

УДК 574.583(282.2:47)+574.5(282.2)

**ПЛАНКТОН И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ
НА РАЗНЫХ ТИПАХ ТЕРРИТОРИЙ
(на примере Воронежской области)**

**А.В. Крылов¹, А.В. Романенко¹, Д.В. Транквилевский²,
М.И. Чубирко³, Ю.И. Степкин²**

¹ *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
Россия, 1525742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: krylov@ibiw.yaroslavl.ru*

² *ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»
Россия, 394038, Воронеж, Космонавтов, 21
E-mail: dtrankvilevskij@yandex.ru*

³ *Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека по Воронежской области
Россия, 394038, Воронеж, Космонавтов, 21А*

Поступила в редакцию 15.01.09 г.

Планктон и экологическое состояние водотоков на разных типах территорий (на примере Воронежской области). – Крылов А.В., Романенко А.В., Транквилевский Д.В., Чубирко М.И., Степкин Ю.И. – Показаны различия сообществ бактерио- и зоопланктона малых и средних водотоков Воронежской области на территориях, выделенных по признакам развития природных процессов и последствиям хозяйственной деятельности человека. Наибольшее воздействие оказывает эродированность почв, а также загрязнение поверхностных вод промышленно-коммунальными стоками и ядохимикатами. На количественный и качественный состав планктона локальных участков водотоков влияет скорость течения, загрязнение органическими и биогенными веществами и степень зарастания макрофитами.

Ключевые слова: бактериопланктон, зоопланктон, число видов, численность, биомасса, территория водосбора.

Plankton and ecological status of water currents on territories of various types (with the Voronezh region as an example). – Krylov A.V., Romanenko A.V., Trankvilevsky D.V., Chubirko M.I., and Stepkin J.I. – Distinctions in the bacterioplankton and zooplankton communities of small and medium water currents in the Voronezh region on several territories selected on the basis of natural process development and human economic activity consequences are shown. The degree of soil erosion and surface waters pollution with artificial wastes and chemicals render the greatest influence. The quantitative and qualitative structure of the plankton in local sites of water currents is influenced by water flow speed, organic and biogenic pollution, and macrophyte development.

Key words: bacterioplankton, zooplankton, number of species, abundance, biomass, drainage region.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время пристальное внимание уделяется изучению гидрологического, химического и биологического режима малых и средних рек. Причин такому явлению несколько. Во-первых, по сравнению со всеми типами водных объек-

тов они относительно слабо изучены и оставляют достаточно широкое поле для деятельности по более полному представлению сведений о биоресурсном потенциале и биоразнообразии пресноводных экосистем. Во-вторых, результаты исследований на малых и средних реках позволяют раскрыть как вопросы фундаментальной экологии и гидробиологии, так и их важные прикладные аспекты – грамотную организацию мониторинга, природопользования и охраны природных объектов. В-третьих, экосистемы малых и средних рек наиболее быстро и ярко реагируют на антропогенные и естественные нарушения, а экологическое состояние водотоков тесно связано с ландшафтом бассейна, что обуславливает их уязвимость при чрезмерном использовании не только водных ресурсов, но и освоении водосбора (Чубирко и др., 2000). Таким образом, они являются индикаторами экологического состояния территорий в зависимости от интенсивности хозяйственной деятельности человека. Необходимо отметить, что в настоящее время малые и средние водотоки испытывают наиболее мощную рекреационную нагрузку, а в регионах с развитым и/или интенсивно развивающимся сельским хозяйством, к которым относится Воронежская область, – влияние избыточного поступления взвеси, органических и биогенных веществ.

Основная цель работы – анализ бактерио- и зоопланктона малых и средних рек Воронежской области на территориях водосборов, типизированных по условиям развития природных процессов и результатам последствий хозяйственной деятельности человека. Кроме этого в рамках работы исследовали реакцию планктона локальных участков рек на зарегулирование, точечное и рассеянное загрязнение, высокую степень зарастания макрофитами, изменение скорости течения воды, а также выявляли корреляционные связи между характеристиками развития бактерио- и зоопланктона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Первичный материал собран в мае и июне 2008 г. на 17 малых и средних реках Воронежской области. Обследовали участки среднего течения – выше зон разлива принимающей реки, чтобы исключить влияние водотоков-приемников. Основные сборы проводили на незарегулированных участках при скоростях течения не более 0.25 м/с; исключение составляли специальные сборы на отдельных участках водотоков с целью изучения реакции планктона на зарегулирование, точечное и рассеянное загрязнение, высокую степень зарастания макрофитами, изменение скорости течения воды.

Интегральные пробы бактериопланктона собирали мерным сосудом 1 л с разных биотопов медиали и рипали участка реки длиной 20 – 50 м (всего 10 л); на этих же биотопах с помощью ведра объемом 5 л через газ с размером ячеек 64 мкм процеживали от 40 до 100 л воды для сбора проб зоопланктона. Методом эпифлюоресцентной микроскопии с использованием флуорохрома ДАФИ (Porter, Feig, 1980) в лабораторных условиях были получены количественные и структурные характеристики бактериопланктона: численность, биомасса, доля групп бактерий, различающихся по форме и объему клеток. Камеральную обработку проб зоопланктона проводили согласно принятой в гидробиологии методике (Методика

изучения..., 1975). Для оценки состояния зоопланктона использовали широко применяемые характеристики: число видов, численность, биомасса, доля таксономических групп, индексы видового разнообразия Шеннона (рассчитанные по численности и по биомассе), сапробности Пантле – Букк в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Sladeček, 1971), коэффициент трофности (Мязметс, 1980).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Бактерио- и зоопланктон рек территорий, типизированных по развитию природных процессов. Было выделено VI типов водосборных площадей (Смольянинов и др., 2007). Территории I и II типов (по которым протекают реки Хава, Усманка, Хворостань, Игорец, Березовка, Токай, Елань, Савала, Карачан) отличаются малой степенью развития почвенно-эрозийных процессов и зарастающей макрофитами рипалью. На водосборах III – V типов (реки Ведуга, Девица, Потудань, Черная Калитва, Богучарка) отмечена относительно высокая крутизна склонов и слабая залесенность, что вызывает интенсивные почвенно-эрозийные процессы. На территории VI типа (реки Толучеевка, Белая) – крутые склоны, распространены меловые породы и ледниковые суглинки, развиты почвенно-эрозийные процессы.

К сожалению, не были собраны пробы бактериопланктона на водотоках территории I типа. На реках большинства исследованных территорий численность и биомасса микроорганизмов существенно не отличалась, минимальные величины были характерны для водотоков территории VI типа, характеризующихся наибольшими скоростями течения из-за крутых уклонов русел (табл. 1). По величинам численности микроорганизмов реки территорий II – V типов характеризовались как «умеренно загрязненные», реки территории VI типа – «удовлетворительной чистоты» (Оксиук и др., 1993). Основу общей численности и биомассы бактериопланктона на реках большинства территорий составляли одиночные свободноживущие бактерии – соответственно 62.2 – 86.7 и 47.6 – 59.9%. Однако на водотоках территорий III – VI типов их доля была минимальной, здесь заметно возрастала роль палочковидных форм размером ≥ 2.5 мкм и бактерий, ассоциированных с частицами детрита – соответственно 17 – 50.6 и 44.3 – 50.6% против 12.3 и 34.4% на реках территории II типа.

Максимальным разнообразием отличался зоопланктон рек, протекающих по территории I типа, в водотоках на других типах водосборов разнообразие было крайне низким (табл. 2). Основу видового состава зоопланктонов в реках территорий I и II типов составляли ветвистоусые ракообразные, на остальных – коловратки.

Наибольшие численности зоопланктона отмечены в реках с водосборами II и IV типов, наименьшие – VI (см. табл. 2). Основу численности в реках на территории I типа составляли Cladocera при доминировании *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller); на территориях II – III типов – Copepoda за счет массового развития ювенильных Cyclopoida, *Eucyclops serrulatus* (Fischer); на территориях IV – V типов – Rotifera за счет представителей рода *Euchlanis*; на территории VI типа обилие всех таксономических групп беспозвоночных было примерно одинаковым, доминировали циклопы ювенильных стадий, *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Pleuroxus aduncus* (Jurine).

Таблица 1

Средние величины показателей развития бактериопланктона рек на территориях, выделенных по развитию природных процессов

Показатель		Тип территории				
		II	III	IV	V	VI
Численность, 10^3 кл/мл	Одиночные	4620.8	3160.5	2599.5	3007.9	1929.0
	На детрите	475.9	1812.0	333.5	3007.9	287.7
	Нити	12.2	5.1	17.2	5.7	4.4
	Микроколонии	39.7	1.7	2.9	10.1	3.2
	Палочковидные	179.3	100.3	202.7	91.5	130.8
	Всего	5327.8	5079.5	3155.7	6123.1	2355.1
Биомасса, мг/м ³	Одиночные	456.5	317.8	393.4	276.7	210.3
	На детрите	45.1	164.8	22.6	231.6	27.3
	Нити	41.4	12.2	37.9	10.4	11.2
	Микроколонии	2.4	0.8	0.2	0.4	1.2
	Палочковидные	216.9	107.5	268.8	62.7	150.0
	Всего	762.3	603.1	722.8	581.8	400.0
Объем, мкм ³	Одиночные	0.110	0.102	0.149	0.092	0.109
	На детрите	0.107	0.083	0.068	0.077	0.095
	Нити	2.776	2.802	2.186	1.811	2.567
	Микроколонии	0.052	0.167	0.039	0.042	0.393
	Палочковидные	1.221	1.016	1.337	0.685	1.146

По биомассе первенствовали сообщества рек на территориях II и I типов (см. табл. 2). Основу биомасс зоопланктона водотоков с водосборами I, II, V и VI типов составляли ветвистоусые рачки за счет развития представителей семейства *Chydoridae* и *Scapholeberis mucronata*. В реках территорий III и IV типов преобладали веслоногие ракообразные при доминировании науплиусов и копепоидов *Cyclopoida*, *Eucyclops serrulatus*, *E. macrurus* (Sars), *E. macruroides* (Lilljeborg), *Macrocyclus albidus* (Jurine).

Таблица 2

Средние величины показателей развития зоопланктона рек на территориях, выделенных по развитию природных процессов

Тип	Sp	N	B	От общей N, %			От общей B, %			H _N	H _B	S	E
				Rotifera	Copepoda	Cladocera	Rotifera	Copepoda	Cladocera				
I	14	9523	0.145	8.0	35.5	56.5	1.1	19.8	79.1	2.97	2.59	1.72	0.6
II	7	12957	0.483	18.7	45.9	35.4	6.3	37.7	56.0	2.13	1.79	1.63	1.0
III	6	962	0.010	35.0	47.1	17.8	14.2	50.3	35.5	2.01	1.63	1.71	1.5
IV	6	12831	0.046	58.3	40.3	1.4	28.7	65.3	6.0	1.51	1.63	1.14	1.2
V	5	4280	0.031	50.7	31.9	17.3	6.0	42.3	51.7	1.90	1.15	1.66	2.9
VI	4	413	0.002	34.3	30.0	35.7	10.1	30.6	59.3	2.07	1.26	1.56	2.3

Примечание. Sp – число видов; N – численность, тыс. экз./м³; B – биомасса, г/м³; H_N – индекс Шеннона, рассчитанный по численности; H_B – индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе; S – индекс сапробности; E – коэффициент трофности.

В большинстве водотоков отмечена низкая выравненность сообществ по биомассе, лишь реки территорий I и II типов отличались относительно высокими ве-

личинами индекса Шеннона (см. табл. 2). По индексу сапробности воды рек на всех типах территорий характеризовались как β -мезосапробные, а по величине коэффициента трофности водотоки с водосборами I типа относились к мезотрофным, II – к мезо-эвтрофным, III – VI – к эвтрофным (см. табл. 2).

Бактерио- и зоопланктон рек на территориях, типизированных по результатам последствий хозяйственной деятельности человека на природную среду. Территория области была разделена на пять типов (Смолянинов и др., 2007), на четырех из которых были проведены исследования (II – V). Территория II типа (по которому протекают реки Ведуга, Трещевка, Девица, Потудань) характеризуется высоким показателем эродированности почв, однако здесь небольшие показатели безвозвратных потерь водных ресурсов и загрязнения поверхностных вод. Территория III типа (реки Черная Калитва, Богучарка, Толучеевка) отличается наибольшим ухудшением качества земельных ресурсов. На территории IV типа (реки Усманка, Хава, Хворостань, Токай, Елань, Савала, Карачан) низкий показатель эродированности почвы и площади оврагов. Необходимо отметить, что большая часть исследованных участков рек, протекающих по территории IV типа, отличались медленным течением воды и обилием зарослей высших водных растений. Территория V типа (реки Березовка, Икорец, Белая) характеризуется крутыми склонами и ухудшением состояния водных ресурсов за счет сокращения подземного стока.

Наиболее высокие численности и биомассы бактерий были зарегистрированы в реках на территории IV типа, низкие – соответственно III и V типов (табл. 3). По величинам общей численности микроорганизмов реки территорий III и V типов относились к «слабо загрязненным», реки территорий II и IV типов – к «умеренно загрязненным» (Оксиук и др., 1993). Основной вклад в общую численность и биомассу микроорганизмов вносили одиночные свободноживущие клетки – 62.2 – 86.4 и 52.5 – 62.0% соответственно. Однако в водотоках, протекающих по территориям с высоким показателем эродированности почв (II тип территорий) и ухудшением качества земельных ресурсов (III тип территорий) существенную долю составляли палочковидные формы размером ≥ 2.5 мкм и развивающиеся на детрите клетки: 31 и 37.6% от общей численности и 43.4 и 45.1% от общей биомассы. В то же время на водотоках с низким показателем эродированности почв и площади оврагов на водосборах (IV тип территорий) их доля была соответственно 12.8 и 32.9%, а при повышенных скоростях течения (V тип территорий) они составляли соответственно 15.4 и 34.8%.

Наибольшее число видов зоопланктеров зафиксировано в реках с водосборами IV и V типов, при этом в водотоках территории IV типа основу составляли ветвистоусые ракообразные, на остальных – коловратки (табл. 4).

Зоопланктон рек исследованных территорий различался по численности: наибольшие величины характерны для водотоков территории IV типа, наименьшие – II и V типов (см. табл. 4). Основу численности зоопланктеров в реках с водосборами II и IV типов составляли веслоногие ракообразные, доминировали науплиусы и копепоиды циклопов, *Eucyclops serrulatus*, *E. macrurus*, в реках с водосборами III типа – коловратки за счет представителей родов *Keratella*, *Brachionus*, *Euchlanis*,

ПЛАНКТОН И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ

Mytilina mucronata (Müller), *Cephalodella catellina* Müller, V типа – коловратки и веслоногие рачки при господстве *Euchlanis dilatata*, *Notholca acuminata* (Ehrenberg), *Eucyclops serrulatus*.

Таблица 3

Средние величины показателей развития бактериопланктона рек на территориях, выделенных по результатам последствий хозяйственной деятельности человека

Показатель		Тип территории			
		II	III	IV	V
Численность, 10 ³ кл/мл	Одиночные	3160.5	2534.0	5210.3	3645.5
	На детрите	1812.0	990.7	590.5	497.0
	Нити	5.1	11.1	13.0	17.0
	Микроколони	1.7	4.8	38.5	44.5
	Палочковидные	100.3	156.9	178.9	176.6
	Общее	5079.5	3697.4	6031.3	4380.4
Биомасса, мг/м ³	Одиночные	317.8	318.4	519.9	319.0
	На детрите	164.8	76.0	55.8	26.3
	Нити	12.2	24.3	40.4	61.3
	Микроколони	0.8	0.5	2.2	4.4
	Палочковидные	107.5	187.6	219.7	179.3
	Общее	603.1	606.8	837.9	590.2
Объем, мкм ³	Одиночные	0.102	0.125	0.112	0.089
	На детрите	0.083	0.077	0.112	0.061
	Нити	2.802	2.187	2.583	3.574
	Микроколони	0.167	0.128	0.050	0.093
	Палочковидные	1.016	1.126	1.229	1.073

Максимальные биомассы зоопланктона зарегистрированы в реках территории IV типа, где наибольшего обилия достигали Cladocera за счет развития *Chydorus sphaericus*, *Scapholeberis mucronata*, *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller), *Ceriodaphnia pulchella* Sars (см. табл. 4). В водотоках остальных типов территорий биомасса была меньше в 18 – 55 раз, преобладали Copepoda, доминировали копепоиды циклопов, представители родов *Eucyclops* и *Macroscyclops*. Исключение составлял зоопланктон рек, протекающих по территории V типа, где основу биомассы составляли ветвистоусые рачки за счет развития представителей семейства хидорид.

Таблица 4

Средние величины показателей развития зоопланктона рек на территориях, выделенных по результатам последствий хозяйственной деятельности человека

Тип	Sp	N	B	От общей N, %			От общей B, %			H _N	H _B	S	E
				Rotifera	Copepoda	Cladocera	Rotifera	Copepoda	Cladocera				
II	6	962	0.010	35.0	47.1	17.8	14.2	50.3	35.5	2.01	1.63	1.71	1.5
III	5	7589	0.031	50.4	35.6	14.0	18.3	50.9	30.8	1.75	1.42	1.58	1.9
IV	8	15193	0.550	13.6	46.9	39.6	2.9	37.1	60.0	2.22	1.92	1.66	0.7
V	7	1180	0.015	36.6	36.3	27.1	18.9	31.4	49.7	2.14	1.59	1.55	2.0

Примечание. Условные обозначения см. табл. 2.

Наибольшие величины индекса Шеннона были характерны для сообществ рек, находящихся на территории IV типа (см. табл. 4). По индексу сапробности воды рек всех типов территорий относились к β -мезосапробным, по величине коэффициента трофности – к эвтрофным, исключение составляли водотоки на территории IV типа, характеризующиеся как мезотрофные (см. табл. 4).

Таблица 5

Корреляционные зависимости развития бактерио- и зоопланктона ($P \leq 0.05$)

Бактерио- Зоо-		Sp				N				B				$N_{Ros},\%$	$B_{Ros},\%$	H_N	H_B	E
		Rot.	Cop.	Clad.	Bcero	Rot.	Cop.	Clad.	Bcero	Rot.	Cop.	Clad.	Bcero					
Численность	Общая	–	0.57	–	0.59	0.81	0.80	0.82	0.81	0.79	0.78	0.79	0.79	–	–	0.52	–	–
	Одиночные	–	0.63	0.50	0.66	0.84	0.84	0.85	0.84	0.82	0.82	0.82	0.82	–	–	0.56	–	–
	На детрите	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.54	0.53	–	–	0.73
	Нити	0.52	–	0.45	0.59	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.50	0.49	–
	Микроколонии	–	0.69	–	0.50	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	–	–	0.47	–	–
	Палочковидные	–	–	0.50	0.49	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.51	–
Биомасса	Общая	0.70	–	0.48	0.62	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.53	0.54	–
	Одиночные	0.65	–	0.47	0.56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.45	0.54	–
	На детрите	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.54	0.65	–	–	0.75
	Нити	–	0.69	–	0.56	0.89	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	–	–	0.53	–	–
	Микроколонии	–	0.64	–	0.50	0.84	0.83	0.84	0.84	0.83	0.82	0.83	0.83	–	–	0.50	–	–
	Одиночные	–	–0.65	–	–	–0.52	–0.53	–0.54	–0.53	–0.53	–0.53	–0.53	–0.53	–	–	–	–	–
Объем	Нити	–	0.70	–	–	0.88	0.88	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	–	–	–	–	–
	Микроколонии	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.67	–	–	–

Примечание. Rot. – Rotifera; Cop. – Copepoda; Clad. – Cladocera; прочерк – отсутствие достоверных корреляционных связей. Остальные условные обозначения см. табл. 2.

Бактерио- и зоопланктон локальных участков водотоков. Среди основных факторов, оказывающих влияние на зоопланктон локальных участков рек, в первую очередь необходимо назвать скорость течения. Так, при замедлении скорости течения с ~ 0.25 до ~ 0.05 – 0.1 м/с в толще воды возрастала численность и биомасса бактерий (с 5779 до 11171×10^3 кл/мл и с 654 до 1250 мг/м³), в зоопланктоне увеличивалось число видов (с 7 до 19), возрастала его численность (с 0.7 до 14.1 тыс. экз./м³), биомасса (с 0.06 до 0.16 г/м³) и доля Cladocera (с 0 до 56% по численности и с 0 до 85% по биомассе). Кроме того, повышалась выравненность (до величин индекса Шеннона >2.0 бит), величина коэффициента трофности (до показателей, характерных для эвтрофных вод), доля индикаторов высокотрофных вод. Впрочем, все эти изменения были вызваны не просто снижением скорости потока, но усилением процессов седиментации и влиянием избыточного количества биогенных и органических веществ, поступающих с водосборов, на большинстве которых ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность без соблюдения водоохраных зон. Все это вызывало увеличение степени зарастания макрофитами участков рек с медленным течением воды, на которых развивались фитопильные виды – *Scapholeberis mucronata*, *Simocephalus vetulus*, *Ceriodaphnia pulchella*. При увеличении скорости течения до величин более 0.25 м/с в планктоне наблюдались обратные процессы изменений.

Кроме этого, на планктон и экологическое состояние рек оказывало влияние прямое и рассеянное поступление сточных вод. В частности, в черте г. Россошь в

р. Черная Калитва по сравнению с участком водотока выше населенного пункта возрастала численность (в 1.6 раза) и биомасса (в 1.8 раза) бактериопланктона. При изучении влияния сточных вод г. Усмань (Липецкая область) на экологическое состояние р. Усманка выяснено, что они способствуют практически 100%-ному зарастанию участка реки (не менее 150 м) макрофитами. Среди зарослей высших водных растений наблюдалась высокая численность и биомасса бактерио- и зоопланктона (15364×10^3 кл/мл и 240 тыс. экз./м³, 1148 мг/м³ и 9.4 г/м³ соответственно), в зоопланктоне, кроме крупных фитофильных рачков, доминировали индикаторы вод с высоким содержанием органических и биогенных веществ – коловратки р. *Brachionus* (до 38% от общей численности). Формирование мощной буферной зоны из зарослей макрофитов и зоопланктеров-фильтраторов способствовало интенсивному биологическому самоочищению загрязняемых вод. Благодаря этому на территории Воронежской области (Воронежский государственный биосферный заповедник) в реке снижалась численность бактерий, в том числе и клеток, развивающихся на детрите, зоопланктеров (до 3390×10^3 кл/мл и 0.2 тыс. экз./м³ соответственно), биомасса (до 672 мг/м³ и 0.001 г/м³ соответственно), доля ветвистых рачков (до 12.5%) и индикаторов загрязненных вод (до 6.5%). Однако зарегулирование стока реки в районе центральной усадьбы заповедника вызывало увеличение количества планктонных организмов, что особенно ярко проявлялось в сообществе бактериопланктона, численность которого возрастала до 6607×10^3 кл/мл, биомасса – до 1118 мг/м³, в то время как численность зоопланктона увеличивалась лишь до 1.0 тыс. экз./м³, биомасса – до 0.01 г/м³.

Корреляционные зависимости между показателями бактерио- и зоопланктона. Как известно, бактерио- и зоопланктон имеют тесную трофическую связь. Результаты наших исследований показывают, что увеличение общей численности бактерий способствует возрастанию числа видов, численности и биомассы всех таксономических групп зоопланктеров и выравниваемости сообществ (табл. 5). При этом роль клеток, отличающихся по форме и объему, различна. В частности, ведущее значение имеет численность и биомасса микроколоний, численность одиночных и нитевидных клеток. В свою очередь, трофическая деятельность зоопланктеров способствует преобладанию одиночных клеток, отличающихся меньшим объемом, а также наиболее крупных форм нитевидных клеток. Увеличение коэффициента трофности, а также доли коловраток в общей численности и биомассе зоопланктона – показателей, характеризующих изменения сообществ зоопланктона при повышении степени органической нагрузки, – происходит на фоне возрастания численности и биомассы бактериальных клеток на детрите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности развития природных процессов и последствий хозяйственной деятельности человека на исследованных территориях водосборов в пределах Воронежской области оказывали влияние на развитие сообществ бактерио- и зоопланктона малых и средних водотоков. В частности, планктон рек, протекающих по территориям с малыми уклонами, в условиях слабых почвенно-эрозионных процессов характеризовался наибольшим количественным и качественным составом.

вом, формирующимся и благодаря зарослям высших водных растений, среди которых в зоопланктоне преобладали ветвистоусые рачки, доминировали индикаторы мезотрофных вод. В реках, находящихся на территориях, отличающихся крутизной склонов, наличием интенсивных почвенно-эрозионных процессов, сообщества зоопланктона отличались низким разнообразием видов, численностью и биомассой, доминированием индикаторов мезо- и эвтрофных вод, лидирующее положение занимали коловратки и/или веслоногие ракообразные, ведущие прикрепленно-плавающий образ жизни, в бактериопланктоне наблюдалась тенденция повышения доли палочковидных форм размером ≥ 2.5 мкм и развивающихся на детрите клеток, а в условиях высоких скоростей течения – снижения численности и биомассы микроорганизмов.

Из последствий хозяйственной деятельности человека наибольшее воздействие оказывала эродированность почв, т.е. количество взвеси, поступающей в результате антропогенных нарушений, а также загрязнение поверхностных вод стоками и ухудшение качества земельных ресурсов. В реках, протекающих по территориям, где самая большая доля загрязняемых вод, степень почвенно-эрозионных процессов и ухудшение качества земельных ресурсов, в зоопланктоне зарегистрирована относительно высокая численность организмов за счет развития коловраток, в том числе и индикаторов высокой степени органической нагрузки, низкая выравненность сообществ; в бактериопланктоне повышалась доля палочковидных форм размером ≥ 2.5 мкм и развивающихся на детрите клеток. Максимальное количественное и качественное развитие бактерио- и зоопланктона наблюдалось на территории, характеризующейся низкими показателями эродированности и невысоким процентом загрязнения поверхностных вод. На водотоках этой группы отмечены черты организации зоопланктеров, характерные для относительно чистых вод: основу сообществ по численности составляли Copepoda, по биомассе – Cladocera, коэффициент трофности соответствовал мезотрофным водам, зарегистрированы максимальные величины индекса Шеннона, а среди микроорганизмов обнаружена минимальная доля палочковидных форм размером ≥ 2.5 мкм и развивающихся на детрите клеток. Необходимо напомнить, что при определении экологического состояния пресных вод на основе анализа сообществ бактериопланктона в качестве одного из основных критериев рекомендуется использовать общую численность микроорганизмов (Оксиук, 1993). Однако при исследованиях водотоков этот показатель должен применяться осторожно. Так, например, при анализе рек, протекающих по территории IV типа, выделенной по результатам последствий хозяйственной деятельности человека, где низкий показатель эродированности почвы, площади оврагов и загрязненных вод, но и меньшие уклоны, и, соответственно, минимальные скорости течения, бактериопланктон отличался высокими численностями и характеризовал воды, как «умеренно загрязненные». В то же время бактериопланктон рек на территориях с высоким показателем почвенно-эрозионных процессов и/или загрязнения поверхностных вод, но и с более крутыми склонами и, как следствие, большими скоростями течения отличался меньшей численностью и характеризовал воды как «слабо загрязненные». То есть основным фактором, оказывающим влияние на количество бактериопланктона, выступала

скорость течения и благодаря ее меньшим величинам и, соответственно, активным процессам седиментации, на реках территории IV типа численность микроорганизмов была больше. И в данном случае показателем экологического состояния рек может выступать доля развивающихся на детрите и палочковидных клеток размером ≥ 2.5 мкм. Таким образом, при анализе экологического состояния малых и средних рек по численности микроорганизмов необходимо учитывать гидрологический режим и для получения наиболее корректных результатов сравнивать участки с одинаковыми скоростями течения. При определении качества среды на разнотипных по скорости течения участках рек или целых водотоков в качестве основного показателя может использоваться обилие палочковидных (размером ≥ 2.5 мкм) клеток и бактерий, связанных с детритом.

На количественный и качественный состав бактерио- и зоопланктона локальных участков малых и средних рек основное влияние оказывает рассеянное и точечное загрязнение органическими и биогенными веществами, изменение скорости течения и степени зарастания макрофитами, точно так же, как это характерно для водотоков бассейна Волги (Крылов, 2005; Крылов и др., 2003).

Количественное развитие сообществ зоопланктона исследованных водотоков зависит от обилия бактериопланктона и, одновременно, выступает в роли фактора, определяющего представленность групп бактерий, выделенных по форме и объему клеток.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №08-04-99024-р_офи).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
- Крылов А.В., Моржухина С.В., Романенко А.В. Влияние антропогенной нагрузки на качество воды и состояние сообществ планктонных организмов малой реки (р. Сестра, Московская обл.) // Биол. внутр. вод. 2003. №1. С. 58 – 65.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Мязметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. С. 54 – 64.
- Оксиюк О.П., Жуковский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
- Смолянинов В.М., Дегтярев С.Д., Щербинина С.В. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов Воронежской области. Воронеж: Истоки, 2007. 133 с.
- Чубирко М.И., Мамчик Н.П., Махотин Г.И., Новиков Ю.В. Охрана водных ресурсов: Учеб. пособие / Центр Госсанэпиднадзора в г. Воронеже. Воронеж, 2000. 416 с.
- Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96, № 18. S. 604.
- Porter K.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25, № 5. P. 943 – 948.
- Sladeček V. System of Water Quality from the Biological Point View // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergbn. Limnol. Stuttgart, 1971. № 7. S. 1 – 218.