса (102,94 мг/м³) – в зарослях на правом берегу (рис. 2, 3а, б). Минимальными и численность, и биомасса были чуть ниже по течению, в районе г. Междуреченск, особенно на правом берегу в зарослях (124 тыс.экз./м³ и 6,28

мг/м³, соответственно). Минимальные значения на разрезе Междуреченск – Комаровка предположительно можно объяснить последствиями возможных «заморных» явлений, которые в момент исследования не удалось зафиксировать (однако именно здесь регистрировались минимальные для залива значения содержания и насыщения кислородом (табл. 1) и запах сероводорода в придонном слое воды). Далее, начиная от Междуреченска, средние по трансектам значения показателей количественного развития к устью Усы нарастают (рис. 2а). Различия сообществ инфузорий между разрезами были недостоверны, за исключением сообщества в районе ст. Голубая Гавань, которое достоверно отличалось от остальных по биомассе (рис. 2а) за счет локального развития здесь крупных (>40-60 мкм) инфузорий р. *Vorticella*. Вариабельность сообществ (коэффициенты вариации) увеличивались по направлению к водохранилищу (рис. 3в). Сообщества инфузорий на правом, левом берегу и в русловой части между собой тоже отличались не достоверно (рис. 2б). Тем не менее, в русловой части все показатели видового богатства-разнообразия и показатели количественного развития в среднем были выше, чем в литорали (табл. 2). Вероятно, помимо явного предпочтения инфузориями русловой части, этот факт свидетельствует и о большей вертикальной гетерогенности (пробы с разных горизонтов), по сравнению с горизонтальной (пробы в разных экотопах акватории), сообществ в Усинском заливе.

Таблица 5. Трофическая структура сообществ инфузорий Усинского залива и водохранилища

Трофические группы	Численность, %			Биомасса, %		
	Усинский залив		Водохранилище	Усинский залив		Водохранилище
	литораль	русло		литораль	русло	
Альгофаги	27,8	26,8	39,9	31,0	20,5	63,6
Бактериодетритофаги	59,3	61,5	47,4	64,3	69,3	19,4
Гистофаги	7,4	4,2	0,3	0,8	0,6	0,1
Неселективные всеяды	2,9	4,8	10,7	0,3	5,6	16,3
Хищники	2,5	2,7	1,6	3,6	3,9	0,5

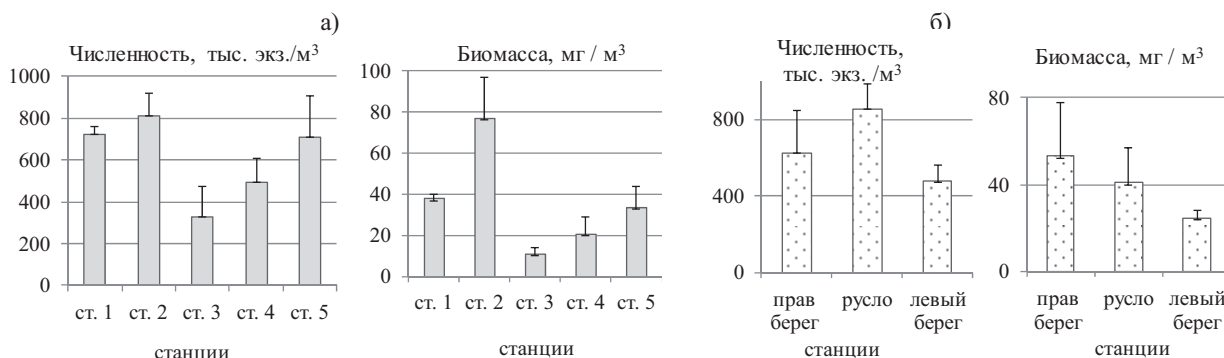


Рис. 2. Изменение средних значений численности и биомассы инфузорий (\pm стандартное отклонение) по трансектам вдоль по течению залива (а) и от правого берега к левому (б) 15-18.08.2012. Станции здесь и далее: ст. 1 – Мироново, ст. 2 – Голубая Гавань, ст. 3 – Междуреченск, ст. 4 – т/б Жигули, ст. 5 – Устье р. Уса, ст. 6 – Яблоневый Овраг

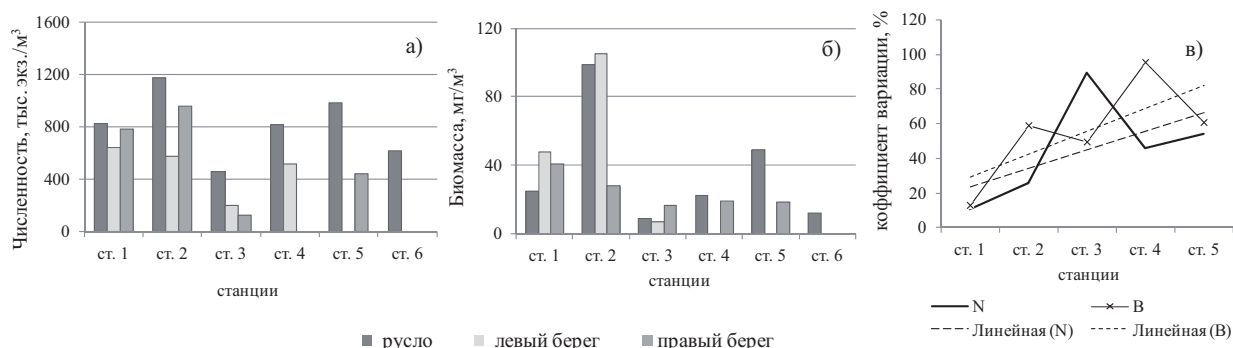


Рис. 3. Распределение численности (а), биомассы (б) по разным экотопам и их вариабельность (в) на станциях Усинского залива (ст. 1 - ст.5) и водохранилища (ст. 6) 15-18.08.2012

Гетерогенность распределения численности и биомассы инфузорий по акватории, вероятно, связана с морфометрией берегов и разной, в связи с нагонными явлениями, концентрацией цианобактерий. В целом, конфигурация залива, его ориентация в западно-восточном направлении, расположение в холмистой местности (Жигулевские горы берут начало от устья реки Усы (с горы Усинский курган, или Лепешка)), роза ветров (32,3 % направлений ветров с севера и северо-востока) и др., – все это, несмотря на полный охват «цветением» всей акватории, возможно, способствуют более мощным и частым, благодаря нагонным явлениям, скоплениям цианобактерий у правого берега. Пока это предположение на основе разового наблюдения.

Влияние «цветения» на сообщество инфузорий. Считается, что массовое «цветение» подавляет развитие других гидробионтов [2]. Как показали наши наблюдения, не все так однозначно. С одной стороны, максимумы численности и биомассы инфузорий зарегистрированы нами на тех станциях, где меньше общие численность (рис. 4а) и биомасса фитопланктона, хотя достоверных корреляций (ни положительных, ни отрицательных) выявлено не было.

Однако, при большем вкладе цианобактерий в суммарную биомассу фитопланктона, причем в основном, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. (доля вида в сообществе – >60 % численности и биомассы фитопланктона на ст. 2) и *Planktothrix agardii* Gomont (доля вида – до 41 % численности и 12 % биомассы фитопланктона на ст. 1), численность и биомасса инфузорий довольно велики, а на левом берегу с этим же составом цианобактерий, но при меньшем их количестве – показатели инфузорий значительно ниже. Однако на станции с максимальным количеством биомассы фитопланктона в целом (ст. Устье Усы, левый берег) и основным доминантом среди цианобактерий *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs (>92 % численности и биомассы фитопланктона) происходит снижение численности инфузорий (рис. 4а). Таким образом, не только численность цианобактерий, но и их видовой состав имеет значение. Что касается видовой разнообразия инфузорий, то индекс Шеннона (Hn) находится в противофазе с долей цианобактерий в общей биомассе фитопланктона (рис. 4б). Вероятно, это обусловлено большим доминированием и меньшей выровненностью в сообществах инфузорий в условиях явного преобладания цианобактерий в планктоне.

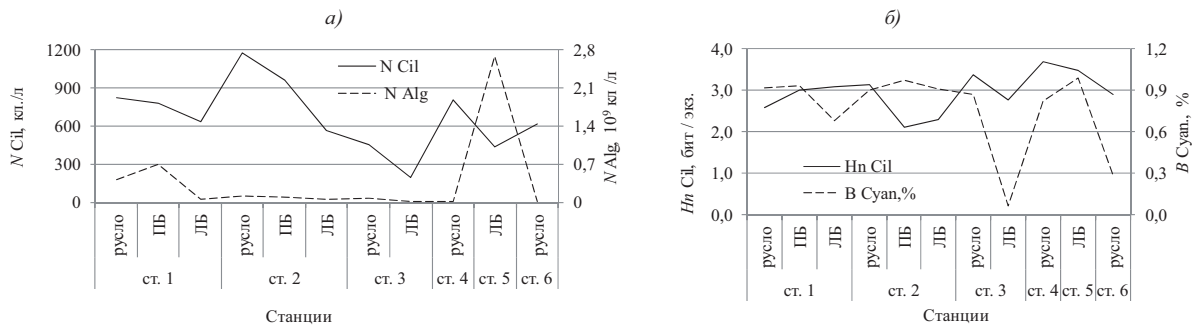


Рис. 4. Изменение численности инфузورий ($N\text{ Cil}$) и фитопланктона ($N\text{ Alg}$) (а), индекса видового разнообразия инфузورий ($Hn\text{ Cil}$) и доли цианобактерий по биомассе ($B\text{ Cyan}$) (б) вдоль акватории Усинского залива (ст. 1-5) и в водохранилище (ст. 6)

В целом, вполне обоснованно утверждение некоторых авторов, что цветение цианобактерий не обязательно влияет на инфузорий посредством токсинов; скорее, цианобактерии и токсины вызывают изменения в водной пищевой сети в целом [3], затрагивая и сообщество инфузорий. Наши натурные наблюдения показали, что, как и в экспериментах [3], численности инфузорий значительны (рис. 4а) в присутствии токсичных цианобактерий с высокой (*M. aeruginosa*) (ст. 2, русло) и чрезвычайно высокой концентрацией микроцистинов в клетках (*P. agardii*) (ст. 1), и снижаются в присутствии нетоксичного *A. flos-aquae* (ст. 4). Это отчасти подтверждает вывод Kosiba (2019), что микроцистины в клетках и растворенные в воде не наносят вреда инфузориям, даже когда их концентрации довольно высоки. Интересен факт, что и инфузории, и фитопланктон имели минимальные показатели количественного развития на разрезе Междуреченск – Комаровка.

Косвенная связь между цианобактериями и инфузориями может проявляться по-разному. С одной стороны, цветение цианобактерий может значительно стимулировать увеличение бактериальной продукции [4–6], которая является источником пищи для инфузорий-бактериодетритофагов. Бактерии, растущие на разных видах цианобактерий, могут быть специфичными и могут подавлять рост определенных видов инфузорий. Рост бактерий также может быть ограничен, когда происходит ограничение азота [7]. Присутствие *A. flos-aquae* указывает на дефицит азота в воде и может указывать на нехватку бактерий, что объясняет уменьшение численности инфузорий, как в эксперименте [3], так и в нашем исследовании (снижение численности инфузорий при явном доминировании *A. flos-aquae* на левом берегу ст. 5) (рис. 4б).

С другой стороны, цианобактерии способны продуцировать биологически активные соединения проявляющими антибактериальную, противовирусную, противогрибковую и противоопухолевую активность [8, 9] и могут быть ответственны за уничтожение некоторых

вредных микроорганизмов (вирусы, бактерии, патогенные микроорганизмы и т.д.), способствуя при этом развитию некоторых видов инфузорий. Так или иначе, в условиях цветения структура сообщества инфузорий бактерий и протистов сильно меняется [10]. Подтверждение тому – сильное различие водохранилищного сообщества инфузорий Куйбышевского водохранилища, в котором преобладают альгофаги и неселективные всеяды, и сообщества Залива с большим уровнем цианобактериального цветения, в котором доминируют эпипланктонные (ведущие прикрепленный образ жизни на планктонных водорослях) и колониальные бактериодетритофаги.

В целом, в заливе, защищенном (от ветрового волнения, перемешивания и т.д.) местообитании на контакте двух водных масс (речных и водохранилищных), создаются благоприятные условия для развития фитопланктона с явным преобладанием цианобактерий, которые, хоть и подавляют в некоторой степени развитие инфузорий, но в то же время являются мощным средообразующим фактором для них. Среди инфузорий преимущество получают колониальные и эпипланктонные виды, массовое развитие которых в разгар «цветения» ставит под сомнение однозначность прямого негативного влияния токсичности цианобактериального «цветения». В итоге, в этот период формируется специфическое сообщество инфузорий, состоящее из бактериоядных фильтраторов и гистофагов, способное при ограниченном развитии зоопланктона [2], активно участвовать в процессах разложения, особенно в разгар «цветения» водоема.

Благодарности. Авторы признательны научному сотруднику лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Ю.М. Ротарю за отбор проб для исследований инфузорий, Т.Н. Бурковой за отбор и обработку проб фитопланктона и всем сотрудникам ИЭВБ РАН, принимавшим участие в экспедиции и предоставившим данные по физико-химическим характеристикам воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинченко Т.Д., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Мунеев А.К., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Болотов С.Э., Курина Е.М., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Кузнецова Р.С., Михайлов Р.А., Попченко Т.В. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28. № 2. С. 156-188. DOI 10.24411/2073-1035-2019-10220.
2. Tirjaková E., Krajčovičová K., Illyová M., Vďačný P. Interaction of ciliate communities with cyanobacterial water bloom in a shallow, hypertrophic reservoir // Acta Protozoologica. 2016. V. 55. № 3. P. 173-188.
3. Kosiba J., Wilk-Woźniak E., Krztoń W. The effect of potentially toxic cyanobacteria on ciliates (Ciliophora) // Hydrobiologia. 2019. V. 827. № 1. P. 325-335.
4. Kuosa H., Kivi K. Bacteria and heterotrophic flagellates in the pelagic carbon cycle in the northern Baltic Sea // Marine ecology progress series. Oldendorf. 1989. V. 53. № 1. P. 93-100.
5. Sellner K. G. Physiology, ecology, and toxic properties of marine cyanobacteria blooms // Limnology and oceanography. 1997. V. 42. № 5 part 2. P. 1089-1104.
6. Sopanen S., Uronen P., Kuoppo P., Svensen C., Rühl A., Tamminen T., Legrand C. Transfer of nodularin to the copepod *Eurytemora affinis* through the microbial food web // Aquatic Microbial Ecology. 2009. V. 55. № 2. P. 115-130.
7. Casamatta D.A., Wickstrom C.E. Sensitivity of two disjunct bacterioplankton communities to exudates from the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* Kützing // Microbial Ecology. 2000. V. 40. № 1. P. 64-73.
8. Bhateja P., Mathur T., Pandya M., Fatma T., Rattan A. Activity of blue green microalgae extracts against in vitro generated *Staphylococcus aureus* with reduced susceptibility to vancomycin // Fitoterapia. 2006. V. 77. № 3. P. 233-235.
9. Skulberg O. M. Microalgae as a source of bioactive molecules—experience from cyanophyte research // Journal of Applied Phycology. 2000. V. 12. № 3. P. 341-348.
10. Pearman J. K. Casas, L., Merle, T., Michell, C., Irigoien, X. Bacterial and protist community changes during a phytoplankton bloom // Limnology and Oceanography. 2016. V. 61. № 1. P. 198-213.

FREE-LIVING CILIATES DURING THE PERIOD OF THE GREATEST CYANOBACTERIAL WATER BLOOM IN THE USINSKY BAY (KUIBYSHEV RESERVOIR)

© 2021 V.A. Andreeva, S.V. Bykova, M.V. Umanskaya, N.G. Tarasova

Samara Federal Research Center RAS, Institute of the Ecology of the Volga Basin RAS, Togliatti

The study of free-living ciliates in the Usinsky bay (the Kuibyshev reservoir) during the period of mass development of cyanobacteria are presented. The diversity of the ciliate species structure and spatial distribution were studied in summer. The abundance of ciliates varied from 124 to 1176 10³ ind./m³, biomass – from 6.9 mg/m³ to 104.9 mg/m³ during the study period. No significant differences in the communities of ciliates in different ecotopes of the bay (riverbed, open and overgrown by macrophytes coastal areas) were found. However, on average, in the riverbed part, all indicators of species richness and diversity, and quantitative development were higher than in the littoral zone. The massive development of representatives of s/cl. *Peritrichia* (up to 51 % of abundance and 66 % of biomass): single cells species associated with planktonic algae (genera *Vorticella*, *Vaginicola*), and colonial free-floating *Epistylis procumbens* Zacharias, 1897, was the distinctive feature of ciliate community in the Usinsky Bay during the period of greatest cyanobacterial bloom. Water bloom significantly changed the trophic structure of the ciliate community: the role of algophages and nonselective omnivores, ordinary trophic groups of the Reservoir was significantly reduced, and bacterio-detritophages became absolutely dominated. It was shown that the dominant species of cyanobacteria had a significant effect on the ciliate community during the cyanobacterial water bloom.

Key words: free-living ciliates, “water bloom”, cyanobacteria, species structure, spatial distribution, bay, reservoir.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-127-134

Vera Andreeva, Engineer-Researcher of the Laboratory of Protist and Microbial Ecology. E-mail: begema@mail.ru

Svetlana Bykova, Candidate of Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Protist and Microbial Ecology.

E-mail: svbykova514@gmail.com

Marina Umanskaya, Candidate of Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Protist and Microbial Ecology.

E-mail: mvumansk67@gmail.com

Natalya Tarasova, Candidate of Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Protist and Microbial Ecology.

E-mail: tnatag@mail.ru