

УДК 574.57: 524; 504. 064

## Индикационные показатели планктонных сообществ реки Сож

О.В.КОВАЛЕВА, И.Ф.РАССАШКО

В любом водоеме или водотоке между населяющими его организмами складываются определенные отношения. При его "нормальном" функционировании, т.е. при отсутствии вмешательства извне, не обнаруживается существенных изменений в составе и количественных показателях сообществ. Любой вид антропоического воздействия на природные водные комплексы приводит к изменению среды обитания гидробионтов, к функциональной перестройке его экосистемы. В последнее время в работах разных авторов [1, 3, 4, 6, 8] обосновывается возможность использования индикационных показателей зоопланктонного сообщества при оценке состояния водных экосистем, испытывающих антропоический пресс. Некоторые авторы [6, 8] отмечают, что при евтрофировании снижается число видов планктонных ракообразных и увеличивается количество таксонов коловраток. Исследования разных авторов [5, 8, 18, 19] показывают, что загрязнение водоемов приводит к обеднению видового состава зоопланктона. На участках р. Днепр, испытывающих антропоический пресс в виде хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, происходит снижение видового разнообразия зоопланктона [2]. При исследовании зоопланктона р. Иртыш установлено, что увеличение степени загрязнения реки приводит к снижению общего количества видов и нарушению видового состава [11]. По данным О.Ю. Деревенской и Н.М. Мингазовой [8] при загрязнении водоемов уменьшается видовое разнообразие, а при высоком уровне загрязнения озер видовой состав зоопланктона обедняется в 1,5-3 раза. При изучении воздействия сточных вод на экосистемы нижнего течения реки Рейн авторы [16] наблюдали снижение разнообразия видов. Согласно [19], в водах, испытывающих воздействие городских стоков Марселя, видовой состав зоопланктона сильно обедняется. В заливе Элефсис [19] на станции, загрязненной городскими стоками, где отмечалась высокая концентрация биогенных элементов, наблюдались более низкие величины индекса видового разнообразия. По невысоким величинам этого индекса к категории "грязных" были отнесены воды Куйбышевского водохранилища [9]. Вместе с тем, Наккари [20] указывает, что в интенсивно загрязняемых стоками водах общее число видов зоопланктона возрастает по мере удаления от сильно загрязненных станций. Сходный характер изменений в сообществах зоопланктона при загрязнении и евтрофировании вод отмечается и другими авторами для различных водоемов и водотоков.

Из индикационных показателей зоопланктона, кроме выше указанных, в настоящее время широко применяются и другие. Большой их перечень, рекомендуемый для системы мониторинга, приведен в работе И.Н. Андронниковой [1].

Настоящие исследования проведены в течение 1996 г. на 9 станциях р. Сож, расположенных выше (станция 1), в черте (станции 2, 3, 4 – прибрежная, 4а – по руслу реки) и ниже г. Гомеля (станции 5, 5а, 6, 6а). Частота наблюдений – 1-4 раза в месяц, за исключением станции 1, где в июле имели место ежедневные наблюдения. Сбор и обработка проб выполнены стандартными методами. В качестве индикационных характеристик зоопланктона нами были использованы: общее количество видов; число доминирующих видов в сообществе; индекс видового разнообразия; общая численность и общая биомасса зоопланктона; соотношение количественных показателей основных таксономических групп – *Rotifera*: *Cladocera*: *Sopropoda* в величинах общей численности и биомассы зоопланктона; соотношение показателей  $V_{зимн.}/V_{летн.}$ ; доля видов-индикаторов загрязнения; отношение биомасс зоо- и фитопланктона; отношение числа видов рода *Brachionus* к числу видов рода *Trichocerca* в сообществе (индекс  $Q_{В/Т}$ ); градиенты численности и биомассы; размер организмов; индекс сапробности Пантле и Букка.

**Общее количество видов.** По имеющимся в экологии представлениям, стабильность экосистемы находится в прямой зависимости от ее сложности: чем больше видов в экосистеме, тем она устойчивее. Биоценозы с упрощенной структурой неустойчивы. Более высокая организованность, стабильность характерны для сообществ, не испытывающих выраженный антропоический пресс.

Исследования, проведенные на р. Сож, показывают, что по мере увеличения антропоической нагрузки видовой состав зоопланктона уменьшается (табл. 1, 6) от 119 видов на более чистом участке реки (выше г. Гомеля – станция I) до 38-46 на участке в районе города (станции 2-4, 4а) и 41-74 – ниже города (станции 5, 5а, 6, 6а), при общем количестве видов и форм на всем участке – 169. Такая тенденция отмечается на протяжении всего периода исследований, за исключением зимних месяцев. Весной видовое разнообразие на станции 1 в 1,4-3,5 раза выше, чем на станциях 2-4, и в 1,1-1,2 раза – по сравнению со станциями 5-6. Летом количество видов зоопланктона в р. Сож выше г. Гомеля в 2,1-4,1 раза превышает таковое на участке реки в черте города и в 1,7 раза – ниже поступления сточных вод. Осенью биоразнообразие на более чистом участке реки в 1,9-3,2 раза больше, чем на участке, прилегающем к городу, и в 1,3-1,5 раза – по сравнению со станциями, расположенными ниже впадения р. Узы. Зимой наблюдается обратная картина – видовое разнообразие зоопланктона на станциях 5 и 6 в 1,9-12 раз больше, чем на выше расположенных участках реки. Последнее находит свое объяснение в том, что в зимний период вода на станциях, испытывающих влияние сточных вод, не замерзает, и ее температура достигает 3-5°C, тогда как на станциях 1-4, 4а, 5а, 6а река находится в ледовом режиме, температура воды здесь не превышает 0°C.

Таблица 1

Количество видов зоопланктона исследованного участка реки Сож

Группы зоопланктона	Станции реки Сож								
	1	2	3	4	4а	5	5а	6	6а
Коловратки	59	29	19	27	16	54	25	48	23
Ракообразные:									
<i>Cladocera</i>	40	10	11	12	21	16	21	16	22
<i>Copepoda</i>	20	6	8	7	7	4	11	8	7

Статистически достоверные отличия по биоразнообразию получены для станции 1 при сравнении со всеми остальными. Получены высокие, близкие к достоверным (в 4-х случаях – достоверные) значения нормированного отклонения при сравнении видового разнообразия на станциях реки, расположенных в черте и ниже г. Гомеля (табл.2).

Таблица 2

Значения нормированного отклонения при сопоставлении видового разнообразия зоопланктона по станциям р. Сож ( $p=0,05$ )

Станции	1	2	3	4	4а	5	5а	6	6а
1	–	2,02	2,14	2,03	2,05	1,72	1,61	1,65	1,55
2	2,02	–	1,03	0,98	0,87	1,26	1,19	1,21	1,14
3	2,14	1,03	–	1,08	1,03	1,45	1,27	1,32	1,18
4	2,03	0,98	1,08	–	1,02	1,41	1,26	1,46	1,23
4а	2,05	0,87	1,03	1,02	–	1,63	1,33	1,55	1,27
5	1,72	1,26	1,45	1,41	1,63	–	1,24	1,01	1,32
5а	1,61	1,19	1,27	1,26	1,33	1,24	–	1,13	1,02
6	1,65	1,21	1,32	1,46	1,55	1,01	1,13	–	1,31
6а	1,55	1,14	1,18	1,23	1,27	1,32	1,02	1,31	–

Общее количество видов, как карцинофауны, так и особенно фауны коловраток, изменяется в направлении от выше расположенной станции к ниже расположенным. На стан-

ции выше города обнаружено 59 таксонов коловраток и 60 – ракообразных, в черте города снижается разнообразие коловраток (до 19 – 29 видов), ракообразных (до 16 – 35 видов и внутривидовых таксонов). На станциях, испытывающих влияние сточных вод, разнообразие коловраток вновь увеличивается, а ракообразных – уменьшается (табл. 1).

**Индекс видового разнообразия.** Этот показатель характеризует структуру сообщества, так как является функцией не только числа видов, но и их численности. По величине индекса видового разнообразия можно судить о состоянии сообществ планктонных животных: высокие значения индекса характерны для более устойчивых экосистем, уменьшение его свидетельствует о снижении уровня устойчивости.

Проведенные исследования показывают, что величины индекса видового разнообразия зоопланктона р. Сож имеют тенденцию к уменьшению на станциях, подвергающихся дополнительным видам антропоического воздействия (табл. 4, 6). Снижение индекса видового разнообразия отмечается во все периоды исследований. Так, зимой величины индекса в 3,7-8,7 меньше на станциях, расположенных в черте города, и в 0,9-1,5 раза – ниже влияния его сточных вод по сравнению с более чистым (выше г. Гомеля) участком реки. Вместе с тем, следует отметить, что на станциях 5 и 6 в зимний период видовое разнообразие зоопланктона почти в 2 раза выше, а индекс видового разнообразия ниже, чем на станции 1. Последнее находит свое объяснение в высокой численности зоопланктона в зимнее время на станциях, испытывающих влияние городских стоков. Весной индекс видового разнообразия снижается в 2,5 – 4,4 раза на участке реки, прилегающем к городу, и в 1,5 раза – на участке, подверженном влиянию сточных вод. Летом снижение индекса составляет 2,9 – 4,3 и 1,9 – 2,1 раза соответственно. Осенью наблюдается аналогичное уменьшение индекса видового разнообразия (в 3-6,6 и 1,1-1,7 раза).

По средним данным, индекс видового разнообразия снижается в 3,0-4,8 раза на участке реки, протекающем в черте города (за исключением станции, расположенной в районе пляжа), и в 1,5-1,6 раза – ниже влияния городских стоков на реку. Уменьшение индекса видового разнообразия по мере увеличения антропоической нагрузки на реку подтверждено статистически (табл. 3). На станции выше г. Гомеля он достоверно больше, чем на всех других станциях.

Таблица 3

Значения нормированного отклонения при сопоставлении индекса видового разнообразия по станциям р. Сож ( $p=0,05$ )

Станции	1	2	3	4	4а	5	5а	6	6а
1	–	2,07	1,74	2,12	2,16	2,17	2,11	2,09	2,02
2	2,07	–	1,99	1,54	1,66	1,72	1,61	1,69	1,55
3	1,74	1,99	–	2,01	2,14	2,21	2,19	2,20	2,09
4	2,12	1,54	2,01	–	1,56	1,63	1,58	1,54	1,45
4а	2,16	1,66	2,14	1,56	–	0,98	1,01	1,02	1,07
5	2,17	1,72	2,21	1,63	0,98	–	1,02	1,02	1,11
5а	2,11	1,61	2,19	1,58	1,01	1,02	–	0,96	1,13
6	2,09	1,69	2,20	1,54	1,02	1,02	0,96	–	1,10
6а	2,02	1,55	2,09	1,45	1,07	1,11	1,13	1,10	–

Величины индекса видового разнообразия значительно изменяются в течение года. Зимой, ввиду невысокого биоразнообразия зоопланктона, они на всех станциях минимальны. Весной, вследствие увеличения температуры воды и влияния других экологических факторов, увеличивается численность зоопланктона, количество видов. Отмечается возрастание (в 1,1-1,6 раза) и величин индекса на исследуемом участке реки. Летом на всех станциях величины индекса видового разнообразия максимальны, они превышают весенние показатели в 1,6-3,3 раза. Осенью вновь наблюдается снижение величин индекса – в 1,3-6,1 раза по сравнению с таковыми в летний период (табл. 4).

На станции 3 (район городского пляжа) в отдельные периоды наблюдаются более высокие, чем на других станциях, значения индекса, тогда как количество видов, зарегистрированных здесь, наименьшее для всего изученного участка Сожа. Последнее находит свое объяснение в невысокой численности зоопланктона.

Таблица 4

Изменение величин индекса видового разнообразия по сезонам и станциям

Станции реки Сож	Сезоны года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1	$0,96 \pm 0,23$	$1,97 \pm 0,27$	$4,28 \pm 0,07$	$1,57 \pm 0,58$
2	$0,18 \pm 0,18$	$0,58 \pm 0,23$	$1,08 \pm 0,14$	$0,52 \pm 0,16$
3	0,14	$0,45 \pm 0,12$	$1,0 \pm 0,21$	$0,24 \pm 0,06$
4	0,11	$0,66 \pm 0,10$	$1,5 \pm 0,27$	$0,28 \pm 0,11$
4a	$0,26 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,23$	$1,49 \pm 0,35$	$0,42 \pm 0,15$
5	$0,12 \pm 0,11$	$0,28 \pm 1,2$	$1,1 \pm 0,8$	$1,49 \pm 0,06$
5a	$0,22 \pm 0,09$	$0,72 \pm 0,14$	$1,73 \pm 0,16$	$0,92 \pm 0,33$
6	$0,62 \pm 0,16$	$1,30 \pm 0,15$	$1,3 \pm 0,9$	$1,2 \pm 0,18$
6a	$0,37 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,18$	$1,51 \pm 0,9$	$0,70 \pm 0,35$

**Количество доминирующих видов.** Под доминированием понимают способность некоторых видов занимать главенствующее положение и оказывать преобладающее влияние в биоценозе, экосистеме. Такие виды являются доминирующими. Виды-доминанты, благодаря их относительному обилию, превосходящей экологической пластичности, преобладают количественно.

Имеются литературные данные [1, 7], согласно которым сокращение количества структурообразующих видов и повышение степени доминирования 1-2 видов наблюдается при евтрофировании и загрязнении вод. Так, А.Л. Деменик [7] при исследовании ротаторного зоопланктона р. Неман отмечает тенденцию к уменьшению количества видов-доминантов на наиболее загрязненных участках реки.

Как показали наши исследования, количество доминирующих видов сокращается при увеличении антрополической нагрузки на реку. На станции выше города число доминирующих видов в зоопланктоне максимально и равно 6. На участке реки, расположенном в черте города, число таких видов снижается в 2-3 раза, и на станциях, расположенных здесь, доминируют 2-3 вида. На участке, подверженном влиянию городских стоков, в зоопланктоне доминируют 2 вида. Снижение количества доминирующих видов в зоопланктоне от выше к ниже расположенным по течению реки станциям отмечается в течение всего периода исследований. Так, зимой на станции 1 число таких видов 8, на станциях 2-6 оно снижается в 1,6-2 раза (4-5 видов). На станциях 5a, 6a, где влияние сточных вод не выражено, количество доминирующих видов составляет 5 и 6 соответственно. Весной в составе доминирующего комплекса на станции выше города выявлено 6 видов, на станциях в черте города – 3-5, на станциях ниже впадения р. Узы – 2-3 вида. Летом на станции 1 не отмечается доминирование каких-либо видов, однако, выявлено 10 видов, относительная численность которых имеет близкие величины, и их вклад в общую численность зоопланктона составляет 78%. На станциях, подверженных интенсивному антрополическому прессу, в летний период доминируют 2-5 видов. Осенью количество структурообразующих видов на станции выше города несколько снижается по сравнению с другими сезонами года (5), на других станциях в это время доминируют 2-3 вида.

Таким образом, уменьшение числа доминирующих видов от выше к ниже расположенным станциям свидетельствует о значительной антрополической нагрузке на реку Сож в черте и ниже г. Гомеля.

**Количественные показатели.** По данным Н.М. Крючковой [12] численность зоопланктона в направлении от олиготрофных к политрофным водоемам возрастает более чем в

2000 раз и составляет в олиготрофных 12,5, мезоэвтрофных – 79,0, высокоэвтрофных -170,6, политрофных – 25874 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Возрастание количественных характеристик зоопланктона (как численности, так и биомассы) с повышением трофического статуса водоемов отмечается многими авторами. Влияние загрязнения вод на количественные показатели зоопланктона в литературе освещается двояко. Одни авторы указывают на снижение общей численности и биомассы планктеров по мере увеличения степени загрязнения реки [11], в том числе в районе сброса городских бытовых и промышленных стоков [18]. Другие отмечают, что величины численности и биомассы зоопланктона выше на участках, загрязненных городскими стоками [20]. Ряд авторов указывает, что при антропоическом евтрофировании происходит увеличение численности коловраток [3, 6].

По полученным нами данным на участках Сожа, расположенных выше и в черте города, общая численность и биомасса коловраток, как и зоопланктона в целом, имеют один порядок величин (табл. 6). Здесь средняя численность зоопланктона сопоставима с таковой для олиготрофных и мезотрофных водоемов [12]. На станциях реки, испытывающих влияние сточных вод, численность и биомасса зоопланктона увеличиваются на 1-2 порядка. Такая численность наблюдается в высокоэвтрофных водоемах. Увеличение количественных показателей зоопланктона на указанных станциях обусловлено массовым развитием бделлоидных коловраток (зимой и осенью), коловраток родов *Lecane* (зимой и весной) и *Brachionus* (летом). По литературным данным высокая численность брахионусов наблюдается в сильно загрязненных водах и биологических прудах с органическим загрязнением [12].

**Соотношение основных таксономических групп.** Одним из важных параметров, характеризующих водоемы и водотоки, является структура сообществ, входящих в их состав. Между основными компонентами зоопланктонного сообщества складываются определенные соотношения, которые сохраняются в течение длительного времени, если водоем или водоток не испытывает внешнего воздействия, и, наоборот, при прессе структура сообществ нарушается. Поэтому соотношения между группами планктонных животных используются для индикации трофии озер и классификации водоемов. В литературе отмечается, что увеличение доли коловраток в общих величинах количественных показателей зоопланктона наблюдается в водах, подверженных интенсивному антропоическому воздействию [1, 6]. При поступлении в водоемы органического загрязнения резко снижается доля ветвистоусых ракообразных и возрастает (почти до 80%) доля коловраток [12]. Велико относительное обилие коловраток в биологических очистных прудах, заполненных сточной жидкостью промышленных предприятий (87%) или хозяйственно-бытовыми сточными водами (97%).

Для речного зоопланктона характерно преобладание коловраток в общей численности (около 60%). В загрязненных водах роль коловраток возрастает. Так, по данным Н.М. Крюковой [12] в р. Свислочь на чистом участке (выше города) по численности доминировали copepodы (62,5%), а на участке в черте города, где река подвергалась загрязнению, почти 96% общей численности зоопланктона составляли коловратки. По данным А.Л. Деменик [7] относительная численность и биомасса коловраток в р. Неман колеблется от 42 до 100% и от 21 до 100% соответственно.

Таким образом, в водоемах и водотоках отмечается возрастание доли коловраток и снижение доли ракообразных в величинах общей численности зоопланктона с увеличением антропоического пресса.

В р. Сож в районе устья в 1972 г. коловратки составляли около 10% общей численности и 2% общей биомассы зоопланктона. Как отмечает И.Ф. Рассашко [13], в 1986-87 гг. также в районе устья р. Сож они занимали лидирующее положение: их вклад в общую численность и биомассу зоопланктона составлял 94-100 % и 40-100% соответственно.

На исследуемых участках Сожа в 1996 г. доля коловраток в общей численности зоопланктона велика и составляет 49,7-100%, будучи наибольшей ниже влияния городских стоков на реку (табл. 6). Причем, если на станциях выше и в черте города доля коловраток (среднегодовые величины) составляет 92,8-96,3%, то на станциях ниже впадения р. Узы эти

величины (99,5-99,8%) превышают таковые, наблюдаемые в биологических прудах, заполненных хозяйственно-бытовыми стоками – 97% [12].

В целом, соотношение количественных показателей таксономических групп *Rotatoria*: *Cladocera*: *Copepoda* в реке Сож подчиняется закономерности, согласно которой при увеличении антрополического воздействия на реку возрастает доля коловраток в общей численности зоопланктона.

**Градиенты численности и биомассы.** Градиенты количественных показателей развития зоопланктона являются одними из параметров, характеризующих устойчивость водной экосистемы. Как указывается в литературе [1], для неустойчивых экосистем характерны сильные колебания количественных показателей развития зоопланктона в течение года. Н.В. Думнич, Н.Л. Болотова [10], исследуя ряд озер, отмечали, что при антрополическом воздействии увеличивается амплитуда колебаний численности и биомассы зоопланктона в сезонном и межгодовом аспектах.

Согласно полученным данным (табл. 5), градиенты численности составляют на исследуемых станциях р. Сож величины разного порядка: на станциях 4 и 5 – 8-10, на станциях 4а, 6, 6а – 18-19, на станции 2, 3, 5а – 30-98 раз. Имеющиеся значительные различия между крайними значениями численности зоопланктона на разных станциях могут быть связаны, прежде всего, с наличием перемещения водной массы в реке, как водотоке. Вместе с тем, если на одних станциях градиенты численности различаются существенно (станции 1, 2, 5а), то на других близкорасположенных станциях они различаются гораздо меньше. Это относится, в первую очередь, к станциям, расположенным ниже поступления сточных вод города. В меньшей степени выраженные здесь сезонные и годовые различия в величинах численности определяются, на наш взгляд, отсутствием ледового режима, более высокой температурой воды в зимний период и меньшими ее колебаниями в целом.

Наблюдаются различия между прибрежными и русловыми станциями (кроме станций 6 и 6а) в градиентах численности в сторону уменьшения указанного показателя на прибрежных станциях. Для станций 4 и 4а эти различия составили 2,5, для станций 5 и 5а – 6 раз. Одна из причин этого может заключаться в том, что в русловой части в большей степени выражена текучесть реки, и, соответственно, зоопланктон здесь подвержен более сильным изменениям.

Таблица 5.

Величины градиентов численности и биомассы зоопланктона р. Сож

Сезоны года	Станции реки Сож								
	1	2	3	4	4а	5	5а	6	6а
<b>Градиенты численности</b>									
Зима	–	4,1	1,0	1,0	2,4	9,6	6,3	18,2	3,2
Весна	–	22,9	11,9	5,2	5,9	1,5	4,3	1,4	4,2
Лето	8,8	9,4	2,3	7,0	2,7	1,3	4,2	2,3	3,39
Осень	–	5,3	2,5	6,9	3,0	5,9	8,6	5,0	12,8
<b>Градиенты биомассы</b>									
Зима	18,4	8,0	1,0	2,5	2,6	5,3	3,7	3,4	2,1
Весна	34,1	21,5	12,5	10,9	6,7	2,6	2,7	2,0	2,4
Лето	11,2	17,8	3,2	10,0	2,7	1,2	1,8	2,5	4,8
Осень	44,9	25,6	3,2	4,3	5,3	4,7	6,5	3,2	9,3

Примечание: Данные показатели рассчитаны с учетом численности коловраток; в некоторые даты наблюдений на станции 1, в отличие от других станций, коловратки в пробах отсутствовали, и, как следствие этого, была низкая численность зоопланктона, что обусловило очень большие градиенты численности как по годовым (7490), так и по сезонным данным (1281,5-1437,3). Мы считаем приведенные в таблице данные более репрезентативными.

Различия между крайними значениями биомассы зоопланктона максимальны на станции ниже грузового порта (645 раз), велики они и на станции выше г. Гомеля (330). На остальных станциях реки они на порядок ниже и составляют 14-34 раза.

В целом, градиенты количественных показателей развития зоопланктона показывают на значительную вариабельность условий среды, изменения качества воды р. Сож в сезонном и годовом аспектах.

**Соотношение среднезимней и среднелетней биомасс зоопланктона.** По данным И.Н. Андронниковой [1] соотношение  $V_{\text{зимн.}}/V_{\text{летн.}}$  с увеличением трофности водоема составляет: в олиготрофных водоемах 1:(1-9), в мезотрофных 1:(10-90), в эвтрофных – 1:(100 и более).

Данный показатель на всех исследованных участках р. Сож изменяется в пределах, характерных для мезотрофных вод. На станции в районе пляжа он наименьший (1:11) и лишь немного превышает величины, отмеченные для олиготрофных водоемов. На станциях, испытывающих влияние сточных вод, соотношения  $V_{\text{зимн.}}/V_{\text{летн.}}$  имеют большие величины (1:76-1:89) и они близки к тем, которые характерны для эвтрофных вод, что может быть связано с фактором евтрофирования реки.

**Соотношение биомасс зоо- и фитопланктона.** В литературе отмечается [4], что соотношение биомасс зоо- и фитопланктона за вегетационный период является информативным показателем при классификации водоемов. С повышением трофического уровня водоема величина  $V_{\text{зоо-}}/V_{\text{фитопланктона}}$  снижается. По данным ряда авторов [1] для водоемов крайних трофических уровней этот показатель различается на порядок, составляя в олиготрофных водоемах 4:1, в мезотрофных – 1:1, в эвтрофных – 0,5:1.

Согласно наших исследований, соотношение биомасс зоо- и фитопланктона за вегетационный сезон, установленное для станций Сожа, расположенных выше и в черте города, показывает (табл. 6), что с увеличением антропоического воздействия на реку биомасса фитопланктона возрастает, а отношение  $V_{\text{зоо-}}/V_{\text{фитопланктона}}$  снижается. Это обусловлено тем, что фитомасса изменяется в большей степени в сторону увеличения, чем зоомасса. На всех станциях реки указанный показатель имеет величины, характерные для эвтрофных водоемов. Однако, для участка р. Сож выше г. Гомеля соотношение биомасс зоо- и фитопланктона значительно больше, чем для участка реки в черте города и на русловых станциях ниже города, и оно еще больше по сравнению со станциями, испытывающими влияние сточных вод.

Из вышесказанного можно заключить, что вода р. Сож на всем исследованном участке имеет достаточно высокую трофность. Снижение величин  $V_{\text{зоо-}}/V_{\text{фитопланктона}}$  от выше к ниже расположенным по течению станциям может быть следствием увеличения антропоической нагрузки на реку.

**Отношение числа видов рода *Brachionus* к числу видов рода *Trichocerca* (индекс  $Q_{\text{В/Т}}$ ).** Согласно V. Sladecsek [23] индекс  $Q_{\text{В/Т}}$  обладает достаточно высокой информативностью при индикации качества воды. Автор указывает, что в олиготрофных водоемах он менее 1,0, в мезотрофных изменяется от 1,0 до 2,0 и в эвтрофных водоемах значения индекса превышают 2,0.

Проведенные нами исследования показали, что индекс  $Q_{\text{В/Т}}$  на разных станциях р. Сож изменяется в пределах 0,4 – 6,0. При этом, только на участке реки выше г. Гомеля он составляет менее 1,0. На станциях в районе грузового порта (станция 2) и ниже города в русловой части (станция 6а) рассматриваемый индекс находится в пределах, характерных для мезотрофных водоемов (табл. 6). На всех остальных станциях р. Сож величины индекса  $Q_{\text{В/Т}}$  соответствуют таковым, наблюдаемым в эвтрофных водоемах. Причем, наибольший индекс (6,0) отмечен на станции, испытывающей влияние городских сточных вод.

Таким образом, отношение числа видов рода *Brachionus* к числу видов рода *Trichocerca* отражает антропоическую нагрузку на р. Сож на участках в черте и ниже г. Гомеля.

**Размер организмов.** В литературе неоднократно указывалось, что при загрязнении и евтрофировании вод в них наблюдается массовое развитие мелких организмов. Е.Р. Odum [22] отмечает, что при евтрофировании и загрязнении водоемов в них появляются мелкие

виды с высокой скоростью размножения. По данным Н.М. Крючковой [12] по мере возрастания трофности водоемов в них наблюдается замещение крупных форм зоопланктона мелкими. И.Ф. Рассашко [13] отмечает, что в зоопланктоне Днепра и его притоков размерные параметры коловраток колеблются в пределах: в Днепре – 0,07-0,40, Березине – 0,06-0,40, Соже – 0,07-0,36 мм. Длина тела кладоцер составляет: в Днепре – 0,21-0,95, Березине – 0,21-1,36, Соже – 0,24-1,02 и часто равна около 0,50 мм. Веслоногие ракообразные имеют больший диапазон размерной структуры. В целом, по данным автора, в указанных водотоках зоопланктон представлен некрупными организмами.

Как показали наши исследования, зоопланктон р. Сож представлен крупными, средними и мелкими организмами, но преобладают мелкие и средние. Длина тела коловраток на разных станциях варьирует от 0,07 до 0,74 мм. Более мелкие формы (с длиной тела до 0,15 мм) составляют 47% от общего числа видов и внутривидовых таксонов коловраток. На долю крупных форм приходится 8%.

Размеры тела ветвистоусых ракообразных р. Сож изменяются в пределах 0,32-1,76 мм. Только особи 4 видов (*Dp. magna*, *Dp. pulex*, *E. lamellatus*, *L. kindti*) имеют длину тела, превышающую 1 мм, и они составляют 8,5% от общего количества видов кладоцер. Подавляющая часть ветвистоусых ракообразных представлена некрупными особями с размерами 0,32-0,79 мм.

Длина тела веслоногих ракообразных на исследованных станциях р. Сож составляет 0,71-1,62 мм. Причем, преобладают мелкие и средние представители копепоид, размеры тела которых находятся в интервале 0,71-0,97 мм. На их долю приходится 67% от общего числа видов веслоногих ракообразных. Виды с длиной тела, превышающей 1 мм (их насчитывается 8), составляют 33%, но среди них только половина с размерами более 1,2 мм.

Что касается изменения длины тела организмов зоопланктона на исследованных станциях, то она различается незначительно (табл. 6). Исключение составляет станция р. Сож выше г. Гомеля, где средняя длина особей заметно больше.

Для сравнения отметим, что размеры массовых видов водорослей р. Сож не превышают, как правило, 40 мкм. Эти водоросли относятся к категории некрупных, значительное развитие которых наблюдается в водах повышенной трофности.

Таким образом, в зоопланктоне реки Сож преобладают мелкие и средние организмы (67-91,5%), доля крупных форм невелика. Можно предположить, что вода реки на исследованном участке имеет достаточную трофность.

**Индекс сапробности и доля видов-индикаторов загрязнения.** Согласно данным Госкомгидромета РБ в последние годы наблюдалось ухудшение качества воды реки Сож в районе г. Гомеля по гидрохимическим показателям. Так, в 1992 г. [14] среднее содержание в речной воде соединений азота, нефтепродуктов, фенолов не превышало 2 ПДК. По комплексной оценке вода р. Сож выше г. Гомеля соответствовала классу чистой (ИЗВ = 0,7-1,0), ниже г. Гомеля была отнесена к категории умеренно загрязненной (ИЗВ = 1,4). Отмечалось, что р. Уза (ИЗВ = 2,6) – самый загрязненный приток р. Сож. В 1993-1994 гг. вода р. Сож перешла из категории чистой в умеренно загрязненную (ИЗВ = 1,2-1,4). В это время содержание в воде соединений азота, органических веществ составляло 3-6 ПДК. Суммарный индекс загрязнения р. Узы увеличился до 3,6 [15]. По комплексному показателю загрязненности вода р. Сож в 1995 г. [16] сохранила категорию умеренно загрязненной (ИЗВ = 1,1-1,6). Река Уза в районе г. Гомеля по-прежнему осталась загрязненной (ИЗВ = 2,6). В 1996 г. ИЗВ р. Сож в районе г. Гомеля составлял 1,3-1,6 [17].

Рассчитанный нами индекс сапробности Пантле и Букка имеет тенденцию к увеличению на станциях, подверженных антропоическому воздействию (табл. 6). Зимой на всех исследованных станциях индексы были минимальные. В это время года вода реки Сож по величине индекса Пантле и Букка характеризуется на станциях 1-4 -как "чистая", а на станциях 5-6 – "умеренно загрязненная". Весной и летом отмечается повышение индекса сапробности на всех станциях, затем – небольшое его снижение осенью. Средние величины индекса характеризуют воды р. Сож как "чистые" на участке выше города, а также на двух других



Таблица 6

## Индикационные показатели зоопланктона исследованного участка реки Сож

Показатели	Станции реки Сож								
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 4а	ст. 5	ст. 5а	ст. 6	ст. 6а
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общее количество видов	119	45	38	46	44	74	57	72	52
Индекс видового разнообразия Маргалефа	2,02	0,59	0,46	0,64	0,74	0,74	0,90	1,36	0,81
Количество доминирующих видов	6	3	2	3	4	2	3	2	4
Численность (средняя за год), тыс. экз./м <sup>3</sup>	27,66	31,74	19,35	24,11	23,18	371,4	39,23	238,92	33,76
Биомасса (средняя за год), мг/м <sup>3</sup>	19,54	23,61	9,62	10,14	16,42	196,13	24,48	143,85	22,17
Соотношение систематических групп по численности, %									
<i>Rotatoria</i>	94,8	93,2	94,70	96,30	93,25	99,80	94,26	99,50	93,14
<i>Cladocera</i>	2,85	2,40	1,10	2,33	3,61	0,18	3,51	0,34	3,75
<i>Copepoda</i>	2,35	4,40	4,20	1,37	3,14	0,02	2,23	0,02	3,11
Соотношение систематических групп по биомассе, %									
<i>Rotatoria</i>	66,12	72,14	63,18	81,36	74,65	93,34	83,12	93,16	81,15
<i>Cladocera</i>	9,25	11,52	6,54	5,47	15,22	2,14	6,45	2,16	8,12
<i>Copepoda</i>	24,63	16,34	30,28	13,17	10,13	4,52	10,43	4,68	10,73
Соотношение $V_{Ctus.}/V_{Rot.}$	0,14	0,16	0,10	0,07	0,20	0,02	0,08	0,02	0,10
Соотношение $V_{зимн.}/V_{летн.}$	1:26	1:47	1:11	1:39	1:28	1:89	1:32	1:76	1:29
Соотношение $V_{зоо-}/V_{ф.}$	0,1:1	0,04:1	0,01:1	0,01:1	-	0,004:1	0,01:1	0,004:1	0,01:1
Размеры организмов, мм	0,67	0,42	0,44	0,58	0,56	0,39	0,47	0,41	0,49
Индекс $Q_{ВТ}$	0,4	1,2	3,0	3,0	5,0	4,0	3,0	6,0	2,0

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Доля (%) видов-индикаторов условий:									
олигосапробных									
о- $\beta$ -мезосапробных	51	41	47	39	46	34	43	35	45
$\beta$ – о	27	17	22	16	23	23	26	19	18
$\beta$ – мезосапробных	6	7	2	10	4	6	4	6	6
$\beta$ – $\alpha$ – мезосапробных	14	27	24	27	20	28	25	31	28
$\alpha$ – мезосапробных	2	8	5	9	7	8	2	8	3
$\alpha$ – р	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Индекс сапробности	1,23	1,52	1,18	1,58	1,32	1,88	1,56	1,65	1,52
Градиенты численности	7490	98	31	8	19	10	66	18	18
Градиенты биомассы	126	645	40	15	114	451	128	316	143

Примечание: обозначения о,  $\beta$ ,  $\alpha$ , р относятся к индикаторам чистых, загрязненных, грязных и очень грязных вод.

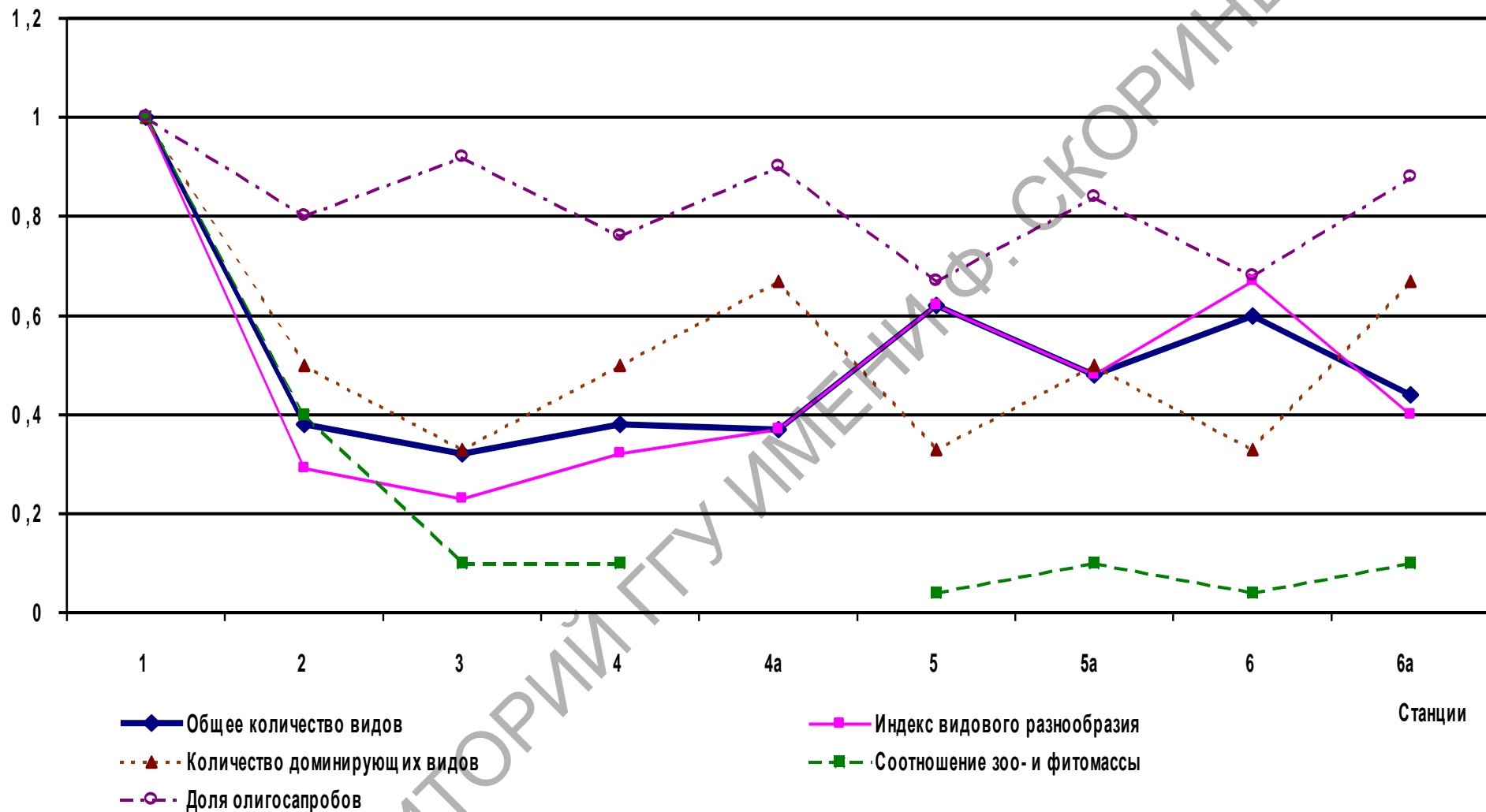


Рисунок 1 - Динамика некоторых биоиндикационных характеристик зоопланктона реки Сож по станциям (в относительных единицах - по отношению к максимальному значению, принятому за единицу)

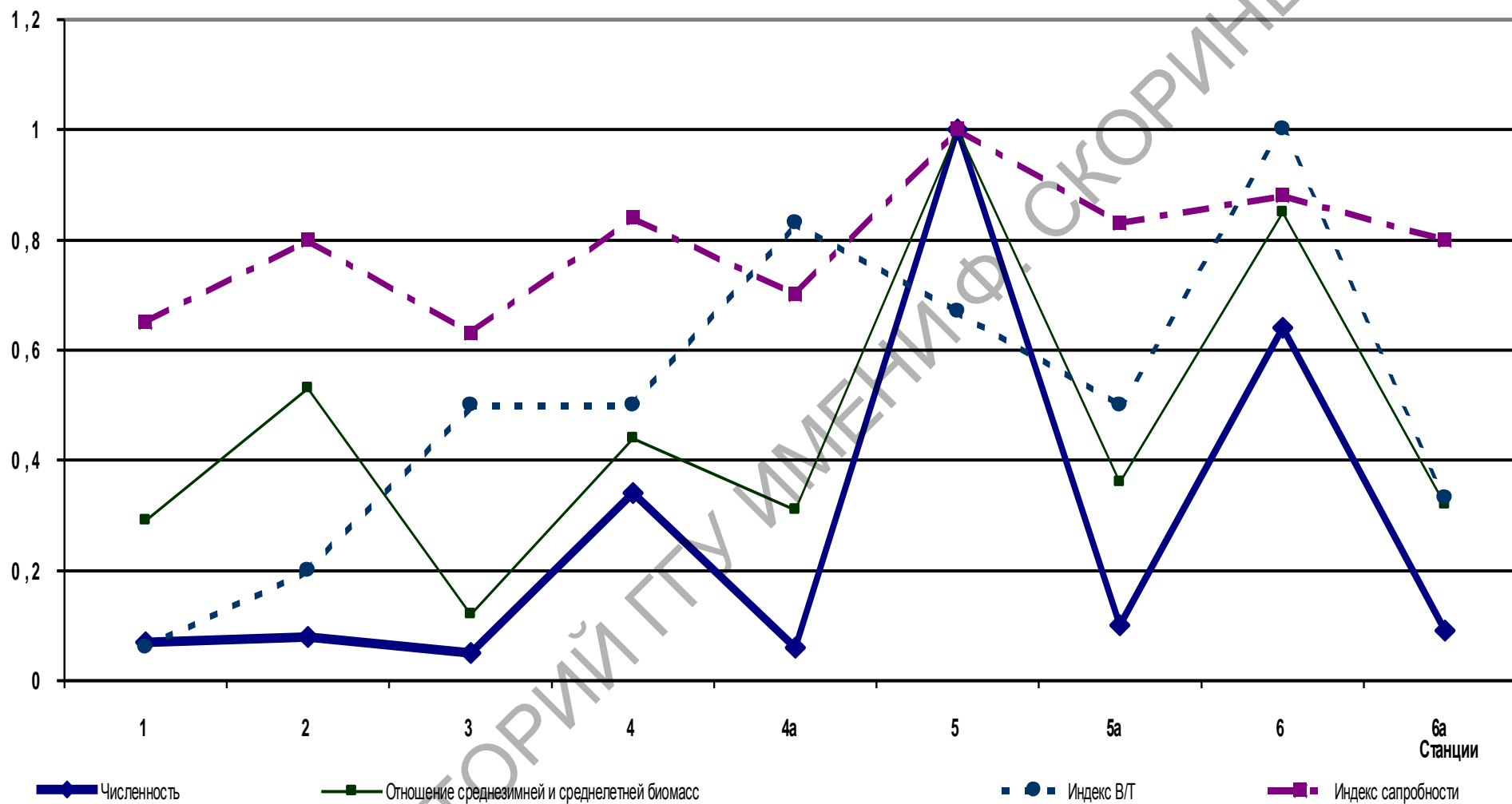


Рисунок 2 - Изменение индикационных показателей зоопланктона реки Сожа по станциям (в относительных единицах - как на рисунке 1)

станциях (3, 4а), и как "умеренно загрязненные" на всех остальных станциях. Прослеживается уменьшение количества олигосапробов и увеличение количества  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробов с повышением степени воздействия на реку. Ниже поступления стоков встречается *Dp. pulex*, характерная для грязных вод, а в районе пассажирского порта отмечена *Dp. magna* – индикатор очень грязных условий.

Все рассмотренные индикационные показатели приведены в обобщенной таблице 6, на рисунках 1 и 2.

Таким образом, при увеличении антропоической нагрузки на р. Сож прослеживаются следующие тенденции: уменьшение биоразнообразия зоопланктона и величин индекса видового разнообразия, сокращение количества доминирующих видов, возрастание на 1-2 порядка численности и биомассы зоопланктона, увеличение соотношения  $V_{зимн.}/V_{летн.}$ , возрастание доли коловраток в величинах общей численности и биомассы, увеличение индекса  $Q_{в/т}$ , уменьшение размерных параметров планктеров, увеличение индекса сапробности и количества видов-индикаторов умеренно загрязненных вод.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору, доктору биологических наук Г.А.Галковской за большую помощь, оказанную в работе, и ценные советы.

### Abstract

To estimate the condition of ecosystem of the Sozh river at the place by the town of Gomel there were used 12 indexes of zooplankton; the were made ther analyses, was showed the possibility of using white searching zooplankton of the river station which are used in different ways of activities. Indexes of zooplankton of the Sozh river show anthropogenetic loading on the river.

### Литература

1. Андронникова И.Н. Классификация озер по уровню биологической продуктивности // Теоретические вопросы классификации озер. — СПб: Наука, 1993. — С. 51-72.
2. Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки (на примере верхнего Днепра) / Под ред. Г.Г. Винберга. — Минск, 1973. — 192 с.
3. Вандыш О.И. Особенности структурно-функциональных показателей зоопланктона водоемов Кольского региона в условиях антропогенного загрязнения: Автореф. дис.... канд. биол. наук: 03.00.16 / Ин-т озераведения РАН. — СПб, 1998. — 27 с.
4. Выхристюк Л.А., Зинченко Т.Д. Экологическое состояние экосистем водоемов урбанизированных территорий // Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. Междун. науч. конф., Минск – Нарочь, 20-25 сентября 1999 г./ Белорус. гос. ун-т. — Минск, 1999. — С. 37.
5. Галковская Г.А., Митянина И.Ф., Вежновец В.В. Особенности структурной организации зоопланктона в озерах разной трофности // Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. Междун. науч. конф., Минск -Нарочь, 20-25 сентября 1999 г./ Белорус. гос. ун-т. — Минск, 1999. — С.38.
6. Герасимова Т.Н. Оценка состояния вод р. Северной Двины и ее притоков на основе сообществ зоопланктона // Водные ресурсы. — 1992. — №3. — С. 106-118.
7. Деменик А.Л. Планктонные коловратки реки Неман и их участие в седиментации и деструкции органического вещества: Автореф. дис.... канд. биол. наук: 03.00.18 / Ин-т зоологии АН БССР. — Минск, 1989. — 22 с.
8. Деревенская О.Ю., Мингазова Н.М. Сообщества зоопланктона озер при их загрязнении и восстановлении // Гидробиол. журнал. — 1998. — Т. 34, №4. — С. 50-55.
9. Дзюбан Н.А., Кузнецова С.П. Зоопланктон как показатель загрязнения водохранилищ // Гидробиол. журнал. — 1978. — Т. 14, №6. — С. 42-47.
10. Думнич Н.В., Болотова Н.Л. Структурные изменения зоопланктона крупных озер Вологодской области // Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная

трансформация, качество воды: Тез. докл. Междун науч. конф., Минск–Нарочь, 20-25 сентября 1999 г. / Белорус. гос. ун-т.

11. К вопросу о влиянии антропогенных факторов на зоопланктон реки Иртыш / *З.А.Танашиева, А.И.Шустов, В.С.Пономарев, В.С.Плецев* // Биология водоемов Казахстана. Вып.3. – Алма-Ата, 1981. – С. 22-28.

12. *Крючкова Н.М.* Структура сообществ зоопланктона в водоемах разного типа // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л., 1987. – С. 38-49.

13. *Рассашко И.Ф.* Особенности организации и функционирования экосистем реки Днепр и притоков в районе Белорусского Полесья / Академия наук РБ. Ин-т зоологии. – Минск, 1993. – 93 с. – Деп. в ВИНТИ 21.07.93. – № 287.

14. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 1992-1993 г. / Под ред. *В.Ф.Логинова*. – Минск, 1994. – 145 с.

15. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 1994 г. / Под ред. *В.Ф.Логинова*. – Минск, 1995. – 152 с.

16. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 1995 г. / Под ред. *В.Ф. Логинова*. – Минск, 1996. – 148 с.

17. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 1996 г. / Под ред. *В.Ф. Логинова*. – Минск, 1997. – 154 с.

18. *Admiraal W., Ruyter Van Steveninck E.D., Kruijfhans A.M.De.* Environmental stress in live aquatic ecosystems in the floodplain of the river Rhine / *Sci. Total Environment*. – 1989. – Vol. 78. – P. 59-75.

19. *Arfl R., Champalbert G., Patritif G.* Systeme planctonique et pollution urbaine: un aspect des populations zooplanctoniques // *Mar. Biol.* — 1981. — 61, №2-3.-S. 133-141.

20. *Hakkari L.* Zooplankton species as indicators of environment // *Aquafennica*. – Helsinki, 1972. – P. 46-54.

21. *Moraitou-Apostolopoulou M., Ignatiades L.* Pollution effects on the phytoplankton – zooplankton relationships in an inshore environment // *Hydrobiologia*. -1980. – Vol. 75, №3. – P. 259-266.

22. *Odum E.P.* The strategy of ecosystem development // *Sciens.* – 1969. – Vol. 164, №3877. – P. 262-270.

23. *Sladeczek V.* Rotifer as indicators of water quality // *Hydrobiologia*. – 1983. – Vol. 100. – P. 169–201.

Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступило 06.03.2002